

Institute of Nuclear Physics  
Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan



**International Scientific Forum**  
**NUCLEAR SCIENCE AND TECHNOLOGIES**  
dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the  
Institute of Nuclear Physics

**ABSTRACTS**

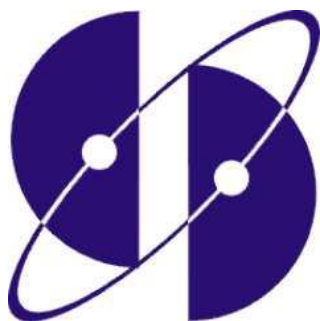
11<sup>th</sup> International Conference «Nuclear and Radiation Physics»

International Conference «Nucleus-2017» (67<sup>th</sup> Meeting on  
Nuclear Spectroscopy and Atomic Nucleus Structure)

8<sup>th</sup> Eurasian Conference «Nuclear Science and its Application»

September 12-15, 2017  
Almaty, Republic of Kazakhstan

**Институт ядерной физики  
Министерство энергетики Республики Казахстан**



**Международный научный форум  
ЯДЕРНАЯ НАУКА И ТЕХНОЛОГИИ,  
посвященный 60-летию Института ядерной физики**

**ТЕЗИСЫ**

**11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика»**

**Международная конференция «Ядро-2017» (67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра)**

**8-я Евразийская конференция «Ядерная наука и ее применение»**

**12-15 сентября 2017 г.**

**Алматы, Республика Казахстан**

**Алматы–2017**

**УДК 621.039:539.104(063)**  
**ББК 22.383:22.386**  
**М43**

**Ответственный редактор:** к.ф.-м.н. Кенжин Е.А.  
**Редакторы:** д.ф.-м.н. Буртебаев Н., к.ф.-м.н. Тиванова О.В.

**М43** Международный научный форум «Ядерная наука и технологии», посвященный 60-летию Института ядерной физики (11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика»; Международная конференция «Ядро-2017» (67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра); 8-я Евразийская конференция «Ядерная наука и ее применение»). Тезисы докладов. – Алматы: РГП ИЯФ, 12-15 сентября 2017г. – 450 с. = International Scientific Forum «Nuclear Science and Technologies», dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Nuclear Physics (11<sup>th</sup> International Conference «Nuclear And Radiation Physics», International Conference «Nucleus-2017» (67<sup>th</sup> Meeting on Nuclear Spectroscopy and Atomic Nucleus Structure), 8<sup>th</sup> Eurasian Conference «Nuclear Science and its Application»). Abstracts. – Almaty: RSE INP, September 12-15, 2017. – 450 p.

**ISBN 978-601-06-4394-9**

В сборнике представлены тезисы докладов участников Международного научного форума в области фундаментальной и прикладной ядерной физики, радиационной физики твердого тела, радиационной экологии, методов анализа, применения ядерных и радиационных методов в медицине и промышленности.

**УДК 621.039:539.104(063)**  
**ББК 22.383:22.386**

**ISBN 978-601-06-4394-9**

© РГП «Институт ядерной физики», 2017

## FORUM ORGANIZERS

Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan  
Azerbaijan National Academy of Sciences  
The National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic  
Russian Academy of Sciences  
Turkish Atomic Energy Authority  
Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan  
Joint Institute for Nuclear Research  
RSE «Institute of Nuclear Physics» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan  
Russian Federal Nuclear Center - All-Russian Research Institute of Experimental Physics  
RSE «National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan» of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan

## INTERNATIONAL ADVISORY BOARD

**Chairman:** Bozumbayev K.A. (Kazakhstan)

**Members:**

Abderrahim H.A. (Belgium)	Mayer K. (Germany)
Alper Z. (Turkey)	Matveyev V.A. (JINR)
Allen T. (USA)	Mutanov G.M. (Kazakhstan)
Bode P. (Netherlands)	Psakhye S.G. (Russia)
Voevodin V.N. (Ukraine)	Rusek K. (Poland)
Jenbayev B.M. (Kyrgyzia)	Sanjarova N.I. (Russia)
Garibov A.A. (Azerbaijan)	Smith D. (IAEA)
Garner F.A. (USA)	Spitaleri C. (Italy)
Guliyev I. S. (Azerbaijan)	Sydykov E.B. (Kazakhstan)
Dragunov Y.G. (Russia)	Čechák T. (Czech Republic)
Il'kaev R.I. (Russia)	Hosoda T. (Japan)
Kadyrzhanov K.K. (Kazakhstan)	Suzuki T. (Japan)
Kalin B.A. (Russia)	Shkolnik V.S. (Kazakhstan)
Kodina G.E. (Russia)	Yuldashev B.S. (Uzbekistan)
Komarov F.F. (Byelorussia)	

## ORGANIZING COMMITTEE

**Chairman:** Dzhaksaliyev B.M. (Kazakhstan)

**Vice-Chairman:** Kenzhin Y.A. (Kazakhstan)

**Members:**

Abramovich S.N. (Russia)	Kuterbekov K.A. (Kazakhstan)
Batyrbekov E.G. (Kazakhstan)	Lukashenko S.N. (Kazakhstan)
Borisenko A.N. (Kazakhstan)	Potekayev A.N. (Russia)
Boztosun I. (Turkey)	Recepoglu E. (Turkey)
Burtebayev N. (Kazakhstan)	Rusakov V.S. (Russia)
Vlasnikov A.K. (Russia)	Sakuta S.B. (Russia)
Dzhazairov-Kahramanov V. (Kazakhstan)	Samedov O.A. (Azerbaijan)
Dmitriyev S.N. (JINR)	Solodukhin V.P. (Kazakhstan)
Zherebchevsky V.I. (Russia)	Short M. (USA)
Recepoglu E. (Turkey)	Tazhibayeva I.L. (Kazakhstan)
Zavyalov N.V. (Russia)	Uglov V.V. (Byelorussia)
Zelenskaya N.S. (Russia)	Chakrov P.V. (Kazakhstan)
Zdorovets M.V. (Kazakhstan)	Shamanin I.V. (Russia)
Itkis M.G. (JINR)	Shvetsov V.N. (JINR)
Kadmenskiy S.G. (Russia)	Yarmukhamedov R.Y. (Uzbekistan)
Kawamura H. (Japan)	

## FORUM TOPICS

### *1. NUCLEAR PHYSICS*

- Nuclear reactions: theory and experiment
- Structure and properties of the atomic nuclei
- Technique and methods of nuclear-physical experiment
- 

### *2. SOLID STATE RADIATION PHYSICS AND ISSUES OF MATERIALS SCIENCE*

- Formation and evolution of defects in solids
- Structural and fuel materials of nuclear and fusion facilities
- New materials and methods of their preparation, nano-materials

### *3. RADIATION ECOLOGY AND METHODS OF ANALYSIS*

- Radio-ecological studies of former nuclear test sites, assessment of risks and radiological issues.
- Technologies for reducing ecological risk of the radiation-hazardous facilities and territories, radioactive wastes handling
- Analytical methods in the radio-ecology and nuclear forensics

### *4. NUCLEAR AND RADIATION METHODS IN MEDICINE AND INDUSTRY*

- Production and application of radioactive isotopes
- Nuclear medicine
- Radiation technologies

#### **The Forum also includes:**

- **Meeting** «25 years of membership of the Republic of Kazakhstan at JINR»
- **Round table** «Research Reactors: safety, utilization, aging management», dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the research reactor WWR-K

# ТЕМАТИКА ФОРУМА

## ***1. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА***

- Ядерные реакции: теория и эксперимент
- Структура и свойства атомных ядер
- Техника и методы ядерно-физического эксперимента

## ***2. РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ***

- Формирование и эволюция дефектов в твердых телах
- Конструкционные и топливные материалы ядерной и термоядерной техники
- Новые материалы и методы их получения, наноматериалы

## ***3. РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА***

- Радиозэкологические исследования бывших ядерных полигонов, оценка рисков и вопросы дозиметрии
- Технологии снижения экологического риска радиационно-опасных объектов и территорий, обращение с радиоактивными отходами
- Аналитические методы в радиозэкологии и ядерной криминалистике

## ***4. ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МЕДИЦИНЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ***

- Производство и применение радиоактивных изотопов
- Ядерная медицина
- Радиационные технологии

**В рамках Форума состоится также:**

- Совещание «25 лет членства Республики Казахстан в ОИЯИ»

- Круглый стол «Исследовательские реакторы: безопасность, использование, управление ресурсом», приуроченный к 50-летию пуска исследовательского реактора ВВР-К

***Dear participants and guests of the International Scientific Forum  
"Nuclear Science and Technologies"!***

On behalf of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, the International Advisory Council and the Organizing Committee, I welcome you to the international scientific forum "Nuclear Science and Technologies" dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Nuclear Physics.

This forum consolidates several important events of the scientific community: the traditional 11<sup>th</sup> International Conference "Nuclear and Radiation Physics", the International Conference "Nucleus-2017" and the 8<sup>th</sup> Eurasian Scientific and Practical Conference "Nuclear Science and its Application". The Forum will also include the meeting, devoted to the 25<sup>th</sup> anniversary of Kazakstan's participation in the International Intergovernmental Scientific and Research Organization "Joint Institute of Nuclear Research".

In the message "Third modernization of Kazakhstan: global competitiveness" to the people of Kazakhstan the President specifies the task to create a new model of economic growth that will support the global competitiveness of the country. The first priority is the accelerated technological modernization of the economy, which implies the necessity to develop new industries. For this purpose, it is necessary to develop the scientific and innovative potential, including that in nuclear and radiation technologies.

The major part of the scientific, technical and human potential of the nuclear industry is concentrated in such research centers as the Institute of Nuclear Physics and the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan.

The Institute of Nuclear Physics, founded 60 years ago, is the main organization of the country involved in scientific research in nuclear and radiation physics, physics of nuclear reactors and charged particle accelerators, solid state physics, radiation materials science, radioecology, radiochemistry, radiopharmaceutical and development of nuclear and radiation technologies.

Within the framework of this Forum, the leading scientists from various countries of the world plan to discuss the current issues of nuclear and radiation physics, materials science, radiation ecology, analysis methods, nuclear and radiation methods in medicine and industry.

The level and quality of scientific achievements in nuclear science and technology contribute to upgrading the international authority of any country. The long-term successful work of the Kazakhstan scientists in peaceful use of atomic energy supports the global initiatives and efforts of Kazakhstan in realization of new principles of nuclear safety and keeping the world free of nuclear weapons.

I would like to wish the productive work, interesting scientific discussions and great progress to all participants, guests and organizers of the Forum!

**Minister of Energy of the Republic of Kazakhstan**



**K.A. Bozumbayev**

**Уважаемые участники и гости международного научного форума  
«Ядерная наука и технологии»!**

От имени Министерства энергетики Республики Казахстан, Международного консультативного совета и Организационного комитета приветствую вас на международном научном форуме «Ядерная наука и технологии», посвященном 60-летию Института ядерной физики.

Этот форум объединяет несколько значимых для научного сообщества событий – это традиционная 11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика», Международная конференция «Ядро-2017» и 8-я Евразийская научно-практическая конференция «Ядерная наука и ее применение». В рамках форума будет также проведено совещание, посвященное 25-летию участия Казахстана в Международной межправительственной научно-исследовательской организации «Объединенный институт ядерных исследований».

В послании народу Казахстана «Третья модернизация Казахстана: глобальная конкурентоспособность» Президентом поставлена задача создать новую модель экономического роста, которая обеспечит глобальную конкурентоспособность страны. Первым приоритетом является ускоренная технологическая модернизация экономики, в рамках которой необходимо развивать новые индустрии. Для этого необходимо развивать научный и инновационный потенциал, в том числе в области ядерных и радиационных технологий.

Значительная часть научно-технического и кадрового потенциала атомной отрасли сосредоточена в таких научно-исследовательских центрах, как Институт ядерной физики и Национальный ядерный центр Республики Казахстан.

Созданный 60 лет назад Институт ядерной физики является головной организацией страны по проведению научных исследований в области ядерной и радиационной физики, физики ядерных реакторов и ускорителей заряженных частиц, физики твердого тела, радиационного материаловедения, радиоэкологии, радиохимии, радиофармацевтики и разработки ядерных и радиационных технологий.

В рамках настоящего форума ведущие ученые из разных стран мира планируют обсудить актуальные проблемы ядерной и радиационной физики, материаловедения, радиационной экологии, методов анализа, ядерных и радиационных методов в медицине и промышленности.

Уровень и качество научных разработок в сфере ядерной науки и технологии способствуют повышению международного авторитета любой страны. Многолетняя успешная деятельность казахстанских ученых в области мирного использования атомной энергии позволяет также поддерживать глобальные инициативы и усилия Казахстана, направленные на реализацию новых принципов ядерной безопасности и построение мира, свободного от ядерного оружия.

Хочу пожелать всем участникам, гостям и организаторам форума плодотворной работы, интересных научных дискуссий и больших творческих успехов!

**Министр энергетики Республики Казахстан**



**К.А. Бозумбаев**



***PLENARY REPORTS***

**ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## **ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ**

*Кенжин Е.А.*

РГП «Институт ядерной физики», Республика Казахстан

Институт ядерной физики был создан в 1957 году для развития фундаментальных и прикладных исследований в области ядерной физики и мирного использования атомной энергии в народном хозяйстве. В своем обращении в Совет Министров СССР и ЦК КПСС о создании Института, президент Академии наук Казахской ССР академик К. И. Сатпаев писал: «Огромное расширение производительных сил Казахстана требует соответствующего усиления науки в Казахстане и в первую очередь внедрения во все звенья промышленности, сельского хозяйства и здравоохранения последних достижений ядерной физики». Сегодня Институт ядерной физики, отмечающий в 2017 году свое 60-летие, успешно выполняет эту миссию.

В настоящее время Институт ядерной физики Министерства энергетики является ведущей научной организацией Казахстана в области фундаментальной и прикладной ядерной физики, радиационной физики твердого тела, ядерных и радиационных технологий. Научно-технический и производственный потенциал Института создавался на протяжении десятков лет, при этом четыре базовые экспериментальные установки - атомный реактор ВВР-К, критический стенд, два ускорителя заряженных частиц – У-150 и УКП-2-1 – были созданы в советский период. В годы независимости Казахстана введены в эксплуатацию еще четыре крупные установки: ускоритель тяжелых ионов ДЦ-60, протонный циклотрон С-30, ускорители электронов ЭЛВ-4 и ИЛУ-10.

В структуру Института входят более 20 научно-исследовательских лабораторий и центров с современным аналитическим и экспериментальным оборудованием, два филиала и научно-производственная радиоэкологическая экспедиция. В ИЯФ работают около 700 сотрудников, в том числе более 70 докторов и кандидатов наук.

ИЯФ имеет большой опыт создания наукоемких технологий, значительная часть которых внедрена в производство. В настоящее время развиваются следующие технологические направления:

- производство радиоизотопной продукции;
- радиационная обработка материалов;
- производство и применение ионно-трековых мембран;
- мониторинг и реабилитация окружающей среды;
- обращение с ядерными материалами, источниками ионизирующих излучений и радиоактивными отходами.

Институт выполняет научно-исследовательские работы в рамках государственных программ, контрактов с международными организациями и компаниями с различной формой собственности как в Республике Казахстан, так и за рубежом, участвует в реализации крупных государственных инвестиционных программ, обеспечивает медицинские центры и промышленные предприятия страны необходимой радиоизотопной и радиационно-обработанной продукцией и высокоспециализированными услугами. ИЯФ сотрудничает с ведущими вузами Казахстана, зарубежными ядерными центрами и университетами в проведении научных исследований при непосредственном участии студентов бакалавриата, магистратуры и PhD докторантов.

**ЕДИНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОЯВЛЕНИЯ Т-НЕЧЁТНЫХ TRI- И ROT-АСИММЕТРИЙ В РЕАКЦИЯХ ТРОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР-АКТИНИДОВ ХОЛОДНЫМИ ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ**

<sup>1</sup>Кадменский С.Г., <sup>2</sup>Бунаков В.Е., <sup>1</sup>Любашевский Д.Е.

<sup>1</sup>Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

<sup>2</sup>НИЦ “Курчатовский институт”, Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия  
kadmensky@phys.vsu.ru

В рамках квантовой теории деления [1-5] строится единый механизм появления Т-нечётных TRI- и ROT-асимметрий в угловых распределениях третьих частиц, в качестве которых рассматриваются предразрывные альфа-частицы для истинного, а также мгновенные нейтроны и гамма-кванты для задержанного тройного деления неориентированных ядер-актинилов холодными поляризованными нейтронами. Этот механизм обуславливается влиянием вращения составного делящегося ядра на амплитуды угловых распределений фрагментов деления  $B$  и третьих частиц  $A$  через Кориолисово взаимодействие полного спина составного ядра как с орбитальными моментами фрагментов деления  $L$ , так и предразрывных третьих частиц  $l$  при учёте интерференции делительных амплитуд различных  $s$ -нейтронных резонансов ( $s, s'$ ) составного делящегося ядра, формируемых при захвате падающего нейтрона ядром-мишенью и обладающих не только одинаковыми  $J_S = J_{S'}$ , но и различными спинами  $J_S \neq J_{S'}$ . При этом для предразрывных альфа-частиц продемонстрировано

выполнение условие квазиклассичности их движения  $\eta = \frac{2Z_i e^2}{\hbar v_\alpha} \ll 1$  когда фаза указанного движения  $\delta_i$  не

зависит от  $l$ , что позволяет выразить главные действительные части чётных  $\{A^{ev}(\theta)\}$  и нечётных  $\{A^{odd}(\theta)\}$  компонент амплитуды углового распределения альфа-частиц через их угловые распределения  $P(\theta)$  и  $P(\pi - \theta)$ .

При этом появление TRI- и ROT-асимметрий для предразрывных альфа-частиц связывается с учётом влияния Кориолисова взаимодействия как на амплитуды  $B$  фрагментов деления, так и на нечётные  $A^{odd}$  и чётные  $A^{ev}$  компоненты амплитуд альфа-частиц соответственно. Для анализируемых же асимметрий испарительных гамма-квантов и нейтронов подтверждается полученный ранее результат о необходимости учёта влияния Кориолисова взаимодействия только на амплитуду  $B$  фрагментов деления [4]. При этом чётный характер амплитуд  $A = A^{ev}$  испарительных гамма-квантов и нейтронов, обусловленный выстроенностью спинов фрагментов деления, возникающей из-за влияния поперечных wiggling- и bending-колебаний составного делящегося ядра в окрестности его точки разрыва, приводит к появлению только ROT-асимметрий. Показано, что эффективные углы поворота  $\Delta\theta$  фрагментов деления под действием Кориолисова взаимодействия совпадают для всех рассматриваемых TRI- и ROT-асимметрий как для предразрывных, так и для испарительных третьих частиц.

Показано, что предложенные в работе [6] механизмы, основанные на использовании классических представлений и траекторных расчётов [7], в принципе, не могут учесть необходимой для описания рассматриваемых асимметрий интерференции делительных амплитуд различных  $s$ -нейтронных резонансов. Продемонстрирована непоследовательность использования bending-колебаний составного делящегося ядра для описания анализируемых в [6] TRI-асимметрий и обращено внимание на нарушение в [6] требования совпадения используемых при расчётах TRI- и ROT-асимметрий переходных делительных состояний  $J_S \pi_S K_S$  с аналогичными состояниями, используемыми при расчётах асимметрий с различными P- и T-чётностями в угловых распределениях фрагментов двойного деления анализируемых ядер.

Литература

1. Бунаков В.Е., Кадменский С.Г., ЯФ 66, 1894 (2003)
2. Бунаков В.Е., Кадменский С.Г., С. С. Кадменский, ЯФ 71, 1917 (2008)
3. Любашевский Д.Е., Кадменский С.Г., Изв. РАН. Сер. физ. 74, 828 (2010)
4. Кадменский С.Г., Бунаков В.Е., Любашевский Д.Е., Изв. РАН. Сер. физ. 80, 1013 (2016)
5. A. Gagarisky, F. Gonnenein, I. Guseva *et al*, Phys. Rev. C 93, 054619 (2016)
6. I. S. Guseva, Yu. I. Gusev, Proceedings of the ISINN-14, Dubna, Russia, 2006, P.101. (JINR, Dubna, 2007).

**CHALLENGE FOR CREATION OF SCIENCE AND INDUSTRY ON THE BASE OF COOPERATION  
BETWEEN CHIYODA TECHNOL CO. AND THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS**

*Hosoda T.\*<sup>1</sup>, Kenzhin Y.\*<sup>2</sup>*

\*1 Chairman of Chiyoda Technol Corporation, Tokyo, Japan

\*2 Director General of the Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan  
e-mail: hosoda-t@c-technol.co.jp

The idea of Chiyoda Technol Corporation (CTC) is “to contribute to society on the base of technology for safety utilization of radiation“. And the Institute of Nuclear Physics (INP) has a field of activity in common with CTC. By the way, the reactors for research in Japan have been not operated after Fukushima earthquake. Therefore, CTC and INP signed new memorandum mainly concerning study fields with WWR-K reactor owned by INP, on Nov.8<sup>th</sup> of 2016 when the president of Republic of Kazakhstan visited in Japan.

In this memorandum, as interesting cooperation fields, CTC and INP selected four terms, i.e. RI production, Next generation dosimeter development,  $\Phi$ 300mm Neutron transmutation doping–Si development and Neutron irradiation study promotion. CTC and INP will aim to achieve “New utilization of WWR-K reactor”, “Improve of Science and technology” and “Personnel training on technology for safety utilization of radiation against medical persons and university students”.

For four months from this memorandum signing, CTC and INP have investigated the possibility of cooperation on creation of research and industry. Then, the cooperation study agreement was signed on 28<sup>th</sup> March in 2017. Special study topics are shown as follows.

- ① RI production technology development
- ② <sup>99</sup>Mo production technology development by (n, $\gamma$ ) method with WWR-K
- ③ NDT-Si production technology development
- ④ Next generation dosimeter development
- ⑤ Irradiation Technology development for irradiation study promotion with WWR-K
- ⑥ D-Shuttle application study

In this time, the outline of status and future plan on our cooperation for the creation of science and industry between CTC and INP will be presented.

**ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ПЛАНЕТОЛОГИИ В ОИЯИ**

*Швецов В.Н.*

Объединенный институт ядерных исследований, г.Дубна, Россия

Исследования в области ядерной планетологии ведутся в двух лабораториях Объединенного института ядерных исследований (ОИЯИ): Лаборатории нейтронной физики им. И.М.Франка и Лаборатории радиационной биологии. Эти работы выполняются в сотрудничестве с Институтом космических исследований РАН.

Основные направления исследований – разработка концепции, математическое и физическое моделирование детекторов нейтронов и гамма-квантов для космических аппаратов, а также, физические калибровки этих приборов.

В докладе будут представлены результаты, полученные при создании и последующей работе в космосе Детектора нейтронов высоких энергий (HEND) на борту марсианского орбитального аппарата НАСА Mars Odyssey, коллимированного детектора нейтронов LEND на борту лунного орбитального аппарата НАСА Lunar Reconnaissance Orbiter, инструмента Динамическое альбедро нейтронов (DAN) на борту спускаемого аппарата НАСА Curiosity и других.

**РАДИОНУКЛИДЫ И ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕКАХ КАЗАХСТАНА –  
РЕЗУЛЬТАТЫ 10-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА**

*Солодухин В.П.*

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Состояние водных ресурсов Республики Казахстан характеризуется общей недостаточностью, а также значительным их загрязнением и истощением. Ситуация усугбляется еще и тем, что после развала СССР и разобщения отдельных республик значительно ослабились координация работ по регулированию потоков трансграничных рек и контроль качества их вод. Эта особенность создает угрозу повышенного экологического риска и психологического стресса для жителей населенных пунктов, размещенных в бассейнах этих рек, и требует принятия срочных мер по контролю состава их водных поступлений.

К наиболее крупным трансграничным рекам Казахстана, втекающим из сопредельных стран (страна указана в скобках), относятся следующие: р. Иртыш и р. Или (КНР), р. Сырдарья (Узбекистан), р. Урал (Россия). В перечень трансграничных входят также следующие менее полноводные реки: р. Эмель и р. Текес (КНР); р. Шу, р. Карабалта, р. Талас (Кыргызстан); р. Чаган, р. Тобол, р. Аят и р. Илек (Россия).

Начиная с весны 2007 г. РГП «Казгидромет» и ИЯФ МЭ РК проводят работы по определению радионуклидного и элементного состава объектов окружающей среды, отобранных на приграничных участках рек, втекающих на территорию Казахстана. При организации этой системы мониторинга была использована методология, разработанная коллективом ученых Центральной Азии и США в процессе выполнения работ по Международному проекту «Навруз» [1]. В соответствии с этой методологией на намеченных контрольных пунктах ежегодно (весной и осенью) проводятся экспедиционные работы по отбору проб объектов окружающей среды. Определение радионуклидного и элементного составов образцов почвы, донных отложений, а также растворимых и нерастворимых компонентов воды проводится в лабораторных условиях методами инструментальной  $\gamma$ -спектрометрии, радиохимического анализа, нейтроноактивационного анализа (НАА), рентгенофлуоресцентного (РФА), масс- и атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (МС-ИСП и АЭС-ИСП, соответственно).

В докладе представлены методология и основные результаты 10-летнего мониторинга радиационной и экологической обстановки на приграничных участках этих рек. На основе полученных аналитических данных установлены факты трансграничного переноса отдельных загрязнителей и влияния техногенной деятельности (добыча и переработка урана, металлургия) на состояние объектов окружающей среды в бассейнах трансграничных рек Казахстана. Все реки ранжированы по уровню их загрязненности радионуклидами и токсичными элементами. Выработаны предложения на проведение детального обследования наиболее загрязненных участков отдельных из этих рек с целью оценки степени радиационной и / или химической опасности установленного загрязнения для живых организмов и окружающей среды.

1. Passell H.D., Solodukhin V.P., Khazhekber S., Poznyak V. L., Vasiliev I.A., Alekhina V., Djuraev A., Salikhbaev U.S., Radyuk R.I., Suozzi D., Barber D.S. The Navruz Project: Cooperative, Transboundary Monitoring, Data Sharing and Modeling of Water Resources in Central Asia // Nuclear Risk in Central Asia. – Netherlands: Springer Science+Business Media B.V., 2008. – P. 191-199.

**АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, КАК АКТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ  
БУДУЩЕГО**

*Гарибов А.А.*

Национальный Ядерный Исследовательский Центр  
Институт Радиационных Проблем НАНА

Выявление высокоэффективных и безопасных путей преобразования ядерной энергии является актуальным направлением ядерной науки и технологии современности. Поэтому в данном докладе приведены основные результаты исследований процессов преобразования тепловой и радиационных составляющих энергии деления ядра с помощью универсального энергоносителя водорода. Это направление науки и технологии за последние 50 лет формировалось как самостоятельное научно-техническое направление как атомно-водородная энергетика.

В данной работе исследованы процессы преобразования радиационной и тепловой составляющих ядерной энергии с помощью универсального энергоносителя. С целью выявления оптимальных путей преобразования энергии исследованы кинетика и механизмы накопления носителей энергии в различных системах под действием ионизирующих излучений и тепла. Проведенные процессы можно сгруппировать в основном в четырёх группах по мере даты обнаружения.

Радиационные процессы получения водорода при радиологическом разложении воды в присутствии оксидных соединений.

Термические процессы разложения воды с участием различных оксидных катализаторов.

Радиационно-термическое разложение воды в присутствии оксидной системы.

Размерные эффекты в радиационно-гетерогенных процессах разложения воды в присутствии оксидных соединений, радиационно-гетерогенные процессы получения водорода в присутствии нано размерных оксидных соединений и индивидуальных нано полупроводниковых соединений.

С целью выявления возможностей преобразования тепловой составляющих ядерной энергии исследованы кинетика получения водорода при разложении воды в присутствии индивидуальных оксидов BeO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub> и сложных оксидных систем, которыми являются цеолиты, алумосиликаты, борсиликаты, алумоцирконаты, бериллийсиликаты и SiO<sub>2</sub> – ZrO<sub>2</sub> в области температур T=373-773 К в плотностях паров воды  $\rho_{H_2O} \approx 0.1 - 9$  мг/см<sup>3</sup>

Выявлено, что начиная с  $T \geq 473K$  оксидные соединения ускоряют термический процесс разложения воды. Выбран оптимальный тип оксидных катализаторов и режимы получения водорода из воды. Предложен механизм термокаталитического действия оксидных систем в процессе получения водорода. Термокаталитические процессы рекомендованы для преобразования тепловой энергии высокотемпературных реакторов с помощью молекулярного водорода.

На основе исследований радиолиза воды в присутствии широких классов индивидуальных и сложных оксидных соединений в зависимости от ширины запрещенной зоны, состава, поверхностных физико-химических свойств, степени заполнения поверхности оксидов молекулами воды. Выявлено, что оксидные системы играют роль преобразователя энергии ионизирующих излучений в более мобильной и удобной форме и передаче к адсорбированным молекулам воды. В результате радиационно-гетерогенных процессов в контакте с оксидными системами выход водорода превышает от значений выхода при радиолизе чистой воды в гомогенном состоянии,

$$G_{\text{гет}}(H_2) > G_{\text{гом}}(H_2)$$

который является указателем радиационно-каталитического действия оксидных систем в процессе преобразования энергии радиационно составляющих ядерной энергии. Выявлена природа, количественной характеристики генерации, механизм миграции на поверхности и взаимодействия молекулами воды носителей энергии в оксидных системах. Установлено, что носителями энергии в оксидных системах являются неравновесные носители зарядов, возбужденных состояний и дефектные состояния структур, которые генерируются под действием так первичных излучений, так и вторичных электронных излучений в оксидных системах. Выявлены закономерности зависимости выходов носителей энергии от мощности излучения, ширины запрещенной зоны, структурной упорядоченностью и дисперсности оксидных систем. На основе экспериментальных и теоретических расчетов определены пороговые энергии генерации электронно-дырочных пар в различных типах оксидов. Так для оксида диэлектрика  $E_{\text{пор}} = 2,0E_g$ , а в полупроводимых оксидах  $E_{\text{пор}} = 3,0 - 4,0E_g$  где  $E_g$  ширина запрещенных оксидов. Выявлены закономерности миграции неравновесных носителей зарядов к поверхности и взаимодействия с адсорбированными молекулами воды. Установлено, что в высокопористых оксидах миграция неравновесных носителей зарядов происходит по дрейфовым механизмам под действием поверхностного электростатического поля. На основе результатов исследования закономерностей генерации, миграции, локализации и рекомбинации неравновесных носителей зарядов в

широкий класс оксидных соединений выявлена роль структурных неупорядоченностей и размерные эффекты в процессе накопления энергии излучений в твердых оксидных системах в виде энергии локализованных состояний неравновесных носителей зарядов. Определены предельные значения носителей энергии в оксидных соединениях. Выявлены оптимальные типы и формы оксидных соединений, которые обладают высокой радиационно-каталитической активностью в процессе разложения воды. При  $T \leq 573\text{K}$  определены соотношения между выходами носителей зарядов и выход молекулярного водорода при радиационно-каталитической разложении воды в присутствии оптимальных форм классических катализаторов

$$G_m(H_2) = \frac{1}{2} G_0(\text{н.э})$$

$G_0(\text{н.э})$  – начальные выходы носителей энергии.

Выявлено, что с увеличением температуры  $T \geq 673\text{K}$  в радиационно-термокаталитических процессах происходит трансмиссия промежуточных продуктов H и OH к молекулярному водороду и максимальный выход универсального энергоносителя соответствует  $G(H_2) = G_0(\text{н.э})$ , коэффициент полезного действия в этих системах соответствует  $\eta_{p=3} G_m(H_2) \approx 24\%$ .

При расчете значений  $G(H_2)$  при радиационно-термических процессах вклад термокаталитических процессах разложение воды вычитывается  $W_p(H_2) = W_{рт}(H_2) - W_t(H_2)$  и поэтому в значениях  $\eta$  не учтены  $W_t(H_2)$

Поэтому реальное значение КПД радиационно-каталитических процессов получения универсального энергоносителя больше  $\eta > \eta_p$ .

За последние 25 лет на основе исследований закономерностей радиационно-гетерогенных процессов разложения веществ выявлен размерный эффект при переносе энергии на поверхностный уровень. Согласно этому эффекту если в катализаторах для радиационно-каталитических процессах длина переноса носителей энергии становится сравним с размерами частицы катализатора (R) наблюдается сильная зависимость  $G(H_2) = f(R)$ . Если учесть что, длина свободного пробега неравновесных носителей энергии зарядов в оксидных диэлектриках для энергии частицы  $E = 10 - 10^3$  эв изменяется в интервале  $l_{ev} \approx 10^2 - 10$  нм высокая радиационно-каталитическая активность может быть наблюдаться в системах с наноразмерами. Размерный эффект в радиационно-гетерогенных процессах подтвержден результатами исследований радиолиза воды в присутствии нано размерных твердых тел. В классических системах радиационно-каталитических процессов перенос и передача энергии веществ подвергающимся разложению происходят в основном в адсорбированных состояниях и поэтому для эффективного разложения требуется удовлетворение соотношения между ширинами запрещенной зоны оксидов и диссоциативного уровня (ЕД) воды  $E_g \geq EД$ . В радиационно-гетерогенных процессах нано-систем  $+H_2O$  длина свободного пробега вторичных  $\delta$ -электронов  $l_{ev} > R$  и поэтому часть вторичных электронов проходит в поверхность твердого тела и взаимодействует с контактирующей средой. Поэтому с уменьшением размера частиц вклад переноса к адсорбированной фазе уменьшается и частицы твердой фазы ведут себя как источник вторичных электронных излучений. Закономерность переноса энергии к поверхностным уровням и к контактирующей среде изучены на примерах n-SiO, n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, n-ZrO<sub>2</sub>, n-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-n-ZrO<sub>2</sub>, n-SiO<sub>2</sub> и n-Be, n-Si.

Установлено, что при радиационно-каталитическом разложении воды в адсорбированной фазе нано-оксидов при  $T \leq 673\text{K}$  удовлетворяется  $G(H_2) = \frac{1}{2} G_0(\text{н.э.})$  В случае радиолиза жидкой воды в присутствии нано-оксидов и n-Be, n-Si твердая фаза ведет себя как источник вторичных излучений. Молекулы воды в этих системах подвергаются воздействию вторичных электронных излучений в пространстве между нано частицами на расстояниях от поверхности 4-5 нм. Разложение молекул воды в этих системах происходит по механизму плазмохимического разложения воды. Максимальный выход молекулярного водорода при радиолизе воды в присутствии оптимальных нано-систем достигается  $G(H_2) \approx 14$  молекул/100эВ и коэффициент полезного действия преобразования радиационно составляющих ядерной энергии соответствует  $\eta \approx 42\%$ . Если реализовать трансмиссию промежуточных продуктов к конечному молекулярному водороду и учесть термические процессы разложения воды, то ожидаемое значение  $\eta$  будет больше.

Таким образом, выявленные закономерности радиационно-гетерогенных процессов получения молекулярного водорода свидетельствуют о том, что атомно-водородную энергетику можно рассматривать как эффективный способ преобразования тепловой и радиационно составляющих ядерной энергии и в сочетаниях новых поколений ядерно энергетическими системами как перспективный источник энергии.

## НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ НУКЛОННЫХ ГАЛО

*Демьянова А.С.*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт»  
пл. Академика Курчатова, 123182 Москва, Россия

Открытие гало – одно из важнейших достижений физики ядра в конце прошлого века. Гало было открыто в основных состояниях ядер, лежащих на границе стабильности с помощью нового «инструмента» - пучков радиоактивных ядер. Основным свойством гало является увеличенный радиус валентных нейтронов, в 2 - 3 раза превышающий размеры остова. Однако прямых методов измерения радиусов короткоживущих состояний на тот момент не было.

Нашей группой были разработаны следующие методы измерения радиусов ядер в короткоживущих состояниях:

- 1) модифицированная дифракционная модель (МДМ), использующая особенности дифракционной компоненты дифференциального сечения.
- 2) метод радужного рассеяния, основанный на особенностях радужной компоненты дифференциального сечения.
- 3) Метод асимптотических нормировочных коэффициентов (АНК)
- 4) Распространение МДМ на реакции перезарядки ( ${}^3\text{He}, t$ ) и, возможно, ( $d, {}^2\text{He}$ )

Применение данных методов позволило получить следующие результаты:

- гало обнаружено в «неэкзотических» стабильных ядрах ( ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ )
- гало обнаружено не только в основных, но и возбужденных состояниях ядер ( ${}^9\text{Be}$ ,  ${}^{13}\text{C}$ )
- гало обнаружено не только в состояниях дискретного спектра, но и в состояниях континуума (вращательные полосы  ${}^9\text{Be}$ )
- впервые обнаружено протонное гало в  ${}^{13}\text{N}$ . В зеркальных состояниях  ${}^{13}\text{N}$  -  ${}^{13}\text{C}$  наблюдаются гало (протонное и нейтронное, соответственно), имеющие одинаковые радиусы
- рассмотрен вопрос борроминовских и танго структур в трехтелных гало
- гало в изобар-аналоговых состояниях.  ${}^6\text{He} (2n) - {}^6\text{Li} (np) - {}^6\text{Be} (2p)$ .

## THREE-BODY ASYMPTOTIC NORMALIZATION FUNCTIONS AS A NEW FUNDAMENTAL DYNAMIC CHARACTERISTIC OF THE THREE-BODY HALO NUCLEI

*Yarmukhamedov R.*

Institute of Nuclear Physics, Uzbekistan Academy of Sciences, 100214 Tashkent, Uzbekistan

The present review report is devoted to consideration of the asymptotic method of deriving the true asymptotics of the radial three-body wave functions of halo nuclei with two both loosely bound "valence" neutrons and charged particles. These presented asymptotic forms are expressed in terms of a new fundamental dynamic characteristics of the three-body halo nucleus in the form of the three-body asymptotic normalization functions (TBANFs). The methods proposed for determination of the TBANFs are discussed. The results for the TBANF values obtained for the some specific light halo nuclei and their sensitivity to the used two-body nuclear potentials are also presented.



**25 ЛЕТ НАЦИОНАЛЬНОМУ ЯДЕРНОМУ ЦЕНТРУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН.  
ОТ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАГЕДИИ – К НАЦИОНАЛЬНОЙ ГОРДОСТИ**

*Батырбеков Э.Г.*

Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

Национальный ядерный центр Республики Казахстан (НЯЦ РК) создан 15 мая 1992 года Указом Президента Республики Казахстан №779 на базе комплекса бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) и соответствующих научных организаций, и объектов, расположенных на территории Казахстана. С закрытием полигона перед молодым независимым государством возник ряд задач, решение которых было поручено НЯЦ РК, а именно: ликвидация инфраструктуры и последствий испытаний ядерного оружия; конверсия бывшего военно-промышленного комплекса СИП и использование его научно-технического потенциала в мирных целях; контроль за проведением испытаний ядерного оружия на других действующих полигонах мира, а также создание научно-технической, технологической и кадровой базы для развития атомной энергетики в Республике Казахстан.

Несмотря на все сложности переходного периода начала 90-х годов прошлого века, последующие трудные годы становления, которые предприятие прошло вместе со всей страной, можно с уверенностью констатировать, что НЯЦ РК успешно справился с поставленными государством задачами и на современном этапе развития активно наращивает свой опыт и компетенции в сфере мирного использования атомной энергии. В докладе представлена ретроспектива деятельности НЯЦ РК за прошедшие с момента его создания годы и выполнен обзор текущих работ.

Спектр проводимых сегодня в НЯЦ РК исследований включает большой пласт работ в обоснование безопасности атомной энергетики с использованием уникальной экспериментальной и технологической базы, которую удалось не только сохранить, но и модернизировать и приумножить. В этой области НЯЦ РК добился впечатляющих результатов и сегодня является мировым лидером в экспериментальном моделировании процессов, сопровождающих тяжелых аварии ядерных реакторов с плавлением активной зоны. Реализован ряд экспериментальных программ в сотрудничестве с японскими научно-исследовательскими и коммерческими организациями, часть из них продолжается в данный момент. Положительные результаты проведенных экспериментов получили международное признание и вызвали большой интерес к совместной с НЯЦ РК работе со стороны других зарубежных организаций, занимающихся разработкой новых реакторов.

В сфере обеспечения режима нераспространения ядерного оружия в НЯЦ РК впервые в мире разработаны и применены технологии ликвидации последствий проведения ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне. Проведены работы по извлечению подготовленного к испытаниям ядерного заряда, закрыты 181 штольня, 13 скважин и 12 шахтных пусковых установок, предназначенных для испытаний ядерного оружия. Созданы и усилены барьеры, исключающие несанкционированный доступ к отходам ядерной деятельности. Сегодня передовым опытом НЯЦ РК в этом направлении интересуется другие страны, на территориях которых действовали ядерные полигоны.

Уникальны по своей сути и разработки НЯЦ РК в области радиоэкологических исследований. В рамках этого направления создана и внедрена система выявления и ликвидации радиационно-опасных ситуаций с использованием современной аппаратно-методической базы. Выявлены и охарактеризованы основные радиоактивно-загрязненные участки и объекты на 50% территории СИП общей площадью 9210 км<sup>2</sup>, проведены исследования «условно фоновых» территорий. На результаты обследования получены положительные экспертные заключения МАГАТЭ. Опыт такой работы вызвал интерес со стороны японских коллег, занимающиеся ликвидацией радиационно-опасной ситуации после аварии на АЭС «Фукусима».

Большое внимание в НЯЦ РК уделяется научным исследованиям в области управляемого термоядерного синтеза. В 2017 году проведен физический пуск Казахстанского материаловедческого токамака КТМ, предназначенного для исследования материалов термоядерных реакторов. Уникальность Токамака КТМ в том, что он позволяет исследовать поведение материалов при очень высоких тепловых нагрузках. Это первая в Казахстане установка для проведения научных исследований и испытаний для будущих термоядерных реакторов, являющаяся вкладом нашей страны в дело создания термоядерной энергетики. 26 мая 2017 года в Казани на 73-ем заседании Экономического совета стран СНГ шестью странами СНГ – Российской Федерацией, Республикой Казахстан, Республикой Беларусь, Республикой Таджикистан, Республикой Киргизия и Республикой Армения было подписано «Соглашение о совместном использовании экспериментального комплекса на базе казахстанского материаловедческого токамака». 11 июня 2017 года соглашение о сотрудничестве подписано между НЯЦ РК и Организацией ИТЭР, планируется проведение большого комплекса совместных работ.

Таким образом, сегодня НЯЦ РК является открытой для сотрудничества современной научной организацией, региональным лидером в области разработки и внедрения передовых инновационных технологий для атомной науки и техники, повышения ее эффективности и безопасности.

**ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ГЕЛИЯ И ВОДОРОДА В ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ**

Гусева Л.Ю., Калинин Б.А., Стальцов М.С., Чернов И.И.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

В последние годы в мире и России ведутся широкие исследования по созданию сталей с ОЦК структурой (мартенситных, ферритно-мартенситных, ферритных) для замены ими сильно распухающих аустенитных сталей с ГЦК структурой, недостаточную по сравнению с аустенитными сталями жаропрочность которых планируется повысить использованием дисперсного упрочнения оксидами (ДУО стали). Такие стали изготавливают методами порошковой металлургии. С увеличением глубины выгорания ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах от ~12% т.а. в БН-600 до 16–22% т.а. в реакторах новых поколений в конструкционных материалах будут нарабатываться значительные концентрации гелия и водорода, причем скорость накопления их в материалах реакторов синтеза будет в разы выше. Гелий и водород являются одной из причин деградации свойств конструкционных материалов ядерных реакторов и термоядерных реакторов будущего, приводя к сокращению срока службы их конструктивных элементов. При этом гелий и водород часто проявляют негативный эффект синергизма. В связи с этим в работе приведены экспериментальные результаты исследования закономерностей захвата, удержания и выделения гелия и водорода в ДУО сталях, полученных по разным технологиям, в сравнении с поведением этих газовых примесей в матричной ферритно-мартенситной стали ЭП-450, на основе которой изготовлена ДУО сталь путем механического легирования оксидом  $Y_2O_3$ . Имплантация гелия и водорода проведены на ионных ускорителях. Поведение внедренных газов и развитие микроструктуры исследованы методами термодесорбционной спектроскопии (ТДС) и просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ). Абсолютное содержание водорода в образцах определено в высокочувствительном газоанализаторе модели RHEN-602 фирмы «Leco» с использованием метода восстановительного плавления в вакууме или в потоке инертного газа-носителя (при массовой доле водорода от 0,00005 до 0,01%).

Установлено, что в отличие от спектра газовой выделенности из матричной стали ЭП-450, спектр ТДС ДУО стали характеризуется мощным пиком выделения гелия в высокотемпературной области, значительно превосходящей температуру основного пика газовой выделенности из стали ЭП-450. Расчет энергии активации газовой выделенности в высокотемпературном пике ДУО стали дает очень большие значения. Сделано предположение, что это связано с зарождением и ростом гелиевых пузырьков на некогерентных/полукогерентных границах раздела матрицы с оксидными частицами с высокой энергией связи. Сделанное предположение подтверждено в исследованиях в ПЭМ, в которых показано, что почти на всех границах частиц  $Y_2O_3$  формируются пузырьки.

В исследованиях методом ТДС водорода установлено, что в ферритно-мартенситной стали ЭП-450-ДУО, изготовленной горячей экструзией (ГЭ), удерживается в два раза больше водорода, чем в стали ЭП-450, полученной прокаткой. В стали ЭП-450, изготовленной спарк-плазменным спеканием (СПС) порошка стали без добавки  $Y_2O_3$ , содержание водорода составляет примерно в 1,5 раза меньше, чем в прокатанной стали ЭП-450. Добавка  $Y_2O_3$  существенно увеличивает содержание удерживаемого водорода, причем ДУО сталь (СПС) с 1 мас. %  $Y_2O_3$  аккумулирует существенно больше водорода, чем такая же сталь с 0,3 мас. %  $Y_2O_3$ , что свидетельствует именно о роли дисперсных частиц в удержании водорода. При этом максимальное количество водорода удерживается в ДУО стали, изготовленной горячей экструзией (ГЭ).

При определении абсолютного количества водорода, удерживаемого в сталях, имплантированных ионами  $H^+$  ( $E = 40$  кэВ,  $T_{обл} = 20$  °С,  $\Phi = 5 \cdot 10^{20} H^+/m^2$ ) обнаружено, что в стали ЭП-450-ДУО (ГЭ) удерживается максимальное количество водорода ( $26,9 \cdot 10^{-4}$  мас. %), в сталях ЭП-450, ЭП-450-ДУО (СПС) и ЧС-68 значительно меньше ( $2,5$ ,  $4,1$  и  $4,4 \cdot 10^{-4}$  мас. % соответственно), однако в стали ЭП-450-ДУО (СПС) количество водорода в 1,6 раза, а в стали ЧС-68 – в 5,8 раза выше, чем в стали ЭП-450. Таким образом, установлено, что на количество удерживаемого водорода существенное влияние оказывает как тип кристаллической решетки материала – при идентичных условиях введения водорода в аустенитной стали ЧС-68 аккумулируется значительно больше водорода, чем в ферритно-мартенситной стали ЭП-450, так и наличие в структуре сталей частиц дисперсной упрочняющей фазы – в ДУО сталях удерживается намного больше водорода, чем в матричной стали ЭП-450, на основе которой они изготовлены.

Обнаружено, что при предварительном создании гелиевой пористости облучением ионами  $He^+$  ( $E = 40$  кэВ,  $T_{обл} = 20$ – $650$  °С,  $\Phi = 5 \cdot 10^{20} He^+/m^2$ ) количество удерживаемого ионно-внедренного водорода ( $H^+$ ,  $E = 25$  кэВ,  $T_{обл} = 20$  °С,  $\Phi = 5 \cdot 10^{20} H^+/m^2$ ) возрастает со снижением давления гелия в пузырьках (с возрастанием размера пузырьков с увеличением температуры облучения ионами гелия).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  $NN$ -ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В  
МАЛОНУКЛОННЫХ РЕАКЦИЯХ

<sup>1</sup> Конобеевский Е.С., <sup>2</sup> Кукулин В.И., <sup>1</sup> Зуев С.В., <sup>1</sup> Каспаров А.А., <sup>1</sup> Мицук В.В., <sup>1</sup> Мордовской М.В., <sup>2</sup> Лебедев В.М., <sup>2</sup> Померанцев В.Н., <sup>2</sup> Спасский А.В.

<sup>1</sup>Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В.Скобельцына, Москва, Россия

В течение многих лет одной из важнейших задач ядерной физики было объяснение свойств ядер исходя из данных о нуклон-нуклонных потенциалах. Несмотря на большой прогресс в исследовании  $NN$ -взаимодействия остается ряд проблем, до конца еще не решенных. К их числу относится проблема нарушения зарядовой симметрии (НЗС) ядерных сил. Особую роль в проверке гипотезы о зарядовой симметрии ядерных сил играют исследования низкоэнергетических характеристик  $NN$ -взаимодействия в синглетном спиновом состоянии – длин рассеяния и энергий виртуального  $^1S_0$  состояния  $NN$ -систем. Так как синглетное  $^1S_0$  состояние двух нуклонов почти связано (существует виртуальное состояние с энергией близкой к нулю), малое различие в величине потенциала может приводить к заметному изменению длины рассеяния. Таким образом, разность длин рассеяния (или энергий виртуального синглетного состояния) является важной характеристикой эффекта НЗС, и требуются точные данные об этих низкоэнергетических параметрах  $NN$ -взаимодействия.

Однако извлеченные из экспериментов последних лет данные о величине нейтрон-нейтронной длины рассеяния имеют существенный разброс значений: от  $a_{nn} = -25$  фм до  $a_{nn} = -14$  фм [1-5], что не дает возможности однозначно ответить на вопрос о степени НЗС ядерных сил и даже о ее знаке.

В 2016г. нами было проведено исследование  $nn$ -взаимодействия в реакции  $d+^2\text{H} \rightarrow (nn)^S + (pp)^S \rightarrow n+n+p+p$  при энергии дейтронов 15 МэВ на циклотроне НИИЯФ МГУ [6]. Впервые, в кинематически полном эксперименте получено значение энергии виртуального синглетного  $^1S_0$  состояния  $(nn)^S$  системы. Значение энергии состояния определено из сравнения экспериментального время-пролетного спектра нейтрона от развала  $(nn)^S$ -системы с результатами моделирования, зависящими от этой энергии. Полученное из  $\chi^2$ -анализа значение энергии  $E_{nn} = 76 \pm 6$  кэВ, значительно ниже значений, пересчитанных из  $nn$  длин рассеяния в экспериментах по  $nd$ -развалу (120 – 160 кэВ), что указывает на эффективное усиление  $nn$ -взаимодействия в промежуточном состоянии в исследуемой реакции.

В работе проведен анализ данных полученных нами в реакции  $nd \rightarrow pnn$  при энергии 40 МэВ [7], данных по реакции  $dd \rightarrow ppnn$  [6], и данных современных экспериментов по определению длины  $nn$ -рассеяния в реакции  $nd \rightarrow pnn$  [1-5]. Обнаружена зависимость полученных в этих работах значений длин рассеяния ( $a_{nn}$ ) от относительного импульса двухнейтронной системы и третьей заряженной частицы (протона или дипротона) при соответствующей кинематике реакции. Обнаруженная зависимость может быть объяснена в рамках Дибарионной модели  $NN$ -взаимодействия [8] введением нового механизма - обмена скалярным  $\sigma$ -мезоном между дибарионом (в нашем случае  $nn$ -синглетом  $^1S_0$ ) и заряженной частицей (протоном или  $pp$ -синглетом  $^1S_0$ ). При этом с увеличением эффективного расстояния между фрагментами сила взаимодействия уменьшается и в пределе стремится к нулю, а длина рассеяния к значению в отсутствие влияния на эту величину трехчастичного взаимодействия –  $a_{nn} = -15.5$  фм.

Список литературы

1. Huhn V., Watzold L., Weber Ch., et al., Phys. Rev. C **63**, 014003 (2000).
2. von Witsch W., Ruan X., and Witala H., Phys. Rev. C **74**, 014001 (2006).
3. Crowe B.J. et al., TUNL Progress Report, XLV, **65** (2005-06)
4. Gonzales Trotter D. E. et al., Phys. Rev. Lett. **83**, 3788 (1999).
5. Gonzales Trotter D. E. et al., Phys. Rev. C **73**, 034001 (2006).
6. Konobeevski E.S. et al., Few-Body Syst. **58**, 107 (2017)
7. Konobeevski E.S. et al., Physics of Atomic Nuclei **73**, 1302 (2010).
8. Kukulín, V.I., et al., J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **27**, 1851 (2001)

**О ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР В ОБЛАСТИ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ  
ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

*Скобелев Н.К.*

Лаборатория ядерных реакций им. Г.Н. Флерова, Объединенный институт ядерных исследований,  
г. Дубна, Россия, skobelev@jinr.ru

Запаздывающее деление атомных ядер было обнаружено в 1966-1967 годах [1, 2] и объяснено в 1972 году [3]. Оно возникает в двухступенчатом ядерном процессе, который связывает  $\beta$ -распад (К-захват) и последующее деление. В этом процессе родительское ядро сначала подвергается  $\beta$ -распаду (или в нем происходит К-захват), в результате чего заселяются возбужденные состояния в дочернем ядре. Если энергия возбуждения этих состояний сопоставима или больше, чем барьер деления дочернего ядра, то деление может происходить мгновенно в конкуренции с другими видами распада этого ядра [3, 4, 5].

Запаздывающее деление обычно наблюдается, в основном, в нечетно-нечетных ядрах, у которых энергия  $\beta$ -распада (К-захвата) сравнима с барьером деления образовавшегося после этого процесса ядра. К настоящему времени известно более 27 изотопов, испытывающих запаздывающее деление. Запаздывающее деление обнаружено в трех областях нуклидов: нейтронодефицитные изотопы в области свинца, нейтроноизбыточные изотопы в области Ас и Ра и нейтронодефицитные изотопы трансуранических элементов [6]. Однако, практически во всех областях имеется скудная информация о ряде ядер, испытывающих запаздывающее деление. Существенный прогресс можно ожидать во всех трех областях карты нуклидов при разработке и использовании новых методик получения изотопов и изучении свойств их распада.

В связи с предсказанием свойств трансуранических элементов в настоящее время имеется целый ряд работ по расчету масс новых ядер и свойств их распада. В данной работе проведен такой анализ, где для некоторых нечетно-нечетных трансуранических элементов сделана выборка данных о их энергии К-захвата и барьеров деления образовавшихся после К-захвата дочерних ядер. Даны оценки вероятности запаздывающего деления для ряда изотопов элементов с Z от 103 до 107.

Литература:

1. В. И. Кузнецов, Н.К., Скобелев, Г.Н. Флеров //ЯФ, **4**, 99 (1966).
2. В. И. Кузнецов, Н. К. Скобелев //ЯФ, **5**, 1136 (1967).
3. Н. К. Скобелев //ЯФ, **15**, 444 (1972).
4. В. И., Кузнецов, Н. К. Скобелев // ЭЧАЯ, **30**,1513 (1999).
5. H.L. Hall and D.C. Hoffman, Ann. Rev. Nucl. and Particle Sci., **42**, 147 (1992)
6. A. N. Andreyev *et al.* // Rev. Mod. Phys., **85**, 1541 (2013).

## ***1. NUCLEAR PHYSICS***

- Nuclear reactions: theory and experiment
- Structure and properties of the atomic nuclei
- Technique and methods of nuclear-physical experiment

## ***1. ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА***

- Ядерные реакции: теория и эксперимент
- Структура и свойства атомных ядер
- Техника и методы ядерно-физического эксперимента

**SOLVING QUANTUM MECHANICAL PROBLEMS USING FINITE ELEMENT METHOD AND  
PARAMETRIC BASIS FUNCTIONS**

*Chuluunbaatar O.<sup>1</sup>, Vinitzky S.I.<sup>1</sup>, Gusev A.A.<sup>1</sup>, Krassovitskiy P.M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan.

A new computational schemes, symbolic-numerical algorithms and programs implemented the high-accuracy finite element method (FEM) for solving the quantum mechanical boundary value problems (BVPs) are presented [1–3]. A considered elliptic BVPs in a multidimensional domain are solved conventionally using the multivariable FEM. An alternative approach consists in a reduction of the original BVP to a set of ordinary second-order differential equations with respect to one of independent variable using expansion of a desirable solution over parametric basis functions of an appropriate auxiliary eigenvalue problem [4-7]. We demonstrate an efficiency of the proposed calculation schemes and algorithms for solving the boundary value problems describing Helium atom bound states and a quadrupole vibration collective nuclear model (see Figure).

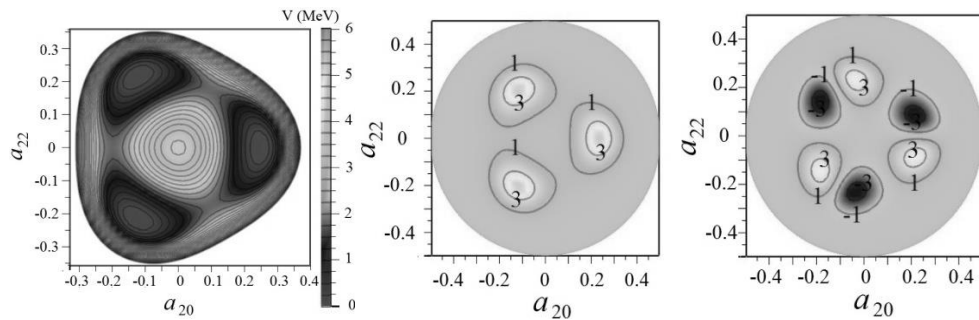


Figure. The potential energy of quadrupole shape and two non-degenerated eigenfunctions ( $\Psi_1$  and  $\Psi_6$ ).

The authors thank Prof. A. Gozdz and Prof. F.M. Penkov for collaboration. The work was supported partially by grant MES RK 0333/GF4 and grant of Plenipotentiary Representative of the Government of the Republic of Kazakhstan in the framework of collaboration program JINR-RK N 337 2017.

1. A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, S.I. Vinitzky and A.G. Abrashkevich, POTHEA: A program for computing eigenvalues and eigenfunctions and their first derivatives with respect to the parameter of the parametric self-adjointed 2D elliptic partial differential equation, *Comput. Phys. Commun.* 185, pp. 2636 (2014).
2. A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, S.I. Vinitzky and A.G. Abrashkevich, KANTBP 3.0: New version of a program for computing energy levels, reflection and transmission matrices, and corresponding wave functions in the coupled-channel adiabatic approach, *Comput. Phys. Commun.* 185, 3341 (2014).
3. A.A. Gusev, L. Le Hai, O. Chuluunbaatar, S.I. Vinitzky, KANTBP 4M - program for solving boundary problems of the self-adjointed system of ordinary second order differential equations, *Program Library JINRLIB*, <http://wwwinfo.jinr.ru/programs/jinr/lib/kantbp4m/indexe.html>
4. S.I. Vinitzky, A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, L.L. Hai, V.L. Derbov, P.M. Krassovitskiy, A. Gozdz, Symbolic numerical algorithm for solving quantum tunneling problem of a diatomic molecule through repulsive barriers, *Lect. Notes Comput. Sci.* 8660, 472 (2014).
5. A.A. Gusev, S.I. Vinitzky, O. Chuluunbaatar, L.L. Hai, V.L. Derbov and P.M. Krassovitskiy, Resonant tunneling of the few bound particles through repulsive barriers, *Phys. Atom. Nucl.* 77, 389 (2014).
6. S. Vinitzky, A. Gusev, O. Chuluunbaatar, V. Derbov, A. Klombotskaya, and A. Gozdz, Models of two-electron composite quantum systems, *Proc. SPIE* 9031, 90311E (2014).
7. A.A. Gusev, S.I. Vinitzky, A. Gozdz, A. Dobrowolski, Parametric Basis Functions for Collective Nuclear Models, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* 10, 99 (2017).

**ВОЗБУЖДЕНИЕ  $^{93m}\text{Mo}$  в (p,n)- РЕАКЦИИ НА ЯДРАХ НИОБИЯ**

*Вишневский И.Н., Желтоножский В.А., Саврасов А.Н.*

Институт ядерных исследований НАН Украины

На сегодняшний день недостаточно исследованы ядерные реакции с протонами при околороговой области значений энергии бомбардирующих частиц при значительной разности спинов изомерного и основного состояний остаточного ядра. Заселение высокоспинового возбужденного уровня вблизи энергетического порога ядерной реакции согласно статистического механизма может быть сильно заторможено. Поэтому исследование возбуждения изомерных состояний ядер на ядрах мишеней с низкими спинами и бомбардирующими частицами, которые вносят небольшой угловой момент, позволит лучше оценить роль нестатистических механизмов. Одним из таких изомеров является  $^{93m}\text{Mo}$  – трикваситическое изомерное состояние ( $E^* = 2.4$  МэВ,  $T_{1/2} = 6.85$  ч.,  $J^\pi = 21/2^+$ ) и поэтому целью нашей работы является исследование сечения наработки  $^{93m}\text{Mo}$  в (p,n)- реакции при околороговой величине энергии протонов.

Измерение сечений наработки  $^{93m}\text{Mo}$  проводилось на мишенях металлического ниобия после облучения их протонами с величиной энергии 3.85 МэВ. При этом величина энергии возбуждения остаточного ядра составляет лишь 200 кэВ. Облучения мишеней проводилось на тандем-генераторе ЭГП-10К Киевского института ядерных исследований НАН Украины. В качестве монитора с целью исключения абсолютной величины потока протонов из расчета сечения использовалась медная фольга и ядерная реакция  $^{nat}\text{Cu}(p,x)^{63}\text{Zn}$ . Измерения активностей проводилось в отдельной низкофононой лаборатории с помощью  $\gamma$ -спектрометров, собранных на базе HPGe-детекторов с энергетическим разрешением 1.8-2 кэВ на гамма-линиях  $^{60}\text{Co}$  и эффективностью регистрации 15-40 % по сравнению с NaI(Tl)-детектором размерами 3'' $\times$ 3''.

Полученная величина сечения составляет  $\sigma = (5.6 \pm 0.5) \times 10^{-30}$  см<sup>2</sup>.

Проводится обсуждение полученных результатов.

**NEW IMPROVEMENT ON THE  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  REACTION STUDIED VIA TROJAN HORSE METHOD AT LOW ENERGIES**

*Rapisarda G.G.<sup>1</sup>, Spitaleri C.<sup>1</sup>, Cherubini S.<sup>1,2</sup>, Cvetinovic A.<sup>1</sup>, Guardo G.L.<sup>1</sup>, Gulino M.<sup>1,3</sup>, Cognata M. La<sup>1</sup>, Lamia L.<sup>1</sup>, Puglia S.M.R.<sup>1</sup>, Romano S.<sup>1,2</sup>, Sergi M.L.<sup>1</sup>, Spartà R.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> INFN, Laboratori Nazionali del Sud, Catania, Italy

<sup>2</sup> Dipartimento di Fisica e Astronomia, Università degli studi di Catania, Catania, Italy

<sup>3</sup> Università di Enna "Kore," Enna, Italy

It will be reported about a new measurement of the  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  at energy of astrophysical interest, performed applying the Trojan Horse Method to the  $^2\text{H}(^{10}\text{B},\alpha)^7\text{Be}$ n three-body reaction.

The  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  process is of astrophysical interest since represents the main process for the  $^{10}\text{B}$  burning and can provides hints to understand mixing phenomena occurring inside the stars. Such reaction turn out to be important also in applied physics field in the framework of the aneutronic fusion. In particular  $^{11}\text{B}(p,2\alpha)^4\text{He}$  is one of the main reactions taken into account for such fusion system. Nevertheless presence of  $^{10}\text{B}$  in natural boron fuel represent a source of long-lived radioactive isotopes, that is  $^7\text{Be}$ , through the reaction  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$ .

This recent THM measurement provides a new evaluation of the astrophysical S(E) factor. In particular the improved experimental resolution allowed for a better separation between 8.699 MeV  $^{11}\text{C}$  level falling inside the Gamow energy region, from the subthreshold level. Moreover we obtained for the first time the separation between the  $\alpha_0$  and  $\alpha_1$  channels, allowing to disentangle the contribution of the  $\alpha_1$  channel in the extracted bare nucleus astrophysical S(E) factor.

The experiment will be described ad results for both  $\alpha_0$  and  $\alpha_1$  channels will be shown.

ИССЛЕДОВАНИЕ  $^{179m2}\text{Hf}$  НА ЯДРАХ ГАФНИЯ И ТАНТАЛА В РЕАКЦИЯХ С ТОРМОЗНЫМИ ГАММА-КВАНТАМИ

Желтоножский В. А., Саврасов А. Н.

Институт ядерных исследований НАН Украины

Изучение сечений и выходов заселения высокоспиновых К-изомерных состояний позволяет получить разнообразную информацию как о структуре возбужденных уровней в непрерывной и дискретной областях возбуждения, так и о механизмах протекания ядерных реакций.  $^{179m2}\text{Hf}$  принадлежит к таким К-изомерам и поэтому целью нашей работы является исследование сечений наработки  $^{179m2}\text{Hf}$  в реакциях с тормозными гамма-квантами для величины энергии, которая превышает диапазон величин энергии гигантского дипольного резонанса.

Измерения сечений и выходов наработки  $^{179m2}\text{Hf}$  ( $T_{1/2} = 25$  д.,  $J^\pi = 25/2^-$ ) проводилось на мишенях природного изотопного состава гафния и тантала после облучения их тормозными гамма-квантами с величиной граничной энергии 37 МэВ. Облучение проводилось на линейном ускорителе электронов ЛУЭ-40 Харьковского физико-технологического института НАН Украины. Измерение активностей осуществлялось в отдельной низкофоновой лаборатории с помощью  $\gamma$ -спектрометров, собранных на базе HPGe-детекторов с энергетическим разрешением 1.8-2 кэВ на гамма-линиях  $^{60}\text{Co}$  и эффективностью регистрации 15-40 % по сравнению с NaI(Tl)-детектором размерами 3"×3".

Полученные величины сечений приведены в таблице.

Реакция	$^{181}\text{Ta}(\gamma, pn(d))^{179}\text{Hf}^{m2*}$	$^{180}\text{Hf}(\gamma, n)^{179}\text{Hf}^{m2}$		
E, МэВ	37	37	15.1	17.5
E*	24.9	28.5	6.6	9
$\sigma^{\text{int}}$ , мкб	0.7(7)	0.53(5)	3.1(3)	0.75(8)

\* - Для расчета сечений использовали реакцию  $(\gamma, d)$  так как ее энергетический порог ниже. E\* - энергия возбуждения остаточного ядра.

Снижение сечения  $(\gamma, n)$ - реакции по мере увеличения граничной энергии тормозных  $\gamma$ -квантов указывает на увеличение вклада передравновесных процессов, при которых вылетающий нейтрон выносит значительный угловой момент, оставляя остаточное ядро обедненным высокоспиновыми возбужденными состояниями.

Проводится обсуждение полученных результатов.

О СВОЙСТВАХ ЯДЕР В ОКРЕСТНОСТИ ПРОТОННОЙ И НЕЙТРОННОЙ ГРАНИЦЫ СТАБИЛЬНОСТИ

Тарасов В.Н., Куприков В.И., Пилипенко В.В., Тарасов Д.В.

Национальный научный центр ХФТИ НАН Украины, г. Харьков, Украина

Проведено исследование свойств основного состояния четно-четных ядер в широкой области массовых чисел, включая ядра с протонным и нейтронным избытком в окрестности нейтронной и протонной границы стабильности. Особое внимание уделялось ядрам за пределами теоретически известной нейтронной границы стабильности, которые образуют полуострова стабильности (ПОС) ядер стабильных по отношению к испусканию одного или двух нейтронов для  $N = 32, 58, 82, 126, 184, 258$ . Эти расчеты основаны на использовании метода Хартри-Фока с силами Скирма ( $Ska, SkM^*, Sly4, SkI2$ ) при учете аксиальной деформации ядер. Для нейтроноизбыточных ядер  $^{166}\text{Zr}, ^{168}\text{Mo}, ^{170}\text{Ru}$  с нейтронным магическим числом  $N = 126$  и  $^{248}\text{Gd}, ^{250}\text{Dy}, ^{266}\text{Pb}$  с нейтронным магическим числом  $N = 184$  проведен анализ кривых зависимости потенциальной энергии от параметра квадрупольной деформации  $\beta$ . Проведен анализ устойчивости численных решений уравнений Хартри-Фока для ядер принадлежащих полуостровам стабильности. Для нейтроноизбыточных ядер в окрестности  $N = 184$  дополнительно проведены расчеты свойств этих ядер методом самосогласованного релятивистского среднего поля (с силами DD-PC1) при учете аксиальной деформации ядер и показано, что окончанием (ПОС) для  $N = 184$  и сил DD-PC1 является ядро  $^{246}\text{Sm}$ .



COMPILATION OF EXPERIMENTAL NUCLEAR REACTION DATA MEASURED IN KAZAKHSTAN  
AND UZBEKISTAN FOR THE EXFOR LIBRARY

*Kenzhebeyev Nurzat*<sup>1</sup>, *Zholdybayev Timur*<sup>2</sup>, *Ergashev Feruzjon*<sup>3</sup>, *Naohiko Otsuka*<sup>4\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics and Technics, Kazakh National University, Almaty, 050040, Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>Nuclear Physics Department, Institute of Nuclear Physics, Almaty, 050032, Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>Institute of Nuclear Physics AS RUZ, Tashkent 100214, Republic of Uzbekistan

<sup>4</sup>Nuclear Data Section, Division of Physical and Chemical Sciences, Department of Nuclear Sciences and Applications,  
International Atomic Energy Agency, A1400 Wien, Austria

\*e-mail: n.otsuka@iaea.org

Several accelerators and research reactors in Kazakhstan and Uzbekistan have been utilized for measurements of nuclear reaction data such as cross sections. The data measured in these experimental works are useful not only for discussion of physics extended by those who measured the data but also for theoretical and experimental researches dealing with the same observables. For example, angular differential cross sections from various experiments contribute to establish a set of reasonable global optical potential parameters for neutron- and proton-induced reactions (e.g., RIPL-3 [1]). Accurately measured cross sections (excitation functions) of radioisotope productions (e.g., [2]) help estimation of medical isotope yields for routine productions.

In order to utilize experimental data in the literature efficiently, it is very useful to maintain a data library providing numerical data in a computer readable form. The International Network of Nuclear Reaction Data Centres (NRDC) has collaborated to exchange experimental data measured for many decades under auspices of the International Atomic Energy Agency, and people can receive numerical data collected in the EXFOR Library [3] from various web sites maintained by data centres (e.g., [4]).

Data measured in the former USSR countries were originally compiled by four Russian data centres in Moscow (CAJaD, CDFE), Obninsk (CJD) and Sarov (CNPD). In order to perform compilation of data measured by the U-150M isochronous cyclotron at the Institute of Nuclear Physics in Almaty and other facilities in Kazakhstan and Uzbekistan efficiently, a group of physicists from these countries was formed in 2013 [5], and the NRDC concluded in 2014 to develop the new EXFOR compilation activity by the group in 2014 [6]. We are now collaborating for identification of newly published articles for EXFOR compilation and also for compilation of data published in these articles. Numerical data measured many years ago are also preserved in a printed form in the Institute of Nuclear Physics in Almaty, and we are trying to improve availability of original numerical data not only for new articles but also for old articles. Progress in our four-year collaboration will be presented.

[1] R. Capote et al., Nucl. Data Sheets 110 (2009) 3107.

[2] V.N. Levkovskij, Activation cross sections for medium mass nuclei (A=40-100) by medium energy protons and alpha particles (E=10-50 MeV), Inter-Vesy, Moscow, 1991.

[3] N. Otsuka et al., Nucl. Data Sheets 120 (2014) 272.

[4] Experimental Nuclear Reaction Data (EXFOR) <http://www-nds.iaea.org/exfor/> .

[5] N. Otsuka et al., INDC(KAS)-0001, p56, 2014, International Atomic Energy Agency.

[6] N. Otsuka and E. Dupont (eds.), INDC(NDS)-0661, 2014, International Atomic Energy Agency.

A NEW INVARIANCE OF PERIODIC LAW

Asker Ali Abiyev

Institute of Radiation Problems of ANAS, askeraliabiye@hotmail.com

A new invariance correlating with the periodic law has been found through Asker Ali Abiyev's Balanced Squares. Balanced square is an arrangement of the numbers from 1 to a  $n \times n$  matrix, with each number occurring exactly once, and such that the sum of the entries of any row, any column, or any main diagonals is the same.

In order to write Abiyev's Balanced Squares of  $n^{\text{th}}$  order we use  $n/2$  quantity (if  $n$  - even or  $(n - 1)/2$  quantity (if  $n$  - odd) frames, closed graphs and groups of numbers consisting of 4 arithmetic progressions [1]. Let's suppose that, point electrical charges have been placed in square's centre according to numbers. Electric moment of vector  $\vec{A} = \sum_{j=1}^n q_j \vec{r}_j$  for each inner and outer frame of such a system has been calculated.

If we calculate magnitude of vector  $\vec{A}$ , that is,  $|\vec{A}_k^n|$  from  $A_{k,x}^n$  and  $A_{k,y}^n$  for inner, outer and the sum, we will get the following formulas:

$$|\vec{A}_k^n (i)| = \sqrt{(A_{k,x}^n)^2 + (A_{k,y}^n)^2} = -\frac{k-1}{2} \left[ \frac{k(k-2)}{3} + 1 \right] \sqrt{2(c^2 + b^2)} = f_1(k) \sqrt{2(c^2 + b^2)};$$

$$|\vec{A}_k^n (o)| = \frac{k-1}{4} \left[ \frac{k(k+1)}{3} + (k-1)(n-k) \right] \sqrt{c^2 + b^2} = f_2(k, n) \sqrt{2(c^2 + b^2)};$$

$$|\vec{A}_k^n (s)| = \frac{k-1}{4} \left[ -\frac{(k-2)(k-2)}{3} + (k-1)(n-k) \right] \sqrt{c^2 + b^2} = f_3(k, n) \sqrt{2(c^2 + b^2)},$$

where  $n$ -the order of square,  $k \in \left\{ 1, 2, \dots, \frac{n-1}{2} \right\}$ -the orders of frames,  $c$  and  $b$ - constants of the arithmetic progressions. These formulas are true for only Abiyev's General Balanced Squares.

In the table below are calculated numerical values of functions  $f_1(k)$ ,  $f_2(k, n)$ ,  $f_3(k, n)$ .

Five special sequences have been found from this table:

**I** - 2, 8, 18, 32, 50, ...; **II** - 2, 12, 38, 88, 170, 292, 462, ...; **III** - (0, 2), (6,14), (26, 44), (68, 100), (140, 190), ...; **IV** - 2, 6, 10, 14, 18, 22, ...; **V** - 2, 10, 26, 50, 82, 122, 170, 326, ...;

The first sequence, shown with the  $2n^2$  formula, is the same as the result of Schrödinger equation. The terms of second sequence correspond to  $1s^2, \dots, 3s^2, \dots, 5s^2, \dots, 7s^2, \dots, 9s^2$  elements, accordingly. The third sequence confirms the repetition of the periods. The fourth sequence determines the quantity of electrons in levels s, p, d, f, g, correspondingly. The terms of the fifth sequence can be compared with the magic numbers 2, 8, 28, 50, 82, 126.

If we take into consideration that, the correspondence of the numbered sequences with the periodic law is not a coincidence and the thought of nuclear theorists about super heavy nuclei then we can suggest that, the periodic law consist of 218 elements [2].

Note the above-mentioned sequences II and III in the Table according to Quantum theory.

		i	-2			
	3	o	2			
		s	0	5		
		i	-2	-12		
	5	o	4	10		
		s	2	-2	7	
		i	-2	-12	-38	
	7	o	6	18	28	
		s	4	6	-10	
					9	
		i	-2	-12	-38	-88
	9	o	8	26	46	60
		s	6	14	8	-28

[1] Mehmet Sahin, Asker Ali Abiyev, Azer Abiyev, The General Algorithm of Balanced Squares, Proceedings of 4th ICSC, Computing with Words and Perceptions in Systems. Analysis, Decision and Control, p. 155-162. Antalya, Turkey, August 27-28, 2007.

[2] Asker Ali Abiyev, The correlation of Abiyev's balanced squares with periodic law, Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Applied Informatics and Computing Theory (AICT'11), Prague, Czech Republic, September 26-28, 2011, pp 33-38.

**NONLINEAR CORRECTIONS AND STRUCTURE FORMATION AT STRONG INTERACTIONS**

*Temiraliev A.T., Lebedev I.A.*

Institute of Physics and Technology, Almaty, Kazakhstan

Perturbative QCD with asymptotic freedom is effective in the high-energy limit (at short distances) but there are uncertainty in non-perturbative region. Many investigations on nonlinear corrections to linear evolution equations DGLAP and BFKL or CCFM had done to understand which of nonlinear equations describe quark-gluon dynamics. There are some applications of science of nonlinear dynamics, chaos and fractals in hadron physics [1-3]. In the framework discrete map method of nonlinear dynamics we proposed the nonlinear equation [4,5], which is consider a quark-gluon dynamical system described by the evolution equation of the map form:  $x_{t+1} = \{R \cdot F(x_t)\}$ . Here  $x$  is the momentum fraction,  $t$  is the time index, an experimental quark-gluon distributions  $F(x)$  stands for a nonlinear operator,  $R$  is a parameter, which controls the efficiency of strong interactions and determines the character of observing regimes. We use the renormalization-group approach to the evolution equation. The investigation of nonlinear dynamics of stable structure formation in quark-gluon cascade at multiple hadron and nuclear processes at high energy had discussed. Numerical solution of the nonlinear equation has shown that arise an evolution termination in the field of small values of parameter  $R$ , the transition is an established mode. The phase trajectories after transient regime reach some steady value (fixed point). Later the orbit becomes strictly periodic with the period two (bifurcation of motionless point). At large values of parameter, the quark-gluon system transfer in a chaotic mode when two close points run up on different trajectories. In order to distinguish between the chaotic and not chaotic modes, we compare orbits of close entry conditions in these modes. Dynamic quark-gluon systems are highly sensitive to an initial condition. The strange quark phase trajectories (strange attractor with a fractal structure) display a new nonlinear phenomenon in hadron and nuclear physics – stable structure formation through dynamic deterministic chaos in quark-gluon evolution. We assume that steady structure formation in nonlinear quark-gluon evolution is a mechanism for confinement.

- [1] Batunin A.V.: Fractal analysis and Feigenbaum universality in hadron physics. *Physics-Uspekhi*. 38(6), 609-622(1995)
- [2] Yuki Minami, Dynamics near QCD critical point by dynamic renormalization group, arXiv:1102.5485v3 (2014)
- [3] E. Goldfain, Non-equilibrium Dynamics as Source of Asymmetries in High Energy Physics *EJTP* 7, No. 24 (2010) 219–234
- [4] A.T.Temiraliev “Chaotic dynamics in quark-gluon cascade” <http://arxiv.org/abs/1106.4624> (2011)
- [5] Темирәлиев А.Т., Данлыбаева А.К. Формирование структур в нелинейной кварк-глюонной эволюции. *Известия НАН РК*, 2014, стр.106-112;

**COMPARISON OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS  
RELIABILITY FOR  $^{140,142}\text{Ce}$**

*Varlamov V.V., Barbaryan V.A., Peskov N.N.*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

In systematic investigations of experimental partial photoneutron cross sections for many medium and heavy nuclei [1-3] it was found out that many of them do not satisfy specially introduced criteria of data reliability [4]. It was shown out that in various energy ranges of initial photons the ratios  $F_1 = \sigma(\gamma, 1n)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n)/[\sigma(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$  have physically forbidden negative values and at the same time corresponding ratios  $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$  have physically unreliable values larger 0.50. That means that experimental neutron multiplicity sorting has been done erroneously because of large systematic uncertainties and are not reliable.

Using experimental–theoretical method [1-3, 5] for partial photoneutron reaction cross sections evaluation new data satisfied to data reliability criteria were obtained for many nuclei (for example,  $^{91,94}\text{Zr}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{112-124}\text{Sn}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{186-192}\text{Os}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ ). The only experimental reaction cross section  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  free from the problems of experimental determination of neutron multiplicity was used and shared into the partial parts using the equations  $F^{\text{theor}}_i = \sigma^{\text{theor}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{theor}}(\gamma, xn)$  of the combined model of photonuclear reactions [6, 7]. It was shown that evaluated cross sections differ noticeably from experimental once and that the main of that reasons are the complicated dependence of neutron multiplicity on its measured kinetic energy.

The isotopes  $^{140,142}\text{Ce}$  are of special interest concern the problems of data reliability because there are the significant difference between experimental data obtained for partial photoneutron reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  in [8] using

quasimonoenergetic annihilation photon beam and neutron multiplicity sorting method. The point is that for  $^{140}\text{Ce}$  integrated cross section of the  $(\gamma, 1n)$  reaction is 1941 MeV mb and that of  $(\gamma, 2n)$  reaction is 457 MeV mb. At the same time for  $^{142}\text{Ce}$  correspondent values are 1022 and 1186 MeV mb. Therefore there are noticeable differences between the integrated cross sections for total photoneutron reaction  $(\gamma, Sn) = [(\gamma, 1n) + (\gamma, 2n)] - 2400$  and 2210 MeV mb correspondingly and neutron yield reaction  $(\gamma, xn) = [(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n)] - 2857$  and 3396 MeV mb. The possible reason is the large differences between energy thresholds Bn1 and Bn2 of  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  on  $^{140,142}\text{Ce}$  isotopes. Bn1 are correspondingly 9.2 and 7.16 MeV but Bn2 are 16.66 and 12.59 MeV.

Experimental data the reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  on both isotopes were analyzed using data reliability criteria. It was found out that with the exception of narrow energy range ( $\sim 19$ -21 MeV) in  $^{142}\text{Ce}$  there are no noticeable disagreements with criteria used. At the same time the energy dependencies of  $F^{\text{exp}_i}$  differ noticeably from those of  $F^{\text{theor}_i}$ . Therefore for both isotopes evaluated partial reaction cross sections were obtained using the experimental-theoretical method. The way of new cross sections evaluation was the following –  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F^{\text{theor}_i} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$ . It means that competition between partial reactions is in accordance with model and their sum  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, xn)$  is equal to  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  also free from problems mentioned. Using evaluated partial reactions cross sections new data were obtained also for total photoneutron reaction  $[(\gamma, 1n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n) + \dots] \approx (\gamma, \text{abs})$ .

The research was carried out in the Department of Electromagnetic Processes and Atomic Nuclei Interactions of the MSU SINP. It is supported by the Coordinated Research Project (F41032, the Research Contract 20501) of the International Atomic Energy Agency. Authors acknowledge Prof. B.S.Ishkhanov and Dr. V.N.Orlin for theoretical calculations and very useful and important discussions.

1. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.1339.
2. V.V.Varlamov *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2014. V.50. P.114.
3. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2014. V.76. P.1403.
4. V.V.Varlamov *et al.* // Bull. Rus. Acad. Sci. 2010. V.74. P.842.
5. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2015. V.78. P.634.
6. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Particles and Nuclei. 2007. V.38. P.232.
7. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Atomic Nuclei. 2008. V.71. P.493.
8. A.Lepretre *et al.* // Nucl. Phys. A. 1976. V.258. P.350.

## SILICON BASED DETECTION SYSTEM FOR THE STUDY OF RARE FISSION MODE PROCESSES

*Berikov D.B.*<sup>1,4</sup>, *Ahmadov G.S.*<sup>1,2,3</sup>, *Nuruyev S.M.*<sup>1,2</sup>, *Chuprakov I.A.*<sup>1,4</sup>, *Kopatch Yu.N.*<sup>1</sup>, *Akbarov R.*<sup>1,3</sup>, *Telezhnikov S.A.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, Russia

<sup>2</sup> Azerbaijan National Academy of Sciences- AD and IRP, Baku, Azerbaijan

<sup>3</sup> National Nuclear Research Centre, Baku, Azerbaijan

<sup>4</sup> The Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

Present report is dedicated to test of silicon based detection system constructed for the study of rare fission mode processes in spontaneous fission of  $^{252}\text{Cf}$ . The system includes silicon detectors such as hybrid pixel detector Timepix, thin PIN detector and APD diode. Two telescopes consisting of two Timepix and two thin PIN detectors are constructed for particle identification by means of the well known  $\Delta E$ -E technique. The 300  $\mu\text{m}$  thick Timepix detector, which has an active area of  $1.4 \times 1.4 \text{ cm}^2$  and reverse bias voltage of 100 V, is used as E detector. The thin PIN detector used as  $\Delta E$  has an active area of  $1 \times 1 \text{ cm}^2$  and 12  $\mu\text{m}$  thicknesses and about reverse bias voltage of 12V. The 7  $\mu\text{m}$  thick APD diodes with an active area of  $3 \times 3 \text{ mm}^2$  are considered to use for detection of fission fragments.

Detection performance of the system is presented with alpha radioactive sources ( $^{244}\text{Cm}$ ,  $^{233}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ , and  $^{239}\text{Pu}$ ) in this report. Energy calibration is done for every detector and synchronization system is tested. Signals from the PIN detectors and APD diodes are recorded by using 12 bit CAEN desktop waveform digitizer (DT5720) with a sampling rate of 250 MS/s. The Timepix detector, however, is controlled with its readout and control system FITPix.

EVALUATION OF RELIABLE PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS FOR  $^{139}\text{La}$

Varlamov V.V., Kaydarova V.D., Peskov N.N.

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The majority of partial and total photoneutron reaction cross sections were obtained at Livermore (USA) and Saclay (France) using quasimonoenergetic annihilation photons and the neutron multiplicity sorting based on its energy measurement. Using physical criteria of partial photoneutron reaction cross sections reliability it was found out [1–4] that for many nuclei ( $^{91,94,96}\text{Zr}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{112-124}\text{Sn}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ) those data are not reliable. It was shown that many data under discussion do not satisfy to proposed objective data reliability criteria: in various photon energy ranges the ratios  $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma[(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$  have physically unreliable values larger 0.50 and at the same time ratios  $F_1 = \sigma(\gamma, 1n)/\sigma(\gamma, xn)$  have physically forbidden negative values. That means that experimental neutron multiplicity sorting has been done erroneously because of large systematic uncertainties. Using the experimental–theoretical method [1, 2] for reliable partial reaction cross section evaluation ( $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F^{\text{theor}_i} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$ ) new data for reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  ( $\gamma, 3n$ ) free of such kind uncertainties were evaluated for many nuclei. It means that competition between partial reactions is in accordance with the combined model of photonuclear reactions [5, 6] and their sum  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, xn)$  is equal to  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  free from neutron multiplicity sorting problems mentioned above. It was obtained that the new evaluated data noticeably differ from the correspondent experimental once.

Data for partial reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  cross sections on  $^{139}\text{La}$  [7, 8] obtained in two experiments in Saclay were analyzed. It was obtained that data obtained in both experiments (Livermore and Saclay) generally satisfy objective physical data reliability criteria. But data for both reaction cross sections are not reliable because:

- ratios  $F^{\text{exp}_i}$  obtained for data from both experiments [7, 8] are near  $F^{\text{theor}_i}$  calculated in the model [5, 6] only at energies below  $\sim 20$  MeV;
- at larger energies one can see noticeable disagreements between  $F^{\text{exp}_i}$  and  $F^{\text{theor}_i}$ : for both experiments  $F^{\text{exp}_1} > F^{\text{theor}_1}$  and  $F^{\text{exp}_2} < F^{\text{theor}_2}$ .

New cross sections for  $(\gamma, 1n)$  and reactions on  $^{139}\text{La}$  were evaluated using experimental–theoretical method [1, 2]. New data for total photoneutron reaction  $\sigma(\gamma, Sn) = \sigma[(\gamma, 1n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n) + \dots]$  were obtained also. The deviations of evaluated partial reactions cross sections from experimental ones were discussed. It was shown that the main reason of those deviations is unreliable moving the parts of neutrons from  $(\gamma, 1n)$  reaction to  $(\gamma, 2n)$  reaction at energies  $\sim 19-22$  MeV and vice versa from  $(\gamma, 2n)$  reaction to  $(\gamma, 1n)$  reaction at energies  $\sim 22-25$  MeV.

The research was carried out in the Department of Electromagnetic Processes and Atomic Nuclei Interactions of the MSU SINP. It is supported by the Coordinated Research Project (F41032, the Research Contract 20501) of the International Atomic Energy Agency. Authors acknowledge Prof. B.S.Ishkhanov and Dr. V.N.Orlin for theoretical calculations and very useful and important discussions.

1. V.V.Varlamov *et al.* // Bull. Rus. Acad. Sci. 2010. V.74. P.842.
2. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.1339.
3. V.V.Varlamov *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2014. V.50. P.114.
4. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2014. V.76. P.1403.
5. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Particles and Nuclei. 2007. V.38. P.232.
6. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Atomic Nuclei. 2008. V.71. P.493.
7. R.Bergere *et al.* // Nucl. Phys. 1968. 121. P.463.
8. H.Beil *et al.* // Nucl. Phys. 1971. 172. P.426.

**NEW PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS FOR  $^{90}\text{Zr}$  IN THE REGION OF GDR**

*Varlamov V.V., Davydov A.I., Peskov N.N.*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Using objective physical criteria of partial photoneutron reaction cross sections reliability it was shown [1–4] that for many nuclei those data obtained using quasimonoeenergetic annihilation photon beams and photoneutron multiplicity sorting method are nor reliable. In various energy ranges the ratios  $F_1 = \sigma(\gamma, 1n)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n)/[\sigma(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$  have physically forbidden negative values and at the same time corresponding ratios  $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$  have physically unreliable values larger 0.50. Experimental neutron multiplicity sorting has been done erroneously because of large systematic uncertainties. Using the experimental-theoretical method [2] for reliable partial reaction cross section evaluation new data for reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  free of such kind uncertainties were evaluated for isotopes  $^{91,94}\text{Zr}$  [5]. It was obtained that in cases of both isotopes the new evaluated data noticeably differ from the correspondent experimental once.

The experimental data for partial reactions  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  cross sections on isotope  $^{90}\text{Zr}$  [6, 7] were analyzed. It was obtained that data obtained in both experiments (Livermore and Saclay) do not satisfy objective physical data reliability criteria:

– ratios  $F^{\text{exp}}_i = \sigma^{\text{exp}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  obtained for data from both experiments [6, 7] noticeably differ from  $F^{\text{theor}}_i = \sigma^{\text{theor}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{theor}}(\gamma, xn)$  calculated in the combined model of photonuclear reactions [8, 9];

– in the energy range from  $\sim 24.5$  MeV up to  $\sim 27$  MeV there are forbidden negative values in  $F^{\text{exp}}_1$  [6] and correspondingly values  $F^{\text{exp}}_2$  [6]  $> 0.50$ .

New data free of the uncertainties mentioned above were evaluated for  $^{90}\text{Zr}$  using the experimental-theoretical method [1]. The only experimental reaction cross section  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  [6] free from problems of experimental determination of neutron multiplicity was used and shared into the partial parts using the equations  $F^{\text{theor}}_i = \sigma^{\text{theor}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{theor}}(\gamma, xn)$  of the combined model [8, 9]. The way of new cross sections evaluation was the following –  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F^{\text{theor}}_i \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$ . It means that competition between partial reactions is in accordance with model and their sum  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, xn)$  is equal to  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  also free from problems mentioned. New cross sections were evaluated for  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  reactions. Using evaluated partial reactions cross sections new data were obtained also for total photoneutron reaction  $[(\gamma, 1n) + (\gamma, 2n) + (\gamma, 3n) + \dots] \approx (\gamma, \text{abs})$ .

Similarly to the situation for isotopes  $^{91,94}\text{Zr}$  in the case of isotope  $^{90}\text{Zr}$  there are noticeable disagreements between the evaluated and experimental data also. Therefore many physical effects estimations based on using the experimental data for  $^{90}\text{Zr}(\gamma, 1n)$  and  $^{90}\text{Zr}(\gamma, 2n)$  reactions cross sections should be reanalyzed.

The research was carried out in the Department of Electromagnetic Processes and Atomic Nuclei Interactions of the MSU SINP. It is supported by the Coordinated Research Project (F41032, the Research Contract 20501) of the International Atomic Energy Agency. Authors acknowledge Prof. B.S.Ishkhanov and Dr. V.N.Orlin for theoretical calculations and very useful and important discussions.

1. V.V.Varlamov *et al.* // Bull. Rus. Acad. Sci. 2010. V.74. P.842.
2. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.1339.
3. V.V.Varlamov *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2014. V.50. P.114.
4. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2014. V.76. P.1403.
5. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2015. V.78. P.634.
6. B.L.Berman *et al.* // Phys. Rev. C62. 1967. P.1098.
7. A.Lepretre *et al.* // Nucl.Phys. A. 1971. V.175. P.609.
8. B.S.Ishkhanov *et al.* // Phys. of Part. and Nucl. 2007. V.38. P.232.
9. B.S.Ishkhanov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2008. V.71. P.493.

MEASUREMENTS OF CHARGE-CHANGING CROSS-SECTIONS FOR Ca AND Ni ISOTOPES

T. Suzuki<sup>A</sup>, M. Tanaka<sup>B</sup>, M. Takechi<sup>C</sup>, A. Honma<sup>C</sup>, Y. Tanaka<sup>B</sup>, M. Fukuda<sup>B</sup>, D. Nishimura<sup>D</sup>, T. Moriguchi<sup>E</sup>, D.S. Ahn<sup>F</sup>, A.S. Aimaganbetov<sup>H,K</sup>, M. Amano<sup>E</sup>, H. Arakawa<sup>A</sup>, S. Bagchi<sup>I,M,N</sup>, K. -H. Behr<sup>I</sup>, N. Burtebayev<sup>G,K</sup>, K. Chikaato<sup>C</sup>, H. Du<sup>B</sup>, T. Fujii<sup>A</sup>, N. Fukuda<sup>F</sup>, H. Geissel<sup>I</sup>, T. Hori<sup>B</sup>, S. Hoshino<sup>C</sup>, R. Igosawa<sup>A</sup>, A. Ikeda<sup>C</sup>, N. Inabe<sup>F</sup>, K. Inomata<sup>A</sup>, K. Itahashi<sup>F</sup>, T. Izumikawa<sup>J</sup>, D. Kamioka<sup>E</sup>, N. Kanda<sup>C</sup>, I. Kato<sup>A</sup>, I. Kenzhina<sup>G,K</sup>, Z. Korkulu<sup>F</sup>, Ye. Kuk<sup>H,K</sup>, K. Kusaka<sup>F</sup>, K. Matsuta<sup>B</sup>, M. Mihara<sup>B</sup>, E. Miyata<sup>C</sup>, D. Nagae<sup>F</sup>, S. Nakamura<sup>B</sup>, M. Nassurlla<sup>G,K</sup>, K. Nishimuro<sup>A</sup>, K. Nishizuka<sup>C</sup>, S. Ohmika<sup>A</sup>, K. Ohnishi<sup>B</sup>, M. Ohtake<sup>F</sup>, T. Ohtsubo<sup>C</sup>, H.J. Ong<sup>L</sup>, A. Ozawa<sup>E</sup>, A. Prochazka<sup>I</sup>, H. Sakurai<sup>F</sup>, C. Scheidenberger<sup>I</sup>, Y. Shimizu<sup>F</sup>, T. Sugihara<sup>B</sup>, T. Sumikama<sup>F</sup>, S. Suzuki<sup>E</sup>, H. Suzuki<sup>F</sup>, H. Takeda<sup>F</sup>, Y.K. Tanaka<sup>I</sup>, T. Wada<sup>C</sup>, K. Wakayama<sup>A</sup>, S. Yagi<sup>B</sup>, T. Yamaguchi<sup>A</sup>, R. Yanagihara<sup>B</sup>, Y. Yanagisawa<sup>F</sup>, K. Yoshida<sup>F</sup>, and T.K. Zholdybayev<sup>G,K</sup>

<sup>A</sup> Dept. of Phys. Saitama Univ., Saitama, 338-8570, Japan,

<sup>B</sup> Dept. of Phys. Osaka Univ., Osaka 560-0043, Japan,

<sup>C</sup> Dept. of Phys. Niigata Univ., Niigata 950-2181 Japan,

<sup>D</sup> Faculty of Science and Technology, Tokyo Univ. Sci., Chiba 278-8510, Japan,

<sup>E</sup> Inst. of Phys. Univ. of Tsukuba, Ibaraki 305-8571, Japan,

<sup>F</sup> The Inst. of Phys. and Chem. Res. (RIKEN), Saitama 351- 0198 Japan,

<sup>G</sup> Al-Farabi Kazakh National Univ. Almaty 050040, Kazakhstan,

<sup>H</sup> L. N. Gumilyov Eurasian National Univ., Astana 010000, Kazakhstan,

<sup>I</sup> GSI, 64291 Darmstadt, Germany,

<sup>J</sup> RI Center Niigata Univ., Niigata 951-8510 Japan,

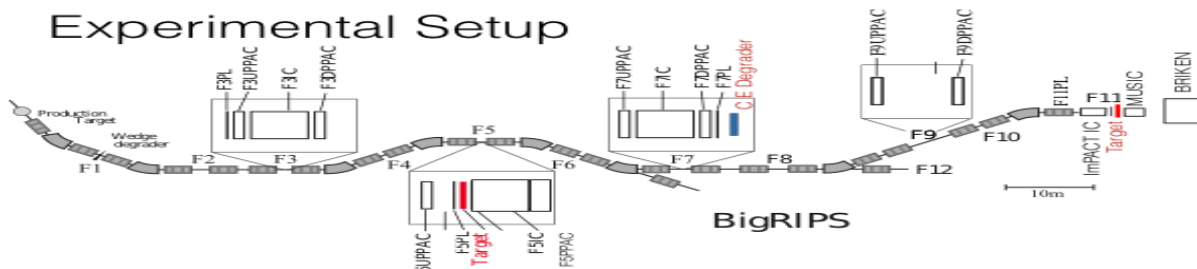
<sup>K</sup> Inst. Nucl. Phys. (INP), Kazakhstan, Almaty, 050032, Kazakhstan,

<sup>L</sup> RCNP, Osaka 567-0047, Japan,

<sup>M</sup> Saint Mary's University, Halifax B3H 3C3, Canada,

<sup>N</sup> Justus-Liebig University, 35392 Giessen, Germany

Systematic studies of neutron skin thickness are quite important for determining the equation of state of asymmetric nuclear matter. In order to determine the thickness of the neutron skin one needs to know both the proton and neutron radii. Neutron radii can be deduced from matter radii via reaction cross-section measurements. Proton radii have previously been obtained from electron scattering and/or isotope shift measurements, but these methods are limited to stable nuclei and metallic elements of the alkali (earth) group and noble gases. Therefore, we developed a method to obtain proton radii using charge-changing cross-section measurements [1] and applied it to light nuclei, but not, heretofore, to medium heavy nuclei. Now, we have measured charge-changing cross-sections of Ca and Ni isotopes on a carbon target, including the nuclei for which proton radii are already known, in the RI Beam Factory (RIBF) at RIKEN, using the Big-RIPS beam line. The data analysis is in progress.



[1] T. Yamaguchi et al., Phys. Rev. Lett. 107, 032502 (2011)

**PHOTONEUTRON ENERGY SPECTRA FROM  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ , AND  $^{209}\text{Bi}$  AND THE PROBLEM OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTION RELIABILITY**

*Varlamov V.V., Orlin V.N., Peskov N.N.*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Most of the cross sections of total and partial photonuclear reactions were obtained using quasimonoeenergetic annihilation photon beams at the National Lawrence Livermore Laboratory (USA) and France Centre d'Etudes Nucleaires de Saclay [1, 2]. Both laboratories used similar methods to separate reactions with different multiplicities based on the assumption that the neutron spectra of  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  reactions are fundamentally different. Quite different methods, however, were used to measure kinetic energy of neutrons: at Livermore the so called "ring-ratio" method was used and at Saclay a specifically calibrated large Gd-loaded liquid scintillator was used [1]. As a result there are well-known complex systematic discrepancies in partial photoneutron reaction cross sections obtained at Livermore and Saclay: as a rule the  $(\gamma, 1n)$  reaction cross sections are larger at Saclay, and the  $(\gamma, 2n)$  cross sections are larger at Livermore. Therefore Saclay–Livermore data difference is in some cases up to about 60–100%.

These disagreements were a subject of special studies for several years [3–6]. Since the total number of neutrons detected at both laboratories agrees, it has been suggested that the difference of the partial reaction cross sections originated from the noticeable systematic uncertainties of the procedures used to separate counts into  $1n$  and  $2n$  events. Using the objective physical criteria of partial photoneutron reaction cross sections reliability it was shown that for many nuclei those data obtained using quasimonoeenergetic annihilation photon beams and photoneutron multiplicity sorting method are not reliable. In various energy ranges the ratios  $F_1 = \sigma(\gamma, 1n)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 1n)/[\sigma(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$  have physically forbidden negative values and at the same time corresponding ratios  $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn)$  have physically unreliable values larger 0.50. New data free of the uncertainties mentioned above were evaluated for many nuclei (for example,  $^{91,94}\text{Zr}$ ,  $^{115}\text{In}$ ,  $^{112-124}\text{Sn}$ ,  $^{133}\text{Cs}$ ,  $^{159}\text{Tb}$ ,  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{186-192}\text{Os}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ ) using the experimental-theoretical method. The only experimental reaction cross section  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  free from problems of experimental determination of neutron multiplicity was used and shared into the partial parts using the equations  $F_i^{\text{theor}} = \sigma^{\text{theor}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{theor}}(\gamma, xn)$  of the combined model of photonuclear reactions (CMPNR) [7, 8]. The way of new cross sections evaluation was the following –  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, in) = F_i^{\text{theor}} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$ . It means that competition between partial reactions is in accordance with model and their sum  $\sigma^{\text{eval}}(\gamma, xn)$  is equal to  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  also free from problems mentioned. New cross sections were evaluated for  $(\gamma, 1n)$ ,  $(\gamma, 2n)$  and  $(\gamma, 3n)$  reactions. For  $^{159}\text{Tb}$  data were evaluated in [3, 4], for  $^{208}\text{Pb}$  in [5], for  $^{209}\text{Bi}$  in [9]. The noticeable disagreements between the evaluated and experimental data were found out. It was shown that the main reason of such disagreements is the complex relation between the measured energy of a neutron and its multiplicity obtained. In preliminary calculations for  $^{181}\text{Ta}$  [10] it was shown that the energies of neutron from the reaction  $(\gamma, 1n)$  and the energy of the first neutron from the reaction  $(\gamma, 2n)$  could be near.

Using the CMPNR the energy spectra of various chances outgoing neutrons from the reactions  $(\gamma, 1n)$ ,  $(\gamma, 2n)$  and  $(\gamma, 3n)$  were calculated for nuclei  $^{181}\text{Ta}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ , and  $^{209}\text{Bi}$ . Calculations were carried out for nucleus excitation energies 15, 20, 25, 30, 40, and 50 MeV. For all three nuclei it was obtained that if nucleus excitation energy increase the part of high-energy neutrons in the inclusive neutron spectra increase also. At the same time the shapes and averaged energies of various neutron spectra are near and the main maxima are placed in small neutron energies  $\sim 0.7\text{--}1.0$  MeV. The reason could be that there are many neutron transitions to the excited states of final nucleus. Therefore the dependence of neutron multiplicity with its energy is very complex.

The research was carried out in the Department of Electromagnetic Processes and Atomic Nuclei Interactions of the MSU SINP. It is supported by the Coordinated Research Project (F41032, the Research Contract 20501) of the International Atomic Energy Agency. Authors acknowledge Prof. B.S.Ishkhanov for theoretical calculations and very useful and important discussions.

1. B.L.Berman *et al.* // Rev. Mod. Phys. 1975. V.47. P.713.
2. S.S.Dietrich *et al.* // Atom. Data and Nucl. Data Tables 1988. V.38. P.199.
3. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.1339.
4. V.V.Varlamov *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2014. V.50. P.114.
5. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2014. V.76. P.1403.
6. V.V.Varlamov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2015. V.78. P.634.
7. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Particles and Nuclei. 2007. V.38. P.232.
8. B.S.Ishkhanov *et al.* // Physics of Atomic Nuclei. 2008. V.71. P.493.
9. S.S.Belyshev *et al.* // Eur. Phys. J. A. 2015. V.51. P.67.
10. B.S.Ishkhanov *et al.* // Phys. Atom. Nucl. 2012. V.75. P.253.



**RELIABILITY OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS AND NEUTRON ENERGY SPECTRA FOR  $^{116}\text{Sn}$**

*Varlamov V.V., Ishkhanov A.A., Orlin V.N.*

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics of Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Many cross sections of total and partial photonuclear reactions were obtained using quasimonoenergetic annihilation photon beams at Livermore (USA) and Saclay (France) [1, 2]. Both laboratories used similar methods to separate reactions with different multiplicities based on the assumption that the neutron spectra of  $(\gamma, 1n)$  and  $(\gamma, 2n)$  reactions are noticeably different. To measure kinetic energy of neutrons different methods were used. Those were so called the “ring-ratio” method at Livermore and specially calibrated the large Gd-loaded liquid scintillator at Saclay [1]. There are well-known complex systematic discrepancies in partial photoneutron reaction cross sections obtained at both laboratories: as a rule the  $(\gamma, 1n)$  reaction cross sections are larger at Saclay, and the  $(\gamma, 2n)$  cross sections are larger at Livermore (data difference in some cases is about 60–100%). In special studies [3–6] it has been shown that the differences of the partial reaction cross sections originated from the noticeable systematic uncertainties of the procedures used to separate counts into 1n and 2n events. Because of those many neutrons are unreliably transmitted from one partial reaction to another. At Livermore for many nuclei the  $(\gamma, 1n)$  reaction cross section decreases up to appearing of physically forbidden negative values and the  $(\gamma, 2n)$  reaction cross section vice versa increases up to values for which the data reliability criterion  $F_2 = \sigma(\gamma, 2n)/\sigma(\gamma, xn) = \sigma(\gamma, 2n)/[\sigma(\gamma, 1n) + 2(\gamma, 2n) + 3(\gamma, 3n) + \dots]$  have physically unreliable values larger 0.50.

Such effects are very impressive for  $^{116}\text{Sn}$  [7]. At energies  $\sim 21\text{--}26$  MeV there are many negative values of  $(\gamma, 1n)$  reaction cross section correlated with  $F_2 > 0.50$  values. Additionally in contradiction to the definition  $F_2$  noticeably decreases at energies larger  $\sim 23$  MeV, though the energy threshold of  $(\gamma, 3n)$  reaction  $B_{3n} = 27.4$  MeV. So it should be concluded that the data for both partial reactions are not reliable. To evaluate the reliable partial reactions cross sections the experimental-theoretical method was proposed [8, 9]. The only experimental reaction cross section  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  free from problems of experimental determination of neutron multiplicity was used and shared into the partial parts using the equations  $F_i^{\text{theor}} = \sigma^{\text{theor}}(\gamma, 1n)/\sigma^{\text{theor}}(\gamma, xn)$  of the combined model of photonuclear reactions (CMPNR) [10, 11]. The evaluated cross sections were obtained as  $\sigma^{\text{val}}(\gamma, in) = F_i^{\text{theor}} \cdot \sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  [8]. It means that competition between partial reactions is in accordance with model and their sum  $\sigma^{\text{val}}(\gamma, xn)$  is equal to  $\sigma^{\text{exp}}(\gamma, xn)$  also free from problems mentioned. Evaluated partial reactions cross sections noticeably differ from experimental cross sections obtained at both Livermore and Saclay. It was concluded that those discrepancies depend on the energy spectra of outgoing neutrons. Thus, the relationship between the energy of a neutron and its multiplicity is very complex. To investigate the connection of neutron multiplicity with its energy in details the energy spectra of neutrons from the reactions  $(\gamma, 1n)$ ,  $(\gamma, 2n)$ ,  $(\gamma, 3n)$ , and  $(\gamma, 4n)$  on  $^{116}\text{Sn}$  were calculated in the frame of the CMPNR. The spectra were obtained for  $^{116}\text{Sn}$  nucleus excitation energies  $E^{\text{exc}} = 20, 30, \text{ and } 40$  MeV and for neutrons of various chances – the unique neutron from the  $(\gamma, 1n)$  reaction, both neutrons from  $(\gamma, 2n)$  reaction, etc. It was obtained that the neutrons with high energies up to  $E^{\text{exc}}\text{-B}_n$  are presented in all spectra. But the maxima of spectra for various  $E^{\text{exc}}$  are placed at near energies about 0.7 – 1.0 MeV. It means that the connection of the neutron multiplicity and its energy is very complicated. This is the main reason of significant systematic uncertainties of experimental data obtained using the method of neutron multiplicity sorting and therefore of many unreliable photoneutron partial reaction cross sections.

The research was carried out in the Department of Electromagnetic Processes and Atomic Nuclei Interactions of the MSU SINP. It is supported by the Coordinated Research Project (F41032, the Research Contract 20501) of the International Atomic Energy Agency. Authors acknowledge Prof. B.S.Ishkhanov and Dr. V.N.Orlin for theoretical calculations and very useful and important discussions.

1. B.L.Berman *et al.* // *Rev. Mod. Phys.* 1975. V.47. P.713.
2. S.S.Dietrich *et al.* // *Atom. Data and Nucl. Data Tables* 1988. V.38. P.199.
3. V.V.Varlamov *et al.* // *Phys. Atom. Nucl.* 2012. V.75. P.1339.
4. V.V.Varlamov *et al.* // *Eur. Phys. J. A.* 2014. V.50. P.114.
5. V.V.Varlamov *et al.* // *Phys. Atom. Nucl.* 2014. V.76. P.1403.
6. V.V.Varlamov *et al.* // *Phys. Atom. Nucl.* 2015. V.78. P.634.
7. S.C.Fultz *et al.* // *Phys. Rev.* 1969. V.186. P.1255.
8. V.V.Varlamov *et al.* // *Bull. Rus. Acad. Sci.* 2010. V.74. P.833.
9. V.V.Varlamov *et al.* // *Bull. Rus. Acad. Sci.* 2010. V.74. P.842.
10. B.S.Ishkhanov *et al.* // *Phys. of Part. and Nucl.* 2007. V.38. P.232.
11. B.S.Ishkhanov *et al.* // *Phys. Atom. Nucl.* 2008. V.71. P.493.

## МАССОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ $^{241}\text{Pu}$ ТЕПЛОВЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Рахмонов Т.Т., Сайтджанов Ш.Н.

Институт Ядерной Физики АН РУз, 100214, Ташкент, Узбекистан

Многолетний интерес к явлению деления связан с его широким практическим применением и важным научным значением. В ядерной физике деление представляет уникальную возможность для изучения свойств сильно деформированных ядер, поскольку очень многое происходит в ядре между моментом захвата нейтрона и испусканием  $\gamma$ -квантов возбужденными конечными ядрами-осколками. Несмотря на заметный прогресс в теоретическом осмыслении целого ряда выявленных закономерностей, полного количественного описания имеющейся экспериментальной информации о массово-энергетических, зарядовых и угловых распределений осколков деления к настоящему моменту достичь не удалось. Проблема существенно осложняется тем, что ни сам момент разрыва ядра на осколки, ни форма ядра перед разрывом не являются экспериментально наблюдаемыми, и информация о них может быть получена только при сопоставлении ряда экспериментально наблюдаемых величин с результатами расчетов, выполненных в рамках тех или иных моделей или подходов, описывающих процесс деления атомного ядра. В качестве таких экспериментально наблюдаемых величин можно использовать массовое, энергетическое и зарядовое распределения выходов продуктов деления [1].

Измерение выходов продуктов деления ядер  $^{241}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами проводилось на масс-спектрометре, расположенном на горизонтальном канале реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз [2] и разделяющим продукты деления одновременно по массам  $M$ , кинетическим энергиям  $E_k$  и ионным зарядам  $z^*$ . Поток тепловых нейтронов на мишени составлял величину  $\Phi_T = 2 \times 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>·с, а кадмиевое отношение  $\Phi_T/\Phi_6=25$ . В измерениях использовалась мишень из  $^{241}\text{Pu}$  приготовленная в виде двуокиси химическим осаждением на алюминиевую подложку толщиной 0,5 мм с активным слоем  $40 \times 5$  мм<sup>2</sup> и толщиной  $275 \pm 5$  мкг/см<sup>2</sup>, содержание  $^{241}\text{Pu}$   $(80,5 \pm 0,1)\%$ . Методика измерений и обработки экспериментальных спектров детально описаны в [3]. Выходы продуктов деления  $^{241}\text{Pu}$  тепловыми нейтронами измерены в диапазоне массовых чисел  $A=130-158$  с фиксированными значениями кинетических энергий  $E_k = 35; 40; 45; 50; 55; 60; 62,5; 67; 70; 74; 76,5$  и 80 МэВ и ионными зарядами  $z^* = (16-28)e_0$ . Определен суммарный относительный выход по всем кинетическим энергиям.

Пониженный выход наблюдается у продуктов деления с  $A=138$  как и в случае деления  $^{239}\text{Pu}$  [4]. А также для  $A=140$  при более низких энергиях. Наблюдаются различия между массовыми и энергетическими распределениями и значениями полуширин для  $^{241}\text{Pu}$  и  $^{239}\text{Pu}$  [4] особенно в диапазоне массовых чисел  $135 < A < 145$ . Для деления  $^{241}\text{Pu}$  характерны меньшие средние значения  $E_k$ , возможно из-за больших деформаций и меньшей зарядовой плотности этой делящейся системы. Кроме того, проводилась корреляция наших измерений продуктов деления тяжелой группы с дополнительными к ним продуктами деления легкой группы  $^{241}\text{Pu}$  с массовыми числами  $A = 80 - 88$ , измеренными на аналогичном масс-спектрометре LOHENGRIN в Гренобле (Франция) [5]. Анализировались результаты измерений продуктов деления ядер  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{249}\text{Cf}$  и  $^{242}\text{Am}$  для легкой группы, также измеренными на этом масс-спектрометре. Для всех делящихся тепловыми нейтронами ядер характерна тонкая структура для массовых чисел с  $A = 80, 82$  и  $84$ . Предполагается, что тонкая структура в легкой группе связана с четно-четными эффектами и с формированием осколков деления с магическими числами 28 и 50 для  $Z$  и  $N$ , соответственно. В тяжелой группе наличие тонкой структуры наблюдается для массовых чисел  $A = 154, 156$ . Полуширины массовых и энергетических распределений также показывают существование тонкой структуры для этих массовых чисел. Проведенные измерения массовых выходов показывают повышенный выход осколков деления с  $A = 154-155$  по сравнению с известными литературными данными [5]. Возможно, это связано с тем, что мы проводили измерения в узком энергетическом интервале, позволяющем выявить структурные особенности. Кроме того, в этом диапазоне массовых чисел по модели минимизации потенциальной энергии делящейся системы наблюдается существование дополнительного канала деления, связанного с большой деформацией  $\beta_L \cong 1,1$  легкого осколка и малой деформацией  $\beta_H \cong 0,35$  тяжелого осколка.

1. H. Goutte et al., Low energy fission: Dynamics and scission configurations, AIP Conf. Proc. **798**, 76, 2005.
2. V.P. Pikul, Yu.N. Koblik et al., J. Nuclear Physics, V.68, №2, 177, 2005.
3. G.A. Abdullaeva, Yu.N. Koblik et al., Int. J. of Nuclear Energy Science and Engineering, V 3, №3, 2013.
4. Ю.Н. Коблик, Г.А. Абдуллаева и др. Узбекский физический журнал, Т.15, №3, 2013
5. A. Bail et al., Int. Conf. on Nuclear Data for Science and Technology 2007 DOI: 10.1051/ndata:07348.

**TIME SCALE OF THE THERMAL MULTIFRAGMENTATION IN  $^4\text{He} + \text{Au}$  COLLISIONS**

Avdeyev S.P.<sup>1</sup>, Karcz W.<sup>1</sup>, Kirakosyan V.V.<sup>1</sup>, Rukoyatkin P.A.<sup>1</sup>, Stegaylov V.I.<sup>1</sup>, Oeschler H.<sup>2</sup>, Botvina A.S.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia; <sup>2</sup> Institute für Kernphysik University of Technology, Darmstadt, Germany; <sup>3</sup> Frankfurt Institute for Advanced Studies Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am Main, Germany, E-mail: [avdeyev@aol.com](mailto:avdeyev@aol.com)

The relative angle correlation of intermediate mass fragments has been studied for 4 GeV  $^4\text{He} + \text{Au}$  collisions at the Dubna Nuclotron with the FASA [1]  $4\pi$  detector array. Strong suppression at small angles is observed caused by IMF-IMF Coulomb repulsion. Experimental correlation function (Fig. 1) is compared to that obtained by the multi-body Coulomb trajectory calculations with the various decay time of fragmenting system. The analysis has been done on an event by event basis. The multibody Coulomb trajectory calculations of all charged particles have been performed starting with the initial break-up conditions given by the combined model INC [2] + SMM [3]. The correlation function was calculated for prompt break-up and for mean life time of the system 100 fm/c at freeze-out volume  $V_f = 3V_0$ .

It was found good agreement of calculations and measured correlation function. Mean life time of the system is  $47 \pm 12$  fm/c for  $^4\text{He}(4 \text{ GeV}) + \text{Au}$  reaction which is in accordance with the scenario of a simultaneous multibody decay of a hot and expanded nuclear system.

The research was supported by Grant No. 15-2-02745 from Russian Foundation for Basic Research.

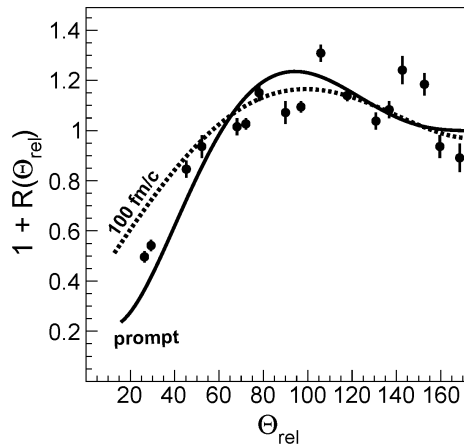


Fig. 1. Relative angle correlation function for IMF produced in  $^4\text{He} + \text{Au}$  collisions at 4 GeV. Points – experimental data. Solid line – INC+SMM calculations with prompt secondary disintegration. Dotted line correspond to INC+SMM calculations with mean time of secondary disintegration 100 fm/c.

1. V.V.Kirakosyan *et al.* // Instr. Exp. Techn. 2008. V.51. N2. P.159.
2. V.D.Toneev *et al.* // Nucl. Phys. A. 1990. V.519. P.463.
3. J.Bondorf *et al.* // Phys. Rep. 1995. V.257. P.133.

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА С МИШЕНЬЮ  $^{181}\text{Ta}$**

*Сексембаев Ж.Б.<sup>1</sup>, Баяхметов О.С.<sup>1,2</sup>, Азаматов А.А.<sup>1,2</sup>, Аманбек Н.Н.<sup>1,2</sup>, Сахиев С.К.<sup>1</sup>*

1 Евразийский Национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

2 Астанинский филиал ИЯФ РК, Астана, Казахстан

Последнее время ознаменовалось стремительным прогрессом в разработке и создании нового поколения твердотельных лазеров, генерирующих импульсы фемтосекундной длительности. Эти лазерные установки, обладая малой длительностью светового импульса, обеспечивают пиковую мощность вплоть до  $10^{15}$  Вт. Фокусировка данного лазерного излучения дает возможность получить огромную интенсивность в диапазоне  $10^{16}$ - $10^{21}$  Вт/см<sup>2</sup>. Такое сверхинтенсивное излучение позволяет получать релятивистские интенсивности. Появление нового инструмента исследований имеет революционное значение для физики, сравнимое с созданием импульсных источников энергии на основе ядерных реакций. Принципиальное достижение состоит в том, что гигантская концентрация энергии  $\sim 10^{11}$  Дж/см<sup>3</sup> обеспечивается фокусировкой фемтосекундного лазерного излучения в «микрообъем»  $\sim 10^{-11}$  см<sup>3</sup>. При этом энергия, передаваемая одному атому, составляет порядка  $10$  (1 эВ =  $1,6 \times 10^{-19}$  Дж). Для сравнения: энергия, которую необходимо затратить на расщепление ядра на отдельные нуклоны, равна примерно произведению удельной энергии связи  $e_b$  ( $e_b \gg 8$  МэВ) на число нуклонов, а энергия отделения нуклона или протона находится в диапазоне 2-20 МэВ [1]. В режиме релятивистских интенсивностей оказывается возможным изучать фундаментальные свойства вещества в сильно неравновесных, экстремальных состояниях, а также проводить ядерно-физические эксперименты с использованием корпускулярного и электромагнитного излучений из плазмы, создаваемой фемтосекундным лазерным излучением.

В момент облучения тантала лазером происходит сублимационный процесс, тем самым заставляя твердое тело перейти в состояние плазмы. Вся энергия лазера уходит на то, чтобы разрушить кристаллическую решетку мишени, на преодоление Ван-дер Вальсовых сил, а оставшаяся часть будет ионизировать все атомы мишени. После чего будет вылет электронного облака и ионного облака летящие в одном направлении.

В данной работе описаны методы этих расчетов и представлены результаты расчетов спектра энергий электронов. Произведены сравнения со значениями литературных данных.

Литература:

[1] Савельев А.Б. «Ядерные процессы в поле релятивистского фемтосекундного лазерного излучения»

[2] Ворончев В.Т., Кукулин В.И. Ядерно-физические аспекты УТС. // Ядерная физика, 2000, Т.63, №12, с.2147-2162.

**PRECISE GROUND STATE ENERGY OF THE HELIUM-MUONIC ATOMS**

Aznabayev D.T. <sup>1,2</sup>, Bekbaev A.K. <sup>1,2</sup>, Korobov V.I. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Joliot-Curie 6, 141980 Dubna, Moscow region, Russia,  
<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, 71 Ave., 050038, Almaty

In our work the nonrelativistic ionization energies  ${}^3\text{He}^{2+}\mu^-e^-$  and  ${}^4\text{He}^{2+}\mu^-e^-$  of helium-muonic atoms are calculated for ground states. The calculations are based on the variational method of “exponential” expansion. Convergence of the numerical values of variational energies is studied by increasing a number of the basis functions  $N$ . That allows to claim that the obtained energy values have 21 significant digits for ground states.

Muonic helium ions  ${}^3\text{He}^{2+}\mu^-e^-$  and  ${}^4\text{He}^{2+}\mu^-e^-$  are simple three-body systems composed of the electron, a negative muon and positive nucleus of  ${}^3\text{He}$  or  ${}^4\text{He}$ . The lifetime of such atoms are determined by the lifetime of muon  $t = 2.19703(4) \cdot 10^{-6}$  sec. The three-body bound states has complicated hyperfine structure which is caused by an interaction of magnetic moments of the electron, the muon and the nucleus. Muon systems represent themselves as a unique laboratory for precise determination of nuclei properties such as charge radius. Lately, a significant progress in an investigation of energy spectrums of muonic atoms has been achieved by the CREMA collaboration (Charge Radius Experiment with Muonic Atoms). The Lamb shift and hyperfine structure in muonic hydrogen and muonic deuterium have been measured. Similar experiments are planned for muonic helium. Light muonic atoms are important for testing of the Standard Model, theory of bound states in quantum electrodynamics and for searching of exotic particles and interactions.

**TABLE 1:** *The convergence of the total energies in atomic units for the ground states in the helium-muonic atoms.  $N$  is the total number of basis functions used in calculations.*

$N$	${}^3\text{He}^{2+}\mu^-e^-$									${}^4\text{He}^{2+}\mu^-e^-$								
2000	399.042	336	832	862	534	827	027	433	402.637	263	035	135	454	018	960	573		
3000	399.042	336	832	862	534	827	041	147	402.637	263	035	135	454	018	973	292		
4000	399.042	336	832	862	534	827	041	545	402.637	263	035	135	454	018	974	468		

**TABLE 2:** *The convergence of the expectation values for the delta functions for various pairs of particles.  $N$  is the total number of basis functions used in calculations.*

$N$	${}^3\text{He}^{2+}\mu^-e^-$						${}^4\text{He}^{2+}\mu^-e^-$					
	$\{\delta(rN\mu)\}$		$\{\delta(rNe)\}$		$\{\delta(r\mu e)\}$		$\{\delta(r\mu e)\}$		$\{\delta(r\mu e)\}$		$\{\delta(r\mu e)\}$	
2000	20	149	938.845	0.320	611	550 99	0.313	682	320 01	0.313	760	536 34
3000	20	149	938.845	0.320	611	551 42	0.313	682	320 00	0.313	760	536 38
4000	20	149	938.845	0.320	611	551 56	0.313	682	319 99	0.313	760	536 37

Variational wave functions of bound states were obtained by solving the Schrodinger equation for the quantum three-body problem with Coulomb interaction using a variational approach based on exponential expansion with the parameters of exponents being chosen in a pseudorandom way. The results of calculations of the nonrelativistic energy levels for a helium atom were presented. The numerical calculation results are listed in Table 1-2. The results of these studies demonstrated that the energy values are as accurate as 21 significant digits. This accuracy allows one to obtain reliable theoretical predictions.

References:

1. Pohl R., Antognini A., Nez F. et al. The size of the proton, Nature, 2010, vol. 466, pp. 213-217. doi:10.1038/nature09250.
2. Antognini A., Kottmann F., Biraben F., Indelicato P., Nez F., Pohl R. Theory of the 2S-2P Lamb shift and 2S hyperfine splitting in muonic hydrogen, Annals of Physics, 2013, vol. 331, pp. 127-145, arXiv:1208.2637[physics.atom-ph].
3. Frolov A. M. Properties and hyperfine structure of helium-muonic atoms, Phys. Rev. A, 2000, vol. 61, no. 2, 022509. doi:10.1103/physreva.61.022509.
4. Korobov V. I. Coulomb three-body bound-state problem: Variational calculations of nonrelativistic energies, Phys. Rev. A, 2000, vol. 61, no. 6, 064503. doi:10.1103/physrev A.
5. Korobov V. I. 2000 Phys. Rev. A.61, 064503.
6. D.T. Aznabayev, A.K. Bekbaev, I.S. Ishmukhamedov, V.I. Korobov, Energy levels of a helium atom, Physics of Particles and Nuclei Letters, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 689–694.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ  $^{14}\text{N}+^{10}\text{B}$  В ИНТЕРВАЛЕ  $E= 38,1-97$  МЭВ

Буртебаев Н. <sup>1</sup>, Бозтосун И. <sup>2</sup>, Алимов Д.К. <sup>1</sup>, Керимкулов Ж.К. <sup>1</sup>, Буртебаева Д.Т. <sup>1</sup>, Мухамеджанов Е.С. <sup>1</sup>,  
Насурлла Маржан <sup>1,3</sup>, Ходжаев Р.А. <sup>1</sup>, Каракоч М. <sup>2</sup>, Курахмедов А.Е. <sup>4</sup>

<sup>1</sup>РГП Институт ядерной физики КЭ РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Университет Акдениз, факультет физики, Анталья, Турция

<sup>3</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Гумилева, Астана, Казахстан

Актуальным направлением исследований ядерной астрофизики продолжают оставаться исследования взаимодействия ядер 1р-оболочки, входящих в состав ядерных реакций CNO-цикла в звездах. Одной из основных проблем современной ядерной физики является определение характеристик ядерно-ядерного взаимодействия. Знание достоверных параметров межъядерного потенциала взаимодействия необходимо для расчета сечений всевозможных ядерных реакций и структурных характеристик сталкивающихся ядерных систем [1].

Кулоновское отталкивание препятствует глубокому перекрыванию сталкивающихся ядер, и взаимодействие носит, в основном, поверхностный характер и определяется поведением межъядерного потенциала на расстояниях порядка суммы радиусов сталкивающихся систем. В этих условиях помимо упругого рассеяния доминируют квазиупругие процессы, приводящие к состояниям сравнительно простой структуры без глубокой перестройки ядерных систем. Это могут быть как вращательные и колебательные состояния, возбуждающиеся в неупругом рассеянии, так одночастичные и кластерные состояния, заселяемые в реакциях передачи нуклонов или кластеров. Таким образом, к настоящему моменту, механизмы формирования сечений упругого рассеяния тяжелых ионов на легких ядрах остаются не полными, противоречивыми и требуют более детальных исследований.

В анализ включены экспериментальные данные из работ [2,3] при энергиях  $E_{^{14}\text{N}} = 38,1-97$  МэВ. Теоретические расчеты выполнялись по программе FRESKO [4]. Параметры оптического потенциала подбирались таким образом, чтобы достичь наилучшего согласия между теоретическими и экспериментальными угловыми распределениями. Автоматический поиск оптимальных параметров оптического потенциала производился путем минимизации величины  $\chi^2/N$  методом наименьших квадратов. В качестве исходных, были взяты параметры потенциала, предложенные в работе [3, p.199]. Для уменьшения неоднозначности мы старались не уходить далеко от рекомендованных значений геометрических параметров ( $r_V, a_V$ ) потенциала. Для лучшего согласия с экспериментальными данными лишь глубина мнимой части ( $W_D$ ) незначительно уменьшалась.

Литература

1. Н. Буртебаев, Ж.К. Керимкулов, Н.Амангелді, Д.К. Алимов, Е.С. Мухамеджанов, Д.М. Джансейтов, Б. Мауей, А. Аймаганбетов, А.Е. Курахмедов., С.М. Бекбаев, А.Ж. Мадиярова. Исследование упругого рассеяния ионов  $^{14}\text{N}$  на ядрах  $^{10}\text{B}$  при энергиях 17,5 и 41 МэВ // Известия НАН РК. Сер. Физико-математическая. 2016, №6 (310). С. 109-114.
2. H.Takai., K.Koide.  $\alpha$  - transfer contribution to  $^{10}\text{B}+^{14}\text{N}$  elastic scattering // Phys. Rev. C.(1988), Vol. 38, №2, P. 741-747.
3. T.Motobayashi., I.Kohno., T.Ooi., S.Nakajima.  $\alpha$  – transfer reactions between light nuclei // Nucl. Phys. A 331 (1979), P. 193-212. . [www.fresco.org.uk](http://www.fresco.org.uk)

**INFLUENCE OF COMPLEX CONFIGURATIONS ON PROPERTIES OF PYGMY E1 RESONANCE IN NEUTRON-RICH Ca ISOTOPES**

*Arsenyev N.N.*<sup>1)</sup>, *Severyukhin A.P.*<sup>1,2)</sup>, *Voronov V.V.*<sup>1)</sup>, *Nguyen Van Giai*<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup>Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, JINR, 141980 Dubna, Russia

<sup>2)</sup>Dubna State University, 141982 Dubna, Russia

<sup>3)</sup>Institut de Physique Nucléaire, CNRS-IN2P3, Université Paris-Sud, F-91406 Orsay Cedex, France

In many nuclear physics laboratories around the world, there is an increased interest to study short-lived radioactive nuclei. Pioneering experiments with exotic  $^{52,54}\text{Ca}$  isotopes gave an evidence for strong shell effects [1,2]. The low-energy E1 strength, which is often called pygmy dipole resonance (PDR), is sensitive to the shell structure [3]. For this reason, the properties of the PDR in neutron-rich Ca isotopes provides important tests of theoretical studies. One of the successful tools for describing the PDR is the quasiparticle random phase approximation (QRPA) with the self-consistent mean-field derived from Skyrme effective interactions [4]. Such an approach can describe the properties of the low-lying states reasonably well by using existing Skyrme interactions. Due to the anharmonicity of vibrations there is a coupling between one-phonon and more complex states. The main difficulty is that the complexity of calculations beyond standard QRPA increases rapidly with the size of the configuration space, and one has to work within limited spaces. Using a finite rank separable approximation for the residual particle-hole interaction derived from the Skyrme forces one can overcome this numerical problem [5-7]. In our talk the effects of phonon-phonon coupling (PPC) on the low-energy electric dipole response in  $^{40-58}\text{Ca}$  is discussed. Using the same set of parameters we describe available experimental data for  $^{40,44,48}\text{Ca}$  and give the prediction for  $^{50-58}\text{Ca}$  [8]. In particular, the inclusion of the PPC results in the formation of low-energy  $1^-$  states. There is an impact of the PPC effect on low-energy E1 strength of  $^{40,44,48}\text{Ca}$ . We predict a strong increase of the summed E1 strength below 10 MeV, with increasing neutron number from  $^{48}\text{Ca}$  until  $^{58}\text{Ca}$ . The PPC effect on the electric dipole polarizability is discussed.

This work is partly supported by CNRS-RFBR agreement No. 16-52-150003.

**REFERENCES**

- [1] F. Wienholtz et al., *Nature* 498, 346 (2013).
- [2] D. Steppenbeck et al., *Nature* 502, 207 (2013).
- [3] S. Ebata, T. Nakatsukasa, T. Inakura, *Phys. Rev. C* 90, 024303 (2014).
- [4] N. Paar, D. Vretenar, E. Khan, G. Colò, *Rep. Prog. Phys.* 70, 691 (2007).
- [5] Nguyen Van Giai, Ch. Stoyanov, V. V. Voronov, *Phys. Rev. C* 57, 1204 (1998).
- [6] A. P. Severyukhin, V. V. Voronov, Nguyen Van Giai, *Phys. Rev. C* 77, 024322 (2008).
- [7] A. P. Severyukhin, V. V. Voronov, Nguyen Van Giai, *Eur. Phys. J. A* 22, 397 (2004).
- [8] N. N. Arsenyev, A. P. Severyukhin, V. V. Voronov, Nguyen Van Giai, *Phys. Rev. C* 95, 054312 (2017).

**MOMENTUM DISTRIBUTIONS FOR EXCITED STATES OF  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  NUCLEI, OBTAINED WITH THE MODIFIED WAVE FUNCTIONS**

Afanasyeva N.V. <sup>1</sup>, Burkova N.A. <sup>2</sup>, Sharafutdinova D.N. <sup>2</sup>

1 – Scientific-Research Institute of Experimental and Theoretical Physics of al-Farabi Kazakh National University, Almaty, the Republic of Kazakhstan

2 - al-Farabi Kazakh National University, Almaty, the Republic of Kazakhstan

Currently, vast experimental material is assembled on the study the unusual properties of some atomic nuclei, known as the halo-states [1-5]. The defining feature of a halo was from the beginning understood to be a large spatial extension caused by neutrons tunneling out from a nuclear core. Nuclei may reveal not only well-developed *halo* states but also something intermediate between normal nuclei and halo nuclei, so called *skin*-states.

Halo effect research attractiveness that is quite enough reliably identify two main features of halo states as large root mean radius  $r_{rms}$  and narrow localized impulse distributions.

Despite the seeming simplicity and transparency of the question, both experimental and theoretical studies still face certain difficulties.

In papers [6, 7] the results of our calculations for the modified radial wave functions for low-lying 2s-, 2d-excited states  $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$  of positive parity  $\pi$  with total momentum  $J$  in  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  nuclei are presented. To construct these modified functions the matching procedure of oscillatory wave functions with corresponding Whittaker functions have been used. It should be recalled that the matching radius  $r_m$  is directly proportional to the oscillatory parameter  $r_0$  for which we used several values: some of them allow to reproduce available experimental and theoretical data for  $r_{rms}$  of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  nuclei in the states with  $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$ , and another ones are obtained from the relation  $r_0 = 1/k_0$ .

The obtained modified wave functions [6, 7] have been presented as convenient expansion by Gaussian basis and used in the current calculations of momentum distributions for mentioned above excited states of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  nuclei. These calculations show that in the region of small momentum transfers  $q \rightarrow 0$  momentum distributions obtained for all functions differ drastically. Thus, our assumption is that this characteristic is sensitive to the modifications of the asymptotic behavior is fully confirmed. To address the issue of choice of reliable functions it is necessary in the future to compare the obtained results with the available experimental data on elastic and inelastic form factors.

- 1 Tanihata I., Terashima S., Kanungo R. Observation of large enhancements of charge exchange cross section with neutron-rich carbon isotopes // Phys. Rev. – 2016 – Vol. 4 – P.1-11.
- 2 Hansen P.G. Nuclear halos // Rev. Nucl. Part. Sci. – 1995 – Vol. 45. – P. 591-634.
- 3 Tanihata I., Savajols H., Kanungo R. [Recent experimental progress in nuclear halo structure studies](#) // Prog. Part. Nucl. Phys. – 2013. – Vol. 68. – P. 215 -313
- 4 Horiuchi W., Suzuki Y., Abu-Ibrahim B. Systematic analysis of reaction cross section of carbon isotopes // Phys. Rev. – 2007 – Vol. C75 – P. 044607-1-14.
- 5 Samana A.R., Tarutina T., Hussein M.S. Pairing correlations in odd-mass carbon isotopes and effect of Pauli principle in particle-core coupling in  $^{13}\text{C}$  and  $^{11}\text{Be}$  // Nuclear Physics – 2007 – Vol. A791 – P. 36-56.
- 6 Afanasyeva N.V., Burkova N.A. Modification of oscillator wave functions for the ground states of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  // Abstracts of the 66<sup>th</sup> Int. Conf. “Nucleus 2016” – 11-14 October, Sarov, Russia – 2016 – P. 9.
- 7 Afanasyeva N.V., Burkova N.A. Modification of oscillator wave functions for 2s-, 2d-excited states of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  // Abstracts of the 66<sup>th</sup> Int. Conf. “Nucleus 2016” – 11-14 October, Sarov, Russia – 2016 – P. 10.



## ГАЛО- И СКИН-РАДИУСЫ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР $^{11}\text{B}$ , $^{13}\text{C}$ , $^{17}\text{O}$

Афанасьева Н.В. <sup>1</sup>, Буркова Н.А. <sup>2</sup>, Шарафутдинова Д.Н. <sup>2</sup>

- 1 – Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики Казахского Национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан  
 2 - Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

В настоящей работе мы продолжаем исследования низколежащих возбужденных 2s-, 2d-состояний положительной четности с полным моментом  $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$  ядер  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$ , начатые в работах [1, 2]. Интерес к данной теме исследования обусловлен, прежде всего, тем, что указанные состояния ядер  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  представляют собой либо ярко выраженные гало-состояния с низкоплотностным распределением валентных нуклонов, достаточно удаленных (на  $\approx 0,5-0,9$  фм) от кора ядра (как, например, состояния с  $J^\pi = 1/2^+$  ядер  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$ ), либо являются *скин*-состояниями с избыточной концентрацией нуклонов в поверхностной области ядра без существенного увеличения его размеров [3] (как, например, состояние с  $J^\pi = 5/2^+$  ядра  $^{13}\text{C}$ ). В этой связи особую актуальность представляет получение достаточно надежных (точных) значений среднеквадратичных радиусов  $r_{rms}$  для вышеуказанных состояний ядер  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$ . Несмотря на кажущуюся простоту этой задачи, и теория, и эксперимент до сих пор встречают определенные трудности на пути ее решения, и трудности эти связаны, прежде всего, с неоднозначностью определения среднеквадратичных радиусов [4, 5].

Ранее в работах [1, 2] были представлены результаты расчетов модифицированных волновых функций, как для основных, так и низколежащих возбужденных 2s-, 2d-состояний ядер  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  с  $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$ . Напомним, что для построения данных модифицированных волновых функций использовалась процедура сшивания осцилляторных волновых функций с соответствующими функциями Уиттекера.

В настоящей работе на основе использования полученных ранее модифицированных волновых функций [1, 2] были проведены расчеты среднеквадратичных радиусов для низколежащих возбужденных состояний ядер  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$  и  $^{17}\text{O}$ . В целом, значения  $r_{rms}$ , полученные в настоящей работе, либо находятся в пределах ошибок измерений имеющихся экспериментальных и теоретических данных [5, 6] (для состояний  $J^\pi = 1/2^+, 5/2^+$  ядра  $^{13}\text{C}$ ), либо немного превышают их (для состояний  $J^\pi = 1/2^+, 5/2^+$  ядра  $^{17}\text{O}$ ), что вполне может быть обусловлено соответствующими завышенными значениями осцилляторных параметров  $r_0$  и радиусов сшивания  $r_m$ . Таким образом, полученные результаты расчетов  $r_{rms}$  не только подтверждают наличие ярко-выраженного гало-эффекта в состояниях с  $J^\pi = 1/2^+$  ядер  $^{13}\text{C}$ ,  $^{17}\text{O}$  и ярко-выраженного скин-эффекта в состоянии с  $J^\pi = 5/2^+$  ядра  $^{13}\text{C}$ , но и вполне могут указывать на наличие гало-эффекта в состояниях с  $J^\pi = 1/2^+, 3/2^+, 5/2^+$  ядра  $^{11}\text{B}$ , поскольку значения  $r_{rms}$  для приведенных низколежащих возбужденных состояний ядра  $^{11}\text{B}$  примерно в 1,5 - 2 раза больше, чем для основного состояния данного ядра.

- 1 Afanasyeva N.V., Burkova N.A. Modification of oscillator wave functions for the ground states of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  // Abstracts of the 66th Int. Conf. "Nucleus 2016" – 11-14 October, Sarov, Russia – 2016 – P. 9.  
 2 Afanasyeva N.V., Burkova N.A. Modification of oscillator wave functions for 2s-, 2d-excited states of  $^{11}\text{B}$ ,  $^{13}\text{C}$ , and  $^{17}\text{O}$  // Abstracts of the 66th Int. Conf. "Nucleus 2016" – 11-14 October, Sarov, Russia – 2016 – P. 10.  
 3 Ибраева Е.Т., Жусупов М.А., Имамбеков О., Сахiev С.К. Исследование структуры легких нестабильных ядер и механизм упругого протонного рассеяния // ЭЧАЯ – 2011 – Т.42, Вып. №6 – С.1602-1691.  
 4 Belyaeva T. L., Perez-Torres R., Demyanova A. S. et al. Neutron asymptotic normalization coefficients and halo radii of the first excited states of  $^{13}\text{C}$  and  $^{11}\text{Be}$  // Phys. Rev. – 2014 – №90 – P. 1-2.  
 5 Lin Cheng-Jian et al. Extraction of the rms radius of  $^{13}\text{C}$  from asymptotic normalization coefficients // Chinese Phys. Lett. – 2001. – V. 18, No11. – P. 1446-1448.  
 6 Dubovichenko S.B. – Thermonuclear processes of the Universe. First English edition. NOVA Sci. Publ. New-York. 2012. 194p.

УПРУГОЕ ПРОДОЛЬНОЕ РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ 1P-ОБОЛОЧКИ

Баяхметов О.С.<sup>1,2</sup>, Сейтқали А.Ә.<sup>1</sup>

1 Евразийский национальный университет им.Л.Н. Гумилева, г.Астана, Казахстан

2 Астанинский филиал ИЯФ РК, г.Астана, Казахстан

Рассеяние электронов зарекомендовало себя как один из наиболее эффективных методов изучения свойств энергетических уровней атомных ядер и представляет собой мощный инструмент для изучения структуры ядер.

В настоящей работе рассмотрены упругие продольные формфакторы таких легких ядер 1p-оболочки, как  $^9\text{Be}$ ,  $^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$  в модели ядерных оболочек, а также для ядра  $^9\text{Be}$  нами рассчитаны упругие продольные формфакторы в кластерной ( $2\alpha+n$ )-модели [1].

Для сравнения полученных результатов мы взяли данные из других экспериментальных [2,3] и теоретических [4,5] работ.

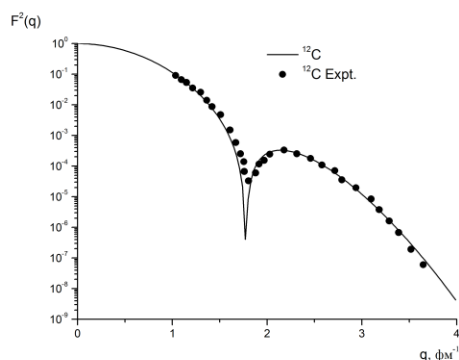


Рис.1 – Упругие формфакторы ядра  $^{12}\text{C}$

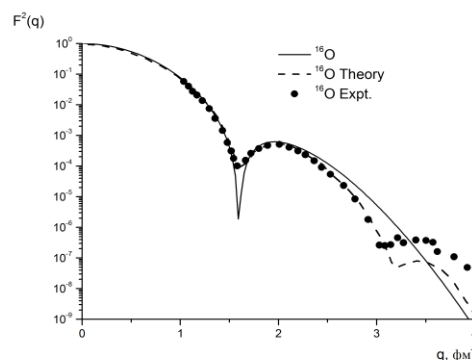


Рис.2 – Упругие формфакторы ядра  $^{16}\text{O}$

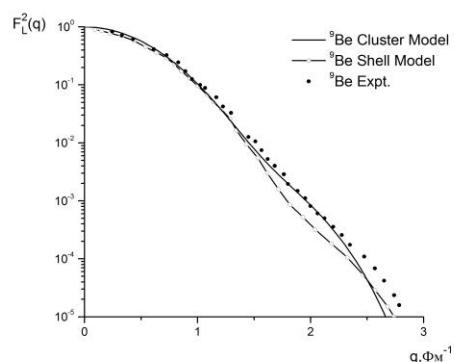


Рис. 3 – Упругие продольные формфакторы ядра  $^9\text{Be}$

[1] Кукулин В.И. и др. Изучение структуры и свойств ядер с  $A=9$  ( $^9\text{Be}$ - $^9\text{B}$ ) в рамках мультикластерной динамической модели  $2\alpha+N$ // Ядерная физика, 1994,Т.57, №11, С.1964-1980.

[2] I. Sick et al., 1970,Nucl. Phys., A **150** 631.

[3] J.P.Glickman, W.Bertozzi, T.N.Butti, et al. "Electron scattering from  $^9\text{Be}$ ", Phys.Rev.,Vol.C43, 1991, pp. 1740-1753.

[4] Ma E.J. et al., Chin.Phys.Lett. 23, (2006) 2695, arXiv:0709.1245 [nucl-th].

[5] R.A. Radhi, N.M.Adeeb, A.K.Hashim Elastic Longitudinal Electron Scattering form Factors of  $^9\text{Be}$ . // Journal of Al-Nahrain University, Vol.14 (2), June, 2011, pp.116-122.

RADIATIVE CAPTURE  $\alpha(\tau, \gamma)^7\text{Be}$  AT LOW ENERGIES

Burkova N.A.<sup>1</sup>, Dubovichenko S.B.<sup>2</sup>, Tkachenko A.S.<sup>1,2</sup>, Mukaeva A.R.<sup>1,2</sup>, Beisenov B.U.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>al-Farabi Kazakh National University, Almaty, the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>V.G. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan

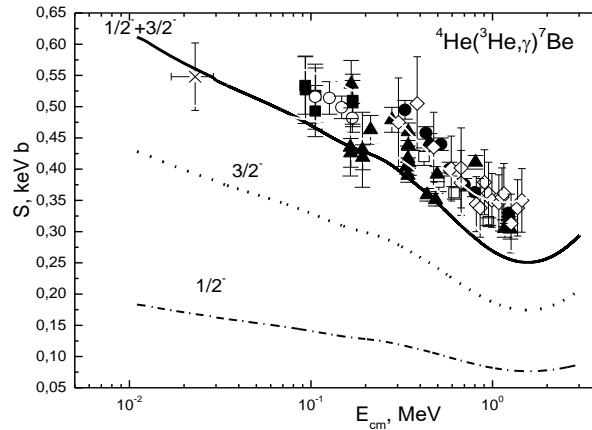
The process of radiative capture  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  at low energies corresponding to the thermonuclear processes in the prestellar stage of the evolution of the Universe plays a key role in nuclear astrophysics, since it can close the proton-proton fusion cycle [1].

Another aspect that requires an estimation of the  ${}^7\text{Be}$  rate production is the inclusion of this nucleus in the chain of radiative capture of protons leading to the synthesis of  ${}^8\text{B}$  whose decay is directly related to the solution of the problem of the intensity of solar neutrino fluxes [2]. That is why, experimental data on the reaction  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  are constantly refined [3, 4], which in turn requires the adjustment of theoretical model calculations.

Special interest to the  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  reaction concerns the new measurements for the astrophysical S-factor performed for *lowest* today 23 keV energy [2, 3].

In the framework of the modified potential cluster model with the classification of orbital states according to Young diagrams and the refined potential parameters for the ground state of the  ${}^7\text{Be}$  nucleus in the  ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$  cluster model with forbidden states, astrophysical S-factors of the radiative capture of  ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$  from 20 keV have been calculated [5, 6]. The parameters of the cluster-cluster potential are consistent with the data on the asymptotic normalization constants, the data on the  ${}^7\text{Be}$  nucleus spectra, the binding energy, and also the root-mean-square charge radii.

The results of present calculations are given in Figure. For references to the experimental data compilation see [4]. Transitions on to the ground state ( $3/2^-$ ) and first excited state ( $1/2^-$ ) have been accounted; solid curve is the sum of these partial cross sections.



As can be seen in Figure, the results of our calculations at the energy of 23 keV lie in the region of experimental errors in [2]. For the energy of 20 keV, our calculation yields an S-factor of 0.570 keV·b, and at 23 keV it is 0.561 keV·b.

The most recent measurements of the S-factor at  $23^{+6}_{-5}$  keV energy [2] lead to a value of 0.548 (54) keV·b which agrees well with our results.

1. Imbriani G. Direct measurements of cross section of astrophysical interest // Journal of Physics: Conference Series **312** (2011) 042004.
2. Takács M.P. et al. Constraining big bang lithium production with recent solar neutrino data // Phys. Rev. 2015. V. D91. P. 123526 (7p.)
3. Trezzi D., Anders M., Aliotta M. et al. Big Bang  ${}^6\text{Li}$  nucleosynthesis studied deep underground (LUNA collaboration) // Astroparticle Physics. 2017. V. 89. P. 57-65.
4. Di Leva A., Gialanella L., Strieder F. Experimental status of  ${}^7\text{Be}$  production and destruction at astrophysical relevant energies // Journal of Physics: Conference Series **665** (2016) 012002.
5. Dubovichenko S.B. Astrophysical S factors of radiative  ${}^3\text{He}{}^4\text{He}$ ,  ${}^3\text{H}{}^4\text{He}$ , and  ${}^2\text{H}{}^4\text{He}$  capture // Phys. Atom. Nucl. 2010. V.73. P.1517-1522
6. Dubovichenko S.B. Radiative neutron capture and primordial nucleosynthesis of the Universe. Fifth Russian Edition, corrected and added. Germany, Saarbrucken: Lambert Academy Publ. GmbH&Co. KG. 2016. 496p.

**SPECTROSCOPY OF MOLECULAR HYDROGEN IONS**

Bekbaev A.K. <sup>1,2</sup>, Aznabayev D.T. <sup>1,2</sup>, Korobov V.I. <sup>2</sup> and Nurbakova G.S. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University (Almaty, Kazakhstan)

<sup>2</sup>Joint Institute for Nuclear Research BLTP (Dubna, Russia)

The static dipole polarizability for the hydrogen molecular ions  $H_2^+$ ,  $HD^+$ , and  $D_2^+$  are calculated. These new data for polarizability take into account the leading-order relativistic corrections to the wave function of the three-body system resulting from the Breit–Pauli Hamiltonian of  $m\alpha^4$  order. Our study covers a wide range of rotational ( $J = 0 - 5$ ) and vibrational ( $\nu = 0 - 10$ ) states, which are of practical interest for precision spectroscopy of the hydrogen molecular ions.

It has been shown recently [1] that simple molecular ions have potential uses as optical clocks with very good stability. An essential ingredient for the high fidelity of such clocks is a good knowledge of the molecule reaction on the external fields appeared in the experimental setup. For hydrogen molecular ions (HMIs), as the simplest three-body system, such data can be rigorously obtained from the *ab initio* calculations with very high precision. The nonrelativistic polarizability of ro-vibrational states with up to eight or sometimes even more significant digits is now available for a wide range of states [2–5]. It is easy to show that relativistic corrections to polarizability enters at a relative order of ( $O(\alpha^3)$ ) or contribute to about  $10^{-4}$  of relative precision [6].

In this work we carry out calculations of the leading-order relativistic correction to the dipole polarizability of the hydrogen molecular ions  $H_2^+$ ,  $HD^+$ , and  $D_2^+$ . We take into consideration a wide range of ro-vibrational states:  $J = 0 - 5$ ,  $\nu = 0 - 10$ . This is the first systematic study of the relativistic effects to polarizability of the HMIs for a variety of states. The higher order ( $O(\alpha^3)$ ) radiative corrections in principle may be also taken into account, so far that has been done rigorously only for the helium ground state [7, 8]. In our present work we do not touch this issue, thus our current predictions are limited to 6–7 significant digits as a physically meaningful quantity.

Relativistic correction  $\alpha_B$  to the static dipole polarizability:

$$\alpha_d = \alpha_d^{(nonrel)} + (1/c)^2 \alpha_B$$

is expressed:

$$\begin{aligned} \alpha_B &= 2\langle \Psi_B | \mathbf{d} | \Psi_1 \rangle + \langle \Psi_1 | H_B - \langle H_B \rangle | \Psi_1 \rangle \\ &= 2\langle \Psi_0 | H_B Q (E_0 - H_0)^{-1} Q \mathbf{d} | (E_0 - H_0)^{-1} \mathbf{d} \Psi_0 \rangle \\ &\quad + \langle \Psi_0 | \mathbf{d} (E_0 - H_0)^{-1} (H_B - \langle H_B \rangle) (E_0 - H_0)^{-1} \mathbf{d} | \Psi_0 \rangle \end{aligned}$$

here  $H_B$  is the Hamiltonian of the Breit-Pauli interaction for the three-body system [9, 10], and  $\Psi_B$  is the relativistic correction to the nonrelativistic wave function  $\Psi_0$ :

$$\Psi_B = Q (E_0 - H_0)^{-1} Q H_B | \Psi_0$$

1. Schiller S, Bakalov D and Korobov V I 2014 Phys. Rev. Lett. 113 023004
2. Hilico L, Billy N, Grémaud B and Delande D 2001 J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 34 491 Karr J-P, Kilic S and ilico L 2005 J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38 853
3. Olivares Pilón H and Baye D 2012 J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 45 235101
4. Tian Q-L, Tang L-Y, Yan Z-C and Shi T-Y 2015 Chin. Phys. Lett. 32 083101
5. Schiller S, Bakalov D, Bekbaev A K and Korobov V I 2014 Phys. Rev. A 89 052521
6. Korobov V I 2001 Phys. Rev. A 63 044501
7. Pachucki K and Sapirstein J 2000 Phys. Rev. A 63 012504
8. Łach G, Jeziorski B and Szalewicz K 2004 Phys. Rev. Lett. 92 233001
9. Berestetsky V B, Lifshitz E M and Pitaevsky L P 1982 Relativistic Quantum Theory (Oxford: Pergamon)
10. Korobov V I 2006 Phys. Rev. A 74 052506.

**СВОЙСТВА ЛЁГКИХ МЕЗОНОВ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ТЯЖЁЛЫХ ЯДЕР В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ФЕНИКС**

*Бердников Я.А., Бердников А.Я., Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В.*

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия.

В 2005 году все эксперименты на коллайдере RHIC (БНЛ, США) сделали заявление об обнаружении сильно взаимодействующей кварк-глюонной плазмы (сКГП) – состояния ядерного вещества при экстремально высоких температуре и давлении, представляющего собой идеальную жидкость, степенями которой являются кварки и глюоны, обладающие цветовым зарядом [1].

Одним из признаков сКГП является подавление инклюзивных выходов легких мезонов в области больших поперечных импульсов по сравнению с их выходом в элементарных  $p+p$  столкновениях, нормированном на число парных неупругих нуклон-нуклонных столкновений. Ряд теоретических моделей [2] связывает подобное подавление с потерей энергии жестких партонов в горячей и плотной среде, рожденной в центральных столкновениях тяжелых ядер.

Одним из лучших инструментов для экспериментального изучения потерь энергии партонов в сКГП является изучение спектров рождения нейтральных пионов. Нейтральные пионы являются псевдоскалярными мезонами с нулевым спином и отрицательной четностью. Поскольку в их состав входят только кварки первого поколения,  $u$  и  $d$ , пионы составляют значительную долю выхода частиц в столкновениях тяжелых ядер, что позволяет измерить их спектр в широком диапазоне поперечного импульса и в разных классах центральности столкновения тяжелых ядер.

Изучение несимметричных систем сталкивающихся тяжелых ядер, таких как  $Cu+Au$ , позволяет получить более подробную информацию о фундаментальных свойствах материи в экстремальных условиях. В несимметричных системах реализуется особая геометрия перекрытия, отличная от симметричных систем, таких как  $Cu+Cu$  или  $Au+Au$ . Сравнение результатов, полученных с использованием симметричных и несимметричных сталкивающихся ядерных систем, и определение уровня их согласия с теоретическими вычислениями накладывают дополнительные ограничения на значения параметров теоретических моделей, позволяют получить численные выражения для плотности цветовых зарядов и лучше понять механизмы взаимодействия партонов со средой.

В эксперименте PHENIX на RHIC [3] были измерены выходы нейтральных пионов в  $Cu+Au$ ,  $Cu+Cu$  и  $Au+Au$  столкновениях с энергией в системе центра масс, равной 200 ГэВ на нуклон. Подавление выходов нейтральных пионов в  $Cu+Au$  столкновениях находится в согласии с результатами измерений, полученных в  $Cu+Cu$  и  $Au+Au$  столкновениях при близких значениях числа участников. Однако, в периферийных  $Cu+Au$  столкновениях существует намек на превышение выхода нейтральных пионов, в то время как в  $Au+Au$  столкновениях при близком значении числа участников наблюдается подавление выхода нейтральных пионов, и в  $Cu+Cu$  столкновениях их выход слабо отличается от выхода, измеренного в элементарных  $p+p$  столкновениях и нормированного на число парных неупругих нуклон-нуклонных столкновений. Степень подавления выходов нейтральных пионов в  $Cu+Au$  столкновениях находится в полном согласии со степенью подавления адронных струй в той же системе столкновения тяжелых ядер.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.1498.2017/4.6.

1. K. Adcox et al. (PHENIX Collaboration), Nucl.Phys. A757:184, 2005.
2. X.-N. Wang, X.-f. Guo, Nucl.Phys. A696:788, 2001.
3. K. Adcox et al. (PHENIX Collaboration), Nucl.Instrum.Meth. A499:469, 2003.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛІНА–ТЕПЛОВАЯ» МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С БИБЛИОТЕКАМИ ОЦЕНЕННЫХ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ ENDF/B-VII И JENDL-3.2**

*Береснева В.А., Корбут Т. Н., Корнеев С.В.*

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь, Минск, [vaberesneva93@gmail.ru](mailto:vaberesneva93@gmail.ru)

В работе представлены результаты экспериментов на подкритической сборке «Яліна-Тепловая» с топливом  $UO_2$  10% обогащения.

Для исследования нейтронно-физических характеристик сборки необходимо точно знать спектр нейтронов в заданном объеме. Существует множество методов измерения нейтронных спектров, каждый из которых имеет свои преимущества и недостатки. В данной работе рассматривается метод активационных детекторов, который является единственным способом измерения больших потоков нейтронов на фоне мощного  $\gamma$ -излучения. Наведенная нейтронами активность облученных детекторов использовалась в программном коде SAND-II для восстановления спектра нейтронов. Также нейтронно – физические характеристики подкритической сборки «Яліна-Тепловая» были получены численным методом с помощью кода MCNP4B и библиотек оцененных ядерных данных ENDF/B-VII и JENDL- 3.2.

Для получения спектра нейтронов в подкритической сборке «Яліна-Тепловая» был реализован модельный эксперимент. Работа осуществлялась с помощью программы расчета переноса излучения MCNP4B, реализующей метод Монте-Карло и программы восстановления спектра нейтронов SAND-II.

Рассчитанные в программе MCNP4B и восстановленные в программе SAND-II спектры нейтронов хорошо согласуются, что доказывает корректность работы программы SAND-II и целесообразность ее применения для восстановления спектров по экспериментальным данным скоростей реакций с использованием спектра, рассчитанного методом Монте-Карло, в качестве опорного.

**CAEN: ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЧАСТИЦ**

*Бредихин Иван*

ООО «ГаммаТек», Россия, Москва, [ivan@gammatech.pro](mailto:ivan@gammatech.pro)

Компания CAEN является одним из безусловных лидеров рынка цифровой электроники и является единственной компанией в мире, предоставляющей полный спектр высоковольтных и низковольтных источников питания, а также различных модулей сбора данных, соответствующих всем стандартам IEEE. Компания CAEN предоставляет современное оборудование для экспериментов и исследований в областях:

- Физики высоких энергий
- Астрофизики
- Нейтринной физики
- Исследований тёмной материи
- Ядерной физики
- Наук о материалах
- Медицинской физики
- Национальной безопасности
- Производства

Более 35 лет компания предоставляет учёным и инженерам наиболее продвинутое оборудование для всех видов детектирования радиации и всех типов детекторов (фотоумножители, полупроводниковые, газовые, жидкие, пластик).

В докладе будет представлено не только поколение современных источников питания, включая модели 2017 года, линейки многоканальных анализаторов, но и, что особенно важно – семейство Digitizer.

ЭВОЛЮЦИЯ ОДНОЧАСТИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЯДЕР С N=28 В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Беспалова О.В., Климочкина А.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
 “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”  
 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,  
 Москва, Российская Федерация

Как изменяется оболочечная структура ядер при приближении к границам нуклонной стабильности – один из наиболее интригующих вопросов современной ядерной физики. При приближении к границе нейтронной стабильности можно ожидать ослабления оболочечного эффекта [1], которое было получено в модели среднего поля с рядом вариантов взаимодействия Скирма. Экспериментальные энергии возбуждения  $E(2_1^+)$  изотонов с магическим числом  $N = 28$  (см. рисунок, часть а) существенно увеличиваются для дважды магических ядер  $^{48}\text{Ca}$  и  $^{56}\text{Ni}$ . Наименьшее значение  $E(2_1^+)$  среди изотонов с  $N = 28$  наблюдается у изотопа  $^{42}\text{Si}$  с  $Z = 14$ , находящегося вблизи границы нейтронной стабильности. Это происходит, несмотря на то, что в ядре  $^{42}\text{Si}$  замыкается протонная подоболочка  $Z = 14$  [2], благодаря чему форма этого ядра близка к сферической. В настоящей работе представлены результаты расчета эволюции нейтронных одночастичных энергий  $E_{nlj}^v$  в ядрах с  $N = 28$  и  $14 \leq Z \leq 32$ , выполненные в модели среднего поля с дисперсионным оптическим потенциалом (ДОП) [3]. Потенциал этой модели един для области отрицательных и положительных энергий нуклона, а сама модель успешно используется для расчета сечений рассеяний нуклонов ядрами и одночастичной структуры ядер. В нейтронных одночастичных спектрах ядер с  $N = 28$  ослабление оболочечного эффекта при приближении к границе нейтронной стабильности выражается в уменьшении расчетной частично-дырочной щели  $G$  между состояниями  $1f_{7/2}$  и  $2p_{3/2}$  с 3.9 МэВ в  $^{58}\text{Zn}$  до 1.5 МэВ в  $^{42}\text{Si}$  (см. рисунок, часть б). Такой результат согласуется с экспериментальными данными, полученными в реакциях одноклонного срыва и подхвата на нейтронно-избыточных изотопах Si [4], свидетельствующими о существенных возбуждениях через щель  $N = 28$  в  $^{36,38,40}\text{Si}$ .

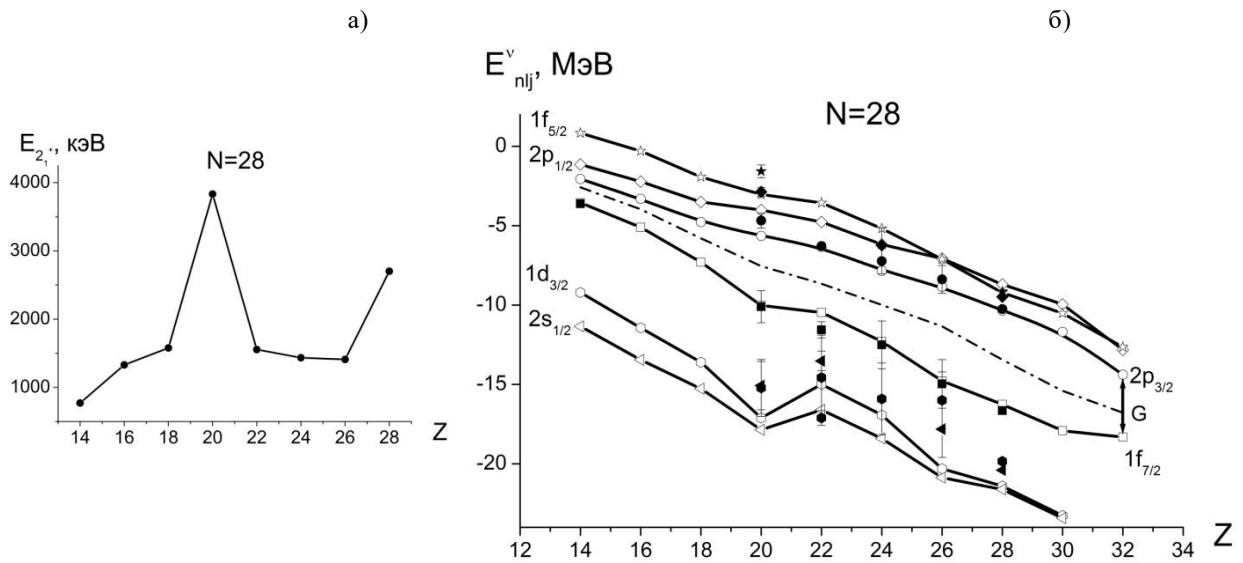


Рис. Энергии возбуждения  $E(2_1^+)$  (а) и эволюция нейтронных одночастичных энергий (б) изотонов с  $N = 28$ . Темные значки – экспериментальные данные. Светлые значки, соединенные сплошными линиями – расчет с ДОП, штрих-пунктирная линия – энергия Ферми.

Список литературы

1. J. Dobaczewski, W. Nazarewicz, T. R. Werner, et al., Phys. Rev. C 53, 2809 (1996).
2. Fridmann, I. Wiedenhöver, A. Gade et al. Nature 435, 922 (2005).
3. C. Mahaux, R. Sartor, Adv. Nucl. Phys. 20, 1 (1991).
4. S. R. Stroberg, A. Gade, J. A. Tostevin et al. Phys. Rev. C, 90, 034301 (2014)

## **ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАКТОРА ИБР-2**

*Булавин М.В., Куликов С.А. <sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, г. Дубна, Российская Федерация

Изменение электрических, физических и механических свойств различных детекторных материалов (Si, поли- и монокристаллы алмаза, GaAs, печатные платы из арлона и полиимида и т.д.) или сенсоров магнитного поля (3D зонды с холловскими сенсорами) при облучении нейтронами вызывает большой интерес в том случае, когда речь заходит о прогнозировании радиационной стойкости данных материалов во время длительной эксплуатации работающих на их основе приборов или непосредственно самих датчиков в полях сильного ионизирующего излучения.

На реакторе ИБР-2 в ЛНФ ОИЯИ эксперименты по прогнозированию радиационной стойкости различных материалов проводят на установке для радиационных исследований. Установка способна перемещаться к активной зоне реактора по рельсовому пути, через специальный канал в биологической защите, на минимальное расстояние 40 мм, что обеспечивает максимальное значение плотности потока быстрых нейтронов (более 1 МэВ) порядка  $2 \cdot 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>/с. При этом, максимальный флюенс быстрых нейтронов за один стандартный цикл работы реактора, который составляет 11 суток, доходит до  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. Такой флюенс нейтронов получают материалы детекторов ATLAS и CMS (LHC, CERN) за время своей работы на физический эксперимент, которое составляет примерно 10 лет. В течение этого времени, под воздействием сильных полей ионизирующих излучений электрические свойства детекторов ухудшаются (повышается ток утечки, изменяется эффективное сопротивление и т.д.) вплоть до выхода приборов из строя. Меняются механические свойства материалов и возрастает наведенная активность, что также заставляет уделять особое внимание и проблемам радиационной безопасности персонала при замене комплектующих материалов детекторов после окончания срока их эксплуатации.

Установка для радиационных исследований реактора ИБР-2 является незаменимым инструментом и при прогнозировании стабильности и безотказности работы сенсоров магнитного поля в термоядерном реакторе ITER. В токамаке точное измерение магнитных полей является необходимым условием для работы устройства и для обработки других диагностических сигналов. Радиационно-стойкие полупроводниковые сенсоры магнитного поля должны сохранять свою работоспособность в условиях высокого флюенса нейтронов ( $>10^{18}$  н/см<sup>2</sup>), который будет накоплен за время работы реактора ITER (~20 лет). В последнее время большой интерес представляет и исследование радиационной стойкости сенсоров для термоядерного реактора нового поколения – DEMO Scale, флюенс нейтронов в котором будет более, чем  $10^{19}$  н/см<sup>2</sup>.

Кроме задач по прогнозированию радиационной стойкости при облучении образцов флюенсами нейтронов более  $10^{19}$  н/см<sup>2</sup>, на установке для радиационных исследований проводятся и эксперименты по облучению образцов малыми флюенсами нейтронов от  $5 \cdot 10^{11}$  н/см<sup>2</sup>, например, для изучения изменения свойств GaAs-детекторов.

## **РЕАКЦИИ С ВЫЛЕТОМ НЕЙТРОНОВ НА W: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МК-МОДЕЛИРОВАНИЯ НА GEANT4**

*Бельшев С.С., Быхало Г.И., Стопани К.А., Ханкин В.В.*

Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д. В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ) им. М. В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация

Метод протонной и ионной пучковой терапии является одним из перспективных направлений в лечении онкологических заболеваний. Характерной особенностью пучков протонов и легких ионов является наличие пика Брэгга в функции удельных потерь энергии на разных глубинах в веществе. Это позволяет с высокой точностью локализовать процесс энерговыделения при проведении радиотерапевтического облучения. По сравнению с лучевой терапией с использованием пучков гамма-квантов, при взаимодействии протонов и ионов с энергией несколько сотен МэВ с веществом протекают значительно более сложные процессы, приводящие к генерации вторичных частиц (в частности, нейтронов) и эффектам перерасеяния. Неотъемлемой частью процедуры является компьютерное моделирование, которое применяется для планирования облучения и



дозиметрического мониторинга. В настоящее время для детального расчета транспорта частиц ионизирующего излучения в протонной терапии широко используются пакеты моделирования на основе метода Монте-Карло.

В представленной работе рассматриваются ядерные реакции, приводящие к выходу вторичных нейтронов на стабильных изотопах W. Многолепестковые коллиматоры (МЛК), изготавливаемые из вольфрама, используются в ядерной медицине для формирования пучка в непосредственной близости от пациента, и в процессе облучения это становится для него источником повышенного нейтронного фона. В данной работе с помощью метода наведенной активности на установке [1] получены экспериментальные выходы реакций с испусканием нейтронов, протекающих в вольфрамовой мишени под действием электронного пучка с энергией 55 МэВ. Эти результаты сравниваются с расчетами генерации вторичных нейтронов, выполненными с использованием пакета Монте-Карло GEANT4 [2], а также с выходами соответствующих фотоядерных реакций, вычисленными на основе доступных табличных и теоретических сечений. Полученные данные являются характеристикой точности расчета нейтронных доз на GEANT4 при планировании облучения в лучевой терапии.

1. K. A. Stopani et al., "Studying photonuclear reactions using the activation technique," Nucl. Instrum. Methods A 745, 133—137 (2014).
2. S. Agostinelli et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. A 506, 250 (2003).

### ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УЗКОНАПРАВЛЕННОГО ПУЧКА ЧАСТИЦ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ

Валиев Ф.Ф.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Санкт-Петербургский государственный университет»

Работы по изучению электромагнитных полей, проявляющиеся при взаимодействии ионизирующего излучения с веществом ведутся с начала прошлого века [1].

В работе [2] приведены результаты расчетов электромагнитных полей, формируемых в результате взаимодействия пучков частиц высокой энергии с жидкой средой. Для расчетов электромагнитных полей в них использована полуклассическая модель [3]. Учет взаимодействия первичных частиц со средой проводится на основе квантовой электродинамики. Для получения информации о частицах в фазовом пространстве используется пакет GEANT4. Расчет электромагнитных полей проводится по формулам классической электродинамики в рамках модели линейного тока в пространственно-временном представлении [4].

В данной работе рассчитаны электромагнитные поля, формируемые при взаимодействии электронов с газовой средой, в широком диапазоне энергий и давлений. Проведено сравнение рассчитанных угловых распределений изменений энергии с полученными в экспериментах распределениями [5].

Результаты расчетов, проводимых по данной методике, могут быть использованы при моделировании и конструировании детекторов для экспериментов в физике высоких энергий. *Работа выполнена при поддержке* гранта из средств СПбГУ 11.38.242.2015 и с использованием оборудования ресурсного центра «Вычислительный центр СПбГУ».

1. Черенков П.А. Видимое свечение чистых жидкостей под действием  $\square$ -радиации. // ДАН СССР, 1934, т. 2, № 8 С. 451-454.
2. Валиев Ф.Ф. Электромагнитные поля, формируемые в результате взаимодействия гамма квантов с энергией 1 МэВ с жидкой средой. // Тезисы докладов 66-ой Международной конференции по проблемам ядерной спектроскопии и структуре ядра. Саров, 2016. С. 175-176.
3. Valiev F.F. Electromagnetic fields formed upon the interaction of ionizing radiation with matter. // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. 2011. V. 75. № 7. P. 1001-1006.
4. Борисов. В.В. Электромагнитные поля неустановившихся токов. СПб.: С.-П.Университет, 1996. 208с.
5. Ружичка Ян. Теоретические и экспериментальные исследования эффекта Вавилова-Черенкова. // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физ.-мат. наук. Дубна 1993. 28 с.

**МЕХАНИЗМ ПОЧТИ СИНХРОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОТСЧЕТОВ НЕЗАВИСИМЫХ ПОТОКОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦ**

*Вахтель В.М., Работкин В.А., Акиндинова Е.В.*

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

E-mail: [vakhtel@phys.vsu.ru](mailto:vakhtel@phys.vsu.ru)

Методом параллельного измерения потоков альфа-частиц от одного источника излучения  $^{238}\text{Pu}$  тремя независимыми счетными каналами [1] получены последовательности моментов времени  $\{t_i\}$  регистрации альфа-частиц за время  $T$ . Способом компьютерного сканирования из  $\{t_i\}$  получены последовательности эмпирических распределений (ЭР) из последовательностей выборок объема  $n < 20$  чисел отсчетов  $K(\Delta t)$  частиц зарегистрированных за время  $\Delta t$ . Величины  $n$  и  $\Delta t$  - это параметры процедуры сканирования. Полное число ЭР составляло  $M = T / (n\Delta t) = 10^5 - 10^7$ , где  $n\Delta t = \theta$  - время формирования одной выборки. Тип ЭР в форме  $l_j$ -мерного случайного вектора  $(n_{0j}, \dots, n_{l_j})$ , где  $l_j$ - его случайная размерность и  $n = \sum_{i=0}^{l_j} n_{ij}$  фиксировался с помощью значения «ID» случайного полинома [1].

Статистический анализ кросскорреляционных функций и их Фурье преобразования для пар последовательностей  $\{t_i\}$ ,  $\{\tau_i = t_{i+1} - t_i\}$ ,  $\{K_i(\Delta t)\}$  из всех трех каналов не выявил линейной связи между ними на уровне значимости  $\alpha = 0,1$ .

Показано, что последовательности из идентичных по «ID» ЭР каждого типа  $j$  размером  $10 < M_j$  соответствуют простому потоку Пуассона и распределения случайных интервалов  $r_{ij}$  между последовательными ЭР одного типа соответствуют показательному распределению с параметром  $\bar{r}_j$  в единицах  $\theta$ . При одинаковых условиях измерений и сканирования для всех каналов формируются последовательности из идентичных типов ЭР с практически равными  $M_j$  и средними интервалами  $\bar{r}_j(p)$ , где  $p = 1, 2, 3$  - индекс канала.

Показано, что распределения интервалов  $r_j(p, q)$  между парами последовательных идентичных по типу ЭР из любых двух каналов  $0 < r_j(p, q) = i_j(p) - i_j(q)$ , где  $i_j(p)$  и  $i_j(q)$  последовательные порядковые положения ЭР в каналах  $p$  и  $q$ , согласуются с показательными распределениями с параметрами  $1/\bar{r}_j(p, q) = 1/\bar{r}_j(p) + \bar{r}_j(q)$ . Это соответствует модели управления процессом Пуассона  $p$  другим процессом Пуассона  $q$  подобно известной схеме «старт-стоп» измерения времени жизни состояний [3]. Фактически это эквивалентно суммированию двух идентичных процессов Пуассона.

Такая почти синхронность имеется для пар идентичных ЭР всех трех каналов с разбросом порядка  $\bar{r}_j(p, q)$ . Очевидно, чем больше  $M_j = M / \bar{r}_j$  и меньше  $\bar{r}_j$  в сравниваемых каналах  $p$  и  $q$ , тем лучше синхронность. Для маловероятных типов ЭР с большими значениями  $\bar{r}_j$  явление почти синхронности практически исчезает.

Поэтому механизм формирования явления почти синхронного появления почти однотипных ЭР обнаруженного в [2] является комбинаторно вероятностным для стационарных пуассоновских потоков и не требует для объяснения особых неизвестных воздействий на альфа-распад ядер.

1. E.V. Akindinova et.al. // Proceedings of the International Symposium on Exotic Nuclear, 2014 p. 651
2. С.Э. Шноль и др. // УФН, 1998, т.41, с.1029
3. А.В. Потапов и др. // Статистические методы измерений в экспериментальной физике. М. Атомиздат, 1980, - 264 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОТСЧЕТОВ ПОТОКОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦ

Акиндинова Е.В., Бабенко А.Г., Работкин В.А., Вахтель В.М., Харитонова Д.Д.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

E-mail: [vakhtel@phys.vsu.ru](mailto:vakhtel@phys.vsu.ru)

Статистическая обработка последовательностей моментов времени регистрации частиц потоков альфа-излучения  $^{238}\text{Pu}$ , полученных с помощью трехканального время-амплитудного спектрометра [1], позволила образовать последовательности выборок объемом  $n$  и соответствующих условных эмпирических распределений (ЭР) отсчетов  $K(\Delta t)$  частиц за интервалы  $\Delta t$  при времени формирования одного ЭР  $\Theta = n\Delta t$ , полном времени измерения  $T$  и числе всех ЭР  $T/\Theta = M \approx 10^5 - 10^7$ . Распределения  $K(\Delta t)$  и интервалов  $\tau = t_{i+1} - t_i$  согласуются с потоком Пуассона. Показано, что условные ЭР различных типов  $j: (n_{0j}, \dots, n_{lj})$  при  $n = \sum_{i=0}^{lj} n_{ij}$ , где  $n_{ij}(K_i(\Delta t))$  - числа одинаковых значений  $K_i$  в выборке,  $K_i = 0, 1, \dots, l_j$  также соответствуют распределению Пуассона с  $M = \sum_{j=1}^N M_j$ , где  $M_j$  - случайные биномиально распределенные числа ЭР типа  $j$ . Показано, что явление  $M_j$  - кратного повторения любого из всех  $N$  - возможных типов  $j$  ЭР при  $10 < M_j$  и  $n < 20$  обусловлено комбинаторно-вероятностным механизмом формирования последовательных условных ЭР. Эффект «ближней зоны», рассмотренный в работе [2] на основе воздействия на распад ядер внешних факторов, является в действительности качественной характеристикой экспоненциального распределения интервалов  $r_j$  между последовательными ЭР, порожденного пуассоновским характером образования временных рядов ЭР для каждого их типа  $j$  для всех трех каналов.

Анализ корреляционных, кросскорреляционных функций и их Фурье преобразований для временных рядов ЭР каждого типа всех каналов не выявил периодичностей  $2_{\text{мин}} < T_j < 72_{\text{час}}$  в оценках корреляций гармоник и корреляционных функций  $\text{cor}(t + mT_j, s + mT_j)$ ,  $m = 0, 1, \dots$ .

Показано, что явление почти периодичного повторения с периодами  $T_j$  ЭР различных типов  $j$  есть следствие не внешних периодических факторов, как предложено в [2], а степенной зависимости от  $r_j$  случайного числа различных, но только приблизительно похожих по форме ЭР в интервалах  $\bar{r}_j \pm \sigma(r_j)$  с ростом  $\bar{r}_j$ , и в частности, как при  $\bar{r}_j$  кратном  $T_j = 24$  часа, так и других периодах  $T_j$  из работы [2].

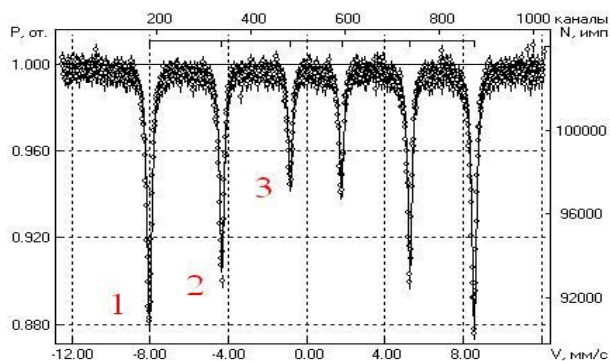
1. E.V.Akindinova, A.G. Babenko, V.A. Rabotkin, V.M. Vakhtel et al.//Proceedings of the International Sumposium on Exotic Nuclei, 2014, p.651
2. С.Е. Шноль, и др.// УФН, 1998, т. 168, №10, с.1129.

## ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ПЛОТНОСТИ ПОГЛОТИТЕЛЯ НА ШИРИНУ АППАРАТНЫХ ЛИНИЙ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА

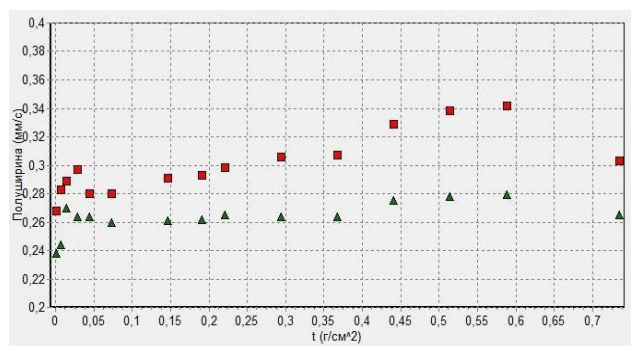
Вахтель В.М., Долгополов М.А., Сёмов Ю.Г.

ФГБОУ ВО «Воронежский госуниверситет», Воронеж, Россия  
E-mail: mdolg@rambler.ru

Ширина линий поглощения в мессбауэровской спектроскопии является источником информации о структуре исследуемого вещества, его изотопном и химическом составе, наличии примесей и др. При этом величина ширины весьма чувствительна к толщине исследуемого образца. Существуют различные теоретические аппроксимации ширины линий резонансного поглощения в зависимости от толщины исследуемого образца. В данной работе были проведены измерения ширины резонансных линий для образцов порошка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с естественной концентрацией  $^{57}\text{Fe}$  (2,11%), различные по своей массе: от 0,1 до 50 мг. Отметим, что в образце  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  линия поглощения 14,4 кэВ в  $^{57}\text{Fe}$  расщепляется под действием магнитного поля на секстет линий, соответствующих различным значениям магнитного квантового числа. Измерения ширины проводились для всех линий секстета на мессбауэровском спектрометре MS 1104Em производства ЮФУ НИИ Физики в режиме постоянных ускорений с неподвижным источником. Детектирование осуществлялось с помощью сцинтилляционного детектора на основе NaI. Активность источника  $^{57}\text{Co}$  в хромовой матрице на момент измерений равнялась 10,46 мК. Для получения ультрамалых масс  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , использовалась методика последовательного разбавления двух порошков ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и C). Сначала 10 мг порошка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  были разбавлены в 1 гр углерода, с последующей перемешкой в ультразвуковой ванне затем из полученной смеси была сделана навеска массой 10 мг и снят мессбауэровский спектр. Далее происходило повторное разбавление данной смеси с добавлением дополнительного углеродного порошка массой 1 гр, после чего повторно перемешивали смесь в ультразвуковой ванне. Контроль концентрации осуществлялся путем рентгенофлуоресцентного анализа. На рис.1 представлен мессбауэровский спектр  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  массой 50 мг с обозначением линий секстета. На рис.2 даны результаты измерений спектров образцов разной массы. Квадратиками отмечены ширины первой линии мессбауэровского секстета, треугольниками третьей линии секстета. Данные по ширине линий получены после обработки спектров в программе Univem. Обработка производилась линиями лоренцевой формы с использованием критерия правдоподобности  $\chi^2 \approx 1$ .



обозначены линии секстета.



мессбауэровского спектра от толщины образца.

Полученные аппаратные спектры слабо согласуются с теоретической аппроксимацией зависимости ширины линий поглощения от толщины образца. В [2] на основе анализа лоренцевой формы линий испускания и поглощения показано что в области тонких резонансных поглотителей (до  $4 \text{ мг/см}^2$ ), ширина линейно растет с увеличением толщины. Полученные с помощью аппаратных спектров ширины далеки от линейной зависимости.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПОГЛОТИТЕЛЯ $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Вахтель В.М., Долгополов М.А., Сёмов Ю.Г.

ФГБОУ ВО «Воронежский госуниверситет», Воронеж, Россия  
E-mail: mdolg@rambler.ru

Исследования, основанные на резонансном поглощении методом мессбауэровской спектроскопии [1], требуют оптимизации параметров поглотителя или, по крайней мере, понимания зависимости эффекта поглощения от толщины образца. В настоящей работе проводятся исследования поглощения резонансного излучения в зависимости от толщины образца. Для проведения серии мессбауэровских измерений были приготовлены образцы порошка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  с естественной концентрацией  $^{57}\text{Fe}$  (2,11%), различные по своей массе (0.1, 0.5, 1, 2, 3, 5, 10, 13, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 мг.). Измерения проводились на мессбауэровском спектрометре MS 1104Em в режиме постоянных ускорений (скоростная развёртка 12.45 мм/с бралась из известных значений для магнитного поля  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) во втором измерительном канале спектрометра с неподвижным источником. Детектирование осуществлялось с помощью сцинтилляционного детектора на основе NaI. Активность источника  $^{57}\text{Co}$  в хромовой матрице на момент измерений равнялась 10.46 мК. Образцы  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  были спрессованы, заклеены с двух сторон в скотч и помещены в специальные фторопластовые кюветы с окном диаметром 10 мм, площадь круга центрального отверстия под образец составила 0.78 см<sup>2</sup>. Мессбауэровские спектры накапливались по фиксированному времени измерений (2 и 24 часа), по фиксированному качеству спектра (100 и 50), по фиксированному количеству импульсов в пике (30000). Чтобы получить спектры с меньшей массой  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , использовалась методика последовательного смешивания двух порошков ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и C). Сначала 10 мг порошка  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  были разбавлены в 1 гр углерода, затем из полученной смеси была сделана навеска массой 10 мг и снят мессбауэровский спектр. Далее происходило повторное разбавление данной смеси с добавлением дополнительного углеродного порошка массой 1 гр, после чего снимался повторно мессбауэровский спектр.

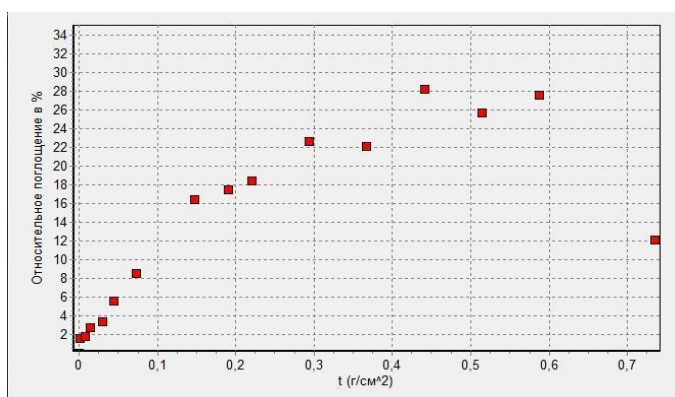


Рис. 1. Зависимость величины эффекта от толщины образца.

На рис.1 показана зависимость величины эффекта от параметров поглотителя  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Данные по величине эффекта получены после обработки спектров в программе Univem. Обработка производилась линиями лоренцевой формы с использованием критерия правдоподобности  $\chi^2 \approx 1$ . Отметим на графике область монотонного возрастания поглощения вплоть до толщины 0,3 мг/см<sup>2</sup>. Происхождение провалов в области  $0,3 < t < 0,4$  и  $0,4 < t < 0,5$  требует дополнительного экспериментального и теоретического анализа. Спад величины эффекта при больших толщинах является следствием самопоглощения резонансного излучения в веществе и эффектов ослабления излучения из-за взаимодействия с атомами [2].

### Литература.

- Иркаев С.М., Кузьмин Р.Н., Опаленко А.А./ Ядерный гамма резонанс.1970. Издательство МГУ. 208с.
- Русаков В.С. /Основы мессбауэровской спектроскопии. Учебное пособие. 2011. М.: Физический факультет МГУ. 292 с.

---

**QUANTUM TRANSPARENCY OF BARRIERS FOR COMPOSITE SYSTEMS AND IONS**

<sup>1</sup> Vinitzky S.I., <sup>1</sup> Gusev A.A., <sup>1</sup> Chuluunbaatar O., <sup>2</sup> Krassovitskiy P.M.

<sup>1</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

Mechanisms of quantum transparency of barriers in tunneling of a bound pair of particles or cluster due to metastable states of a composite system such as "bound pair or cluster + barrier" are studied. With decreasing the number of degrees of molecular freedom, for example, for a rigid molecule model, the problem has a great potential for analytical studies [1]. The complicated problem of this class: the analysis of the mechanism of quantum transparency of a system consisting of  $N$  identical particles has interest for both nuclear and molecular physics, and for physics of semiconductor composite nanostructures [2]. The results of the work were applied to solve the problem of quantum tunneling of clusters consisting of several identical particles on a straight line with paired oscillator interactions through narrow and high Gaussian repulsive barriers commensurate with the mean size of the incoming cluster. Some examples of calculations for various values of parameters of a Gaussian repulsive barrier, as well as a long-range repulsive barrier, including the problem of channeling a pair of ions [3] are considered. The analysis of the effects of resonant quantum transparency of barriers or wells for a small-particle cluster is made, which are caused by the presence of the barrier metastable states imbedding in a continuous spectrum localized in a vicinity of the potential energy minima of the composite system, is presented [4,5]. Scattering models in a three-particle system in a collinear configuration are considered [6]. To study this class of problems, the development and improvement of existing analytical and numerical methods, and computer programs are required [7]. Further research is focused on the analysis of resonant phenomena in the scattering problem of several particles, the mechanisms of quantum transparency of potential barriers in the processes of quantum diffusion of molecules, quantum diffraction of composite objects, channeling and tunneling of clusters and ions in crystals.

The authors thank Prof. F.M. Penkov for collaboration. The work was supported partially by grant MES RK 0333/GF4 and grant of Plenipotentiary Representative of the Government of the Republic of Kazakhstan in the framework of collaboration program JINR-RK N 337 2017.

1. P. M. Krassovitskiy and F. M. Pen'kov, Contribution of resonance tunneling of molecule to physical observables *J. Phys. B* **47**, 225210 (2014).
2. A.A. Gusev, S.I. Vinitzky, O. Chuluunbaatar, L.L. Hai, V.L. Derbov and P.M. Krassovitskiy, Resonant tunneling of the few bound particles through repulsive barriers, *Phys. Atom. Nucl.* **77**, 389 (2014).
3. O. Chuluunbaatar, A.A. Gusev, V.L. Derbov, P.M. Krassovitskiy and S.I. Vinitzky, Channeling problem for charged particles produced by confining environment, *Phys. Atom. Nucl.* **72**, 768 (2009).
4. A. A. Gusev, S. I. Vinitzky, O. Chuluunbaatar, V. L. Derbov, A. Gozdz, P. M. Krassovitskiy, Metastable states of a composite system tunneling through repulsive barriers, *Theor. Math. Phys.* **186**, 21 (2016).
5. A.A. Gusev, S.I. Vinitzky, O. Chuluunbaatar, V.L. Derbov, A. Gozdz, P.M. Krassovitskiy, Transmission of clusters consisting of a few identical particles through barriers and wells, *Acta Phys. Pol. B Proc. Suppl.* **10**, 269 (2017).
6. S.I. Vinitzky, A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, V.L. Derbov, P.M. Krassovitskiy, L.L. Hai, Three-body scattering model: diatomic homonuclear molecule and atom in collinear configuration, *Proc. SPIE* **10337**, 103370J (2017).
7. A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, S.I. Vinitzky and A.G. Abrashkevich, KANTBP 3.0: New version of a program for computing energy levels, reflection and transmission matrices, and corresponding wave functions in the coupled-channel adiabatic approach, *Comput. Phys. Commun.* **185**, 3341 (2014).

**АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ**

*Бекк В.В., Волков Б.А., Глуценко Н.В., Горлачев И.Д., Желтов А.А., Киреев А.В., Лигуз Н.С., Платов А.В.*

Институт ядерной физики, 050032 Алматы, Казахстан

Были проведены работы по автоматизации системы управления и контроля электростатического ионного ускорителя УКИ-2-1. В рамках выполненных работ, сигнальные цепи всех элементов ионных трактов ускорителя переведены на компьютерное управление. Проведенные мероприятия позволили на порядок повысить точность установки, долговременную и кратковременную стабильность параметров узлов ускорителя. В несколько раз сократилось время настройки и перестройки режимов работы ускорителя. Повысившиеся требования к точности работы узлов потребовали проведения модернизации всех исполнительных элементов ускорителя, как в управляющей, так и в измерительной части.

Цепи управления ускорителем объединены в единую программу, что позволило реализовать процедуру настройки ускорителя по конечным параметрам пучка. Были созданы процедуры калибровки параметров узлов, позволяющие производить их автоматическую настройку по требуемым характеристикам ионного пучка в мишенных камерах. При этом сохранена гибкость настройки ионного пучка с использованием различных наборов калибровок, что дает возможность работать с учетом требований конкретных потребителей ионных пучков. Использование различных наборов калибровок обеспечивает повторяемость настроек при необходимости воспроизведения ранее использовавшихся режимов работы ускорителя.

Была разработана и внедрена процедура калибровки энергии ускорителя по резонансным ядерным реакциям. Использование для калибровки энергии аппаратно-независимой процедуры позволяет гарантировать требуемые для проводимых работ значения энергий ионов. В калибровках используется реакция  $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{Si}$ , обладающая целым рядом преимуществ перед другими реакциями. Наличие 65 резонансов в диапазоне энергий 0,22 – 2,0 мэВ, позволяет использовать одну мишень для калибровки всего диапазона энергий. Большинство резонансов имеют ширину менее 200 эВ, при высокой надежности используемых данных, расхождения в измеренных энергиях резонансов, по разным литературным источникам, не более 50 эВ.

Разработан ряд процедур, снижающих аварийность работ и позволяющих блокировать измерения при отклонениях характеристик ионного пучка выше допустимой нормы.

Работа выполнена в рамках грантового проекта 1458/ГФ4 МОН РК.

**MANIFESTATION OF SUPERASYMMETRIC FISSION MODES  $^{254}\text{Fm}$  AND  $^{260}\text{No}$  IN THE REACTIONS  $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$ ,  $^{238}\text{U}$**

*Gikal K.B.<sup>1\*</sup>, Kozulin E. M.<sup>1</sup>, Itkis I.M.<sup>1</sup>, Itkis M. G.<sup>1</sup>, Knyazheva G.N.<sup>1</sup>, Novikov K.V.<sup>1</sup>, Pan A.N.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics of Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan,Almaty, Republic of Kazakhstan

To investigate the role of closed proton and neutron shells in fission of  $^{254}\text{Fm}$  and  $^{260}\text{No}$  nuclei at an excitation energy of 40-45 MeV the mass and energy distributions of fission fragments in the reactions  $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$  and  $^{22}\text{Ne} + ^{238}\text{U}$  have been measured. The experiments have been carried out at the U400 cyclotron of the FLNR JINR (Dubna, Russia) using the double-arm time-of-flight spectrometer CORSET. For the compound nucleus  $^{260}\text{No}^*$  formed in the reaction  $^{22}\text{Ne} + ^{238}\text{U}$  an increase of fragment yields in the supereasyymmetric mass region 52/208 u, that corresponds to the formation of fissioning pair of two double magic nuclei:  $^{48}\text{Ca}$  and  $^{208}\text{Pb}$ , were observed. Whereas for the compound nucleus  $^{254}\text{Fm}^*$  formed in the reaction  $^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}$  at the initial excitation energy of 45 MeV the superasymmetric fission at the level of mass yield of  $10^{-4}$  was not found. Moreover, for  $^{260}\text{No}^*$  compound nucleus at the initial excitation energy of 41 MeV the bimodal fission was observed. In this case at the symmetric mass split the both fission fragments are close to the double magic  $^{132}\text{Sn}$ .

**HOW SMOOTH IS THE ENERGY SURFACE OF EVEN-EVEN NUCLEI?**

*Mikhajlov V.M., Vlasnikov A.K., Zippa A.I.*

St.Petersburg State University, St.Petersburg, Russia

To answer this question the energy surface of even-even (e.-e.) nuclei is represented as the surface of the sixth order in  $N, Z$  coordinates:

$$E(N+s, Z+t) = E(N, Z) + \sum_{i+k \leq 6} \frac{s^i t^k}{i!k!} d_{inkp}(N, Z) \quad (1)$$

In Eq. (1)  $N, Z$  are even numbers and  $s, t = 0, \pm 2, \pm 4, \pm 6$ , i.e. in Eq. (1) there are 27 parameters  $d_{inkp}$ . For very large  $N$  and  $Z$   $d_{inkp} = \partial^{i+k} / (\partial N)^i (\partial Z)^k E(N, Z)$ . The energy surface, Eq. (1), being perfectly smooth,  $d_{inkp}$  should not depend on a set of  $(N+s, Z+t)$  nuclei which is used for calculations of these parameters. To verify it we have chosen two such sets. The first one (I) includes energies of e.-e. nuclei with  $s=0$  ( $N = \text{const}$ ),  $|t| \leq 6$  and  $|s| \leq 6, t=0$  ( $Z = \text{const}$ ). The second set (II) includes energies of e.-e. nuclei with  $t=-s$  ( $A = N+Z = \text{const}$ ) and  $t=s$  ( $A \pm 4, A \pm 8, A \pm 12$ ). Besides, both of them involve a common set with  $|t| \neq |s|, 2 \leq |s|, |t| \leq 6$ . Calculations of  $d_{inkp}$  have been implemented for two semimagic nuclei with  $Z=50$  and  $N=82$  and for deformed one ( $A=170$ ). Some values of  $d_{inkp}$  (in keV) are given in Table (derivatives of the von Weizsäcker energy are denoted as  $(d_{inkp})_W$ ). These data and all other parameters show that the energy surface of e.-e. nuclei is not quite smooth since  $d_{inkp}$  calculated with sets (I) and (II) can appreciably differ. The difference between values for  $i+k \leq 2$  obtained by using sets (I) and (II) can extend from  $\sim 20$  up to  $\sim 400$  keV. For  $d_{inkp}$  of the highest orders ( $i+k \geq 3$ ) the differences are on average smaller though in some cases comparable with the amount of parameters. The fourth and sixth order parameters which could make more precise a new formula for calculations of the pairing energy suggested in [1] are practically so small that do not exert influence upon the exactness of this new formula.

$N, Z$	68; 50		82; 58		100; 70	
set	I	II	I	II	I	II
$d_{1n} + d_{1p}$	-15377	15412	14005	14068	13083	12969
$(d_{1n} + d_{1p})_W$	15227		14534		13112	
$d_{2n} + d_{2p}$	1665	1938	1321	1749	720	743
$(d_{2n} + d_{2p})_W$	1038		911		779	

1. A.K. Vlasnikov, A.I. Zippa, V.M. Mikhajlov // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. P. 905.

**NEW APPROACHES TO DETERMINATION OF THE HEAVY ION'S MASS IN MEASUREMENTS WITH PIN DIODES**

*Kamanin D.V.<sup>1</sup>, Pyatkov Yu.V.<sup>2,1</sup>, Strekalovsky A.O.<sup>1</sup>, Zhuchko V.E.<sup>1</sup>, Goryainova Z.I.<sup>1</sup>, Naumov P.Yu.<sup>2</sup>, Alexandrov A.A.<sup>1</sup>, Alexandrova I.A.<sup>1</sup>, Mkaza N.<sup>3</sup>, Kuznetsova E.A.<sup>1</sup>, Malaza V.<sup>3</sup>, Strekalovsky O.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia;

<sup>2</sup> National Nuclear Research University "MEPHI", Moscow, Russia;

<sup>3</sup> University of Stellenbosch, Faculty of Military Science, Military Academy, South Africa.

The use of semiconductor detectors in spectrometry of heavy ions has several methodological obstacles that are necessary to address. First of them is the pulse-height defect (PHD) that manifest itself in a form of seemingly less energies than particles actually have. The second is the plasma delay effect (PD) that prevents precise measurements (TOF technique) due to creation of plasma in detectors, which obstructs the charge collection. In this presentation, we discuss new approaches to the HI mass reconstruction using Si PIN diodes for measuring both energy and time-of-flight.



**STABILITY CONDITION THROUGH NUCLEAR MASSES DIFFERENCES**

*Mikhajlov V.M., Vlasnikov A.K., Zippa A.I.*

St.Petersburg State University, St.Petersburg, Russia

The standard approach to determination of  $N$  and  $Z$  for the most stable nucleus at a fixed  $A$  consists in minimizing the mass  $M(N, Z)$  with respect to  $N$  [1]:

$$dM(N, Z = A - N)/dN = (\partial/\partial N - \partial/\partial Z)M(N, Z) = 0,$$

where  $M(N, Z)$  is supposed to be equal to the total free nucleon mass minus the binding energy  $B(N, Z)$  given by the von Weizsäcker formula in which  $B(N, Z)$  is an explicit function of  $N, Z$ . In nuclei nucleon numbers change discretely, however, if one supposes that masses of even-even nuclei  $M(N + s, Z + t)$  can be reproduced by series similar to the Taylor one in powers of  $s$  and  $t$  [2] then parameters of such expansion  $d_{in kp}$  are almost equal to derivatives of  $M(N, Z)$  with respect to  $N$  and  $Z$ :  $d_{in kp} \rightarrow \partial^{i+k} M(N, Z)/\partial^i N \partial^k Z$ . Therefore the parameter entering the stability condition  $(d_{1n} - d_{1p}) \approx (\partial/\partial N - \partial/\partial Z)M(N, Z)$  can be obtained out of solutions to a system of equations for the reduced Taylor series ( $i+k \leq 6$ ) at  $|s|, |t| = 0; 2; 4; 6$ . Calculations of  $(d_{1n} - d_{1p})$  have given a surprising result: for many even-even stable nuclei  $(d_{1n} - d_{1p}) \neq 0$  though  $|(d_{1n} - d_{1p})|$  is minimal for such nuclei  $(N_{st}, Z_{st})$  in comparison with adjacent unstable ones with the same  $A$ , and  $(d_{1n} - d_{1p})$  attains to zero at  $N = N_{st} + s_0$ , where  $|s_0| < 1$ . As an example in Table values of  $(d_{1n} - d_{1p})$  are given for  $A = 118$  ( $N_{st} = 68, Z_{st} = 50$ ),  $A = 140$  ( $N_{st} = 82, Z_{st} = 58$ ) and  $A = 170$  ( $N_{st} = 100, Z_{st} = 70$ ).

Values of  $(d_{1n} - d_{1p})$  for  $A = 118, 140$  and  $170$ .

	$A = 118; s_0 = -0.4$			$A = 140; s_0 = -0.4$			$A = 170; s_0 = +0.4$		
$N$	66	68	70	80	82	84	98	100	102
$d_{1n} - d_{1p}, \text{ keV}$	-3273	744	4691	-3131	712	4383	-2864	-556	2285

- 1 A. Bohr, B. Mottelson. Nuclear Structure. V. 1. N.Y., Amsterdam: W.A. Benjamin, 1969.
- 2 A.K. Vlasnikov, A.I. Zippa, V.M. Mikhajlov // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 80. P. 905.

**ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ ИСТОЧНИКОМ КОБАЛЬТ-57**

*Бурмистров Ю.М., Зуев С.В., Лифанов М.Н., Скоркин В.М.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

С помощью низкофонового гамма-спектрометра [1], включающего детектор из особоочистого германия, размещенный в низкофоновой камере с «пассивной» защитой, измерены спектры характеристического рентгеновского излучения от образцов композиционных материалов, облучаемых гамма-квантами с энергией 122 кэВ от источника кобальт-57 активностью  $10^5$  Бк. Для сравнения были измерены также спектры характеристического излучения от тонких образцов вольфрама, висмута и свинца от источника кобальт-57. По результатам рентгеноспектрального анализа характеристического излучения можно определить элементный и количественный состав композиционных материалов. По коэффициенту ослабления материалами монохроматического рентгеновского излучения, в том числе с энергией 122 кэВ, определяются радиационно-защитные свойства материалов. Точность определяемых значений зависит от условий измерения и достигает 2% при времени облучения и измерения около 1 минуты.

1. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Firsov V.I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V.4. P. 879.

### МАССЫ АТОМНЫХ ЯДЕР И СПАРИВАНИЕ ПРОТОНОВ В ИЗОТОНАХ $N = 20, 28, 50, 82$

<sup>2a</sup> Владимирова Е.В., <sup>1,2</sup> Ишханов Б.С., <sup>2</sup> Третьякова Т.Ю.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет,

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
Научно-исследовательский институт имени Д.С. Скобельцына (НИИЯФ МГУ),  
Москва, Россия

E-mail: <sup>a</sup> [vladimirova.elena@physics.msu.ru](mailto:vladimirova.elena@physics.msu.ru)

Для оценки эффекта спаривания нуклонов в атомных ядрах можно использовать характеристики, основанные на разностях масс ядер. Постоянно растущая точность измерения масс атомных ядер, а также диапазона исследуемых изотопов делает использование такого метода особенно удобным.

Рассмотрены различные варианты оценки величины четно-нечетного расщепления массовой поверхности атомных ядер. На основе экспериментальных значений масс ядер-изотонов с  $N = 20, 28, 50$  и  $82$  прослежена зависимость четно-нечетного эффекта от числа протонов и показана взаимосвязь данной характеристики со свойствами внешних протонных подоболочек. Исходя из зависимости энергии отделения протона  $S_p(Z)$  в цепочке изотопов, наиболее очевидной оценкой эффекта спаривания протонов является разность между энергией отделения протона для данного четно-четного ядра и энергией отделения протона от соседнего нечетного ядра:  $\Delta_{pp}^-(Z) = S_p(Z) - S_p(Z-1)$  или  $\Delta_{pp}^+(Z) = S_p(Z) - S_p(Z+1)$ . Усредненное значение  $\Delta_{pp}^{(4)}(Z)$  соответствует удвоенному значению четно-нечетного эффекта [1]:

$$\Delta_{pp}^{(4)}(Z) = (\Delta_{pp}^-(Z) + \Delta_{pp}^+(Z))/2 = 2 \Delta_{pp}^{(4)p}(Z).$$

Анализ цепочек изотопов показывает, что в случае ядер, в которых количество протонов соответствует частично заполненной оболочке, приведенные характеристики отражают эффект спаривания. Выраженные скачки в данных характеристиках при  $Z = 20, 28, 50$  соответствуют изменениям одночастичных энергий протонов при замыкании полностью заполненной оболочки. Как было показано ранее на примере спаривания нейтронов [2], наиболее чувствительной к многочастичным эффектам характеристикой является разность

$$\Delta_{pp}^-(Z) - \Delta_{pp}^+(Z) = S_p(Z+1) - S_p(Z-1).$$

Анализ систематик разностных характеристик для цепочек изотопов и изотопов, проведенный на основе экспериментальных масс атомных ядер в сравнении с результатами микроскопических и макроскопических моделей, позволяет получить дополнительную информацию не только об эффекте спаривания, но и также об эволюции оболочечной структуры атомных ядер.

[1] A. Bohr, B.R. Mottelson // Nuclear Structure. 1969. Vol. 1. N.Y.

[2] B.S. Ishkhanov et al. arXiv: 1705.08329 (To be published in Chinese Physics C).

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ АМПЛИТУДЫ ДЛЯ СМЕШАННЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ОТДЕЛЯЕМЫХ КЛАСТЕРОВ В ОБОЛОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ

Галанина Л.И., Зеленская Н.С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

Спектроскопические амплитуды  $\Theta_{jls}^{B \rightarrow c+A}$  определяют вероятность распада ядра  $B$  на виртуальный кластер  $c$  со спином  $s$  и ядро  $A$  с орбитальным моментом относительного движения  $l$ . Полный переданный момент  $\mathbf{j} = \mathbf{l} + \mathbf{s}$  связан с моментами ядер  $A$  и  $B$ :  $\mathbf{J}_B = \mathbf{J}_A + \mathbf{j}$ . Расчет спектроскопических амплитуд проведен в рамках многочастичной модели оболочек с учетом остаточных парных взаимодействий между нуклонами [1]. Учтем, что легкие ядра в основном и низших возбужденных состояниях имеют заполненную  $|1s^4\rangle$  оболочку, и в дальнейших расчетах будем ее опускать.

Спектроскопическая амплитуда  $\Theta_{jls}^{B \rightarrow c+A}$  отделения  $c$  нуклонов  $|(1p)^{c-k}(1d)^k\rangle$  от ядра  $B$   $|(1p)^{B-(4+k)}(1d)^k\rangle$  со смешанными конфигурациями для случая  $c \leq \alpha$  определяется следующим образом [2]:

$$\Theta_{jls}^{B \rightarrow c+A} = \binom{B-4}{c}^{1/2} \cdot \left(\frac{B}{A}\right)^{N/2} \sum_{L_A L_B S_A S_B} \tilde{\Theta}_{L_A L_B l S_A S_B s}^{B \rightarrow c+A} (-1)^{s+J_A-J_B+l} \times \\ \times \sqrt{(2j+1)(2J_A+1)(2L_B+1)(2S_B+1)} \cdot \begin{Bmatrix} L_A & S_A & J_A \\ l & s & j \\ L_B & S_B & J_B \end{Bmatrix} \cdot \langle T_A \tau_A T_c \tau_c | T_B \tau_B \rangle, \quad (1)$$

где  $N$  – главное квантовое число относительного движения отделяемого кластера  $c$  и ядра  $A$ , коэффициент

$$\binom{B-4}{c}^{1/2} \text{ развязывает антисимметризацию нуклонов ядра в канале } B \rightarrow A + c, \left(\frac{B}{A}\right)^{N/2} \text{ – множитель отдачи,} \\ \begin{Bmatrix} L_A & S_A & J_A \\ l & s & j \\ L_B & S_B & J_B \end{Bmatrix} \text{ – } 9j\text{-символ, зависящий от орбитальных моментов } L_A, L_B \text{ и спинов } S_A, S_B \text{ ядер } A \text{ и } B; T_i (\tau_i) \text{ –}$$

изотопические спины (их проекции) ядер  $A, B$  и кластера  $c$ ;  $\tilde{\Theta}_{L_A L_B l S_A S_B s}^{B \rightarrow c+A}$  – приведенная ширина кластера  $c$  в  $LS$ -связи для смешанных конфигураций

$$\tilde{\Theta}_{L_A L_B l S_A S_B s}^{B \rightarrow c+A} = \sum_{[f']L'S'T'} a_{[f_B]L_B S_B T_B} a_{[f_A]L_A S_A T_A} \cdot a_{[f']L'S'T'} \cdot K_c \{(1p)^{c-k}(1d)^k : Nl\} \cdot \text{GK}_{L'S'T'}. \quad (2)$$

В (2)  $a_{L_i S_i T_i}$  – коэффициенты разложения волновых функций ядер  $A, B$  и  $B-k$  (с орбитальным моментом  $L'$ , спином  $S'$ , изоспином  $T'$ ) по базису  $LS$ -связи,  $K_c \{(1p)^{c-k}(1d)^k : Nl\}$  – обобщенный коэффициент Тальми [1],  $\text{GK}_{L'S'T'}$  – генеалогический коэффициент (ГК) отделения  $c$  нуклонов от ядра  $B$  со смешанными конфигурациями [3]

$$\text{GK}_{L'S'T'} = \left\langle p^{B-(4+k)} [f']L'S'T', (1d)^k [f_2]L_2 S_2 T_2 : [f_B]L_B S_B T_B \right\rangle \times \\ \times \left\langle p^{A-4} [f_A]L_A S_A T_A, (p^{c-k} [f_1]L_1 S_1 T_1 \otimes (1d)^k [f_2]L_2 S_2 T_2) : [c]l s T_c \right\rangle. \quad (3)$$

Согласно [3], ГК (3) определяется произведением орбитальных ГК отделения нуклонов из каждой оболочки,  $9j$ -символом, связывающим орбитальные моменты всех подсистем в (3), и  $9j$ -символами группы  $SU(4)$ . Последние представляют собой спин-изоспиновые ГК, умноженные на  $9j$ -символы от соответствующих спинов и изоспинов. Конкретные выражения для вычисления ГК (3) приведены в [1].

1. В. Г. Неудачин, Ю.Ф. Смирнов, *Нуклонные ассоциации в легких ядрах*. (Наука, Москва, 1969).
2. Н.С. Зеленская, И.Б. Теплов, *Обменные процессы в ядерных реакциях*. (Изд-во МГУ, Москва, 1985).
3. L. Mailing, V. I. Kukulin, and Yu. F. Smirnov, *Nucl. Phys. A* **103**, 681 (1967).

## ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ КОД OPTMODEL-R С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЯНИЯ

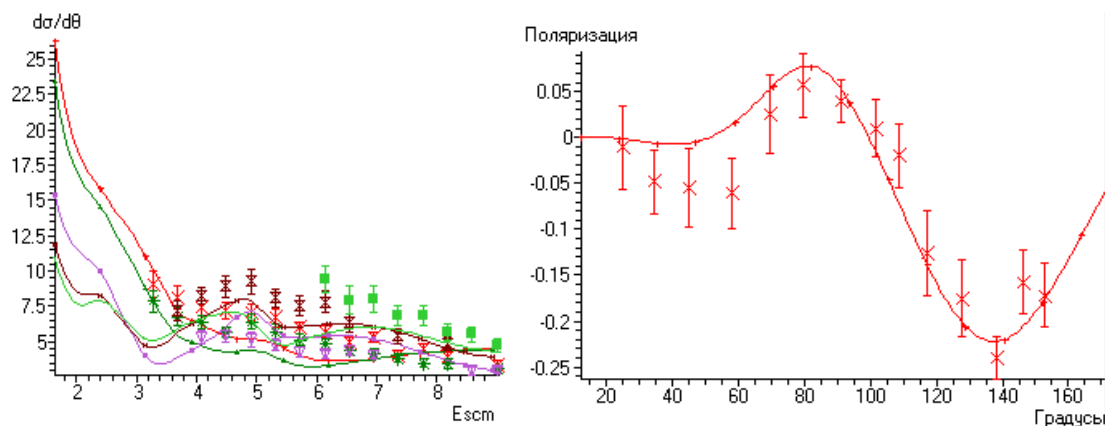
Генералов Л.Н., Жеребцов В.А., Таова С.М.

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

В экспериментальных данных по упругому рассеянию частиц на легчайших и легких ядрах часто присутствует вклад реакций (обменных процессов и резонансного рассеяния), который особенно заметен под задними углами. В нашем сообщении представлен оптико-модельный код OptModel-R, предназначенный для решения задач, связанных с упругим рассеянием  $n$ ,  $p$ ,  $d$ ,  $t$ ,  ${}^3\text{He}$ ,  ${}^6\text{Li}$  на сферических ядрах (или ядрах близких к ним), в котором учитывается возможная резонансная составляющая упругого рассеяния. Она рассматривается в виде брейт-вигнеровских изолированных резонансов. При определении квантовых чисел резонанса учитываются спины и четности ядра-мишени и рассеиваемой частицы. Код разработан на основе высокоточного оптико-модельного кода OptModel [1] с потенциалом Вудса-Саксона в форме, принятой в работе [2]. Вопрос резонансного рассеяния затрагивался нами в публикации [1].

С помощью кода OptModel-R проведен поиск энергетической зависимости параметров оптического потенциала для системы  ${}^9\text{Be}+d$ .

На рисунке представлен процесс описания энергетической зависимости дифференциального сечения упругого рассеяния дейтронов для углов 107.9, 112.7, 135.5, 156.4, 168.3 и поляризация для энергии дейтронов 2.8 МэВ.



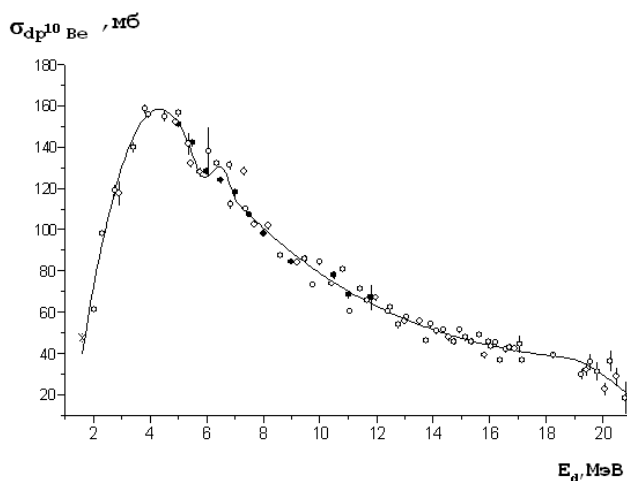
1. Generalov L.N., Zherebtsov V.A., Taova S.M. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2016. Т. 80.№5. С.328.
2. Koning A.J., Delaroche J.P. // Nucl. Phys. A 2003.V. 713. P. 231

## ОЦЕНКА СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР $^{10}\text{Be}$ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕЙТРОНОВ С $^9\text{Be}$

Генералов Л.Н., Селянкина С.М., Таова С.М., Жеребцов В.А.

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Проведение работ обусловлено необходимостью уточнения оценённых значений сечений  $^9\text{Be}(d,x)^{10}\text{Be}$ , представленных в международной библиотеке оценённых данных TENDL (версия 2014 г.) [1]. Оценка выполнена на основании экспериментальных данных [2], [3], которые формально различаются в 1.8 раза, а на самом деле, хорошо согласуются. В работе [2], относящейся к 1955 г., сечения измерены радиохимическим методом по регистрации  $\beta$ -частиц распада ядер  $^{10}\text{Be}$ . При обработке результатов измерений авторы [2] использовали значение периода полураспада  $^{10}\text{Be}$ , равное  $2.7 \cdot 10^6$  лет, а его современное значение -  $1.51 \cdot 10^6$  лет [4]. Использование современного значения периода полураспада приводит к уменьшению значений сечений [2] в 1.8 раза. В [3] сечения образования  $^{10}\text{Be}$  получены суммированием измеренных парциальных сечений  $^9\text{Be}(d,p_i)^{10}\text{Be}^*(E_i)$ : суммирование ведётся до первого ядерно-нестабильного уровня 7.371 МэВ [5]. Такие же данные имеются для энергии дейтронов 11.8 МэВ [6]. Настоящая оценка выполнена с использованием математического аппарата электронной библиотеки SaVa [7]. На рисунке представлены полные сечения образования радиоактивных ядер  $^{10}\text{Be}$  (темные кружки – данные работы [3], квадраты – данные [6], светлые кружки – перенормированные данные [2], крестик – сумма сечений  $^9\text{Be}(d,p_0)$  и  $^9\text{Be}(d,p_1)$  [8], сплошная линия – сплайн-описание).



### Литература

1. Koning A.J., et al. // <ftp://ftp.nrg.eu/pub/www/talys/tendl2014/tendl2014.html>.
2. Heft R.E., Libby W.F. // Phys.Rev. 1955. V. 100. P.799.
3. Генералов Л.Н., Абрамович С.Н., Звенигородский А.Г. // Изв.РАН. Сер.Физ.2000. Т.64. С.440.
4. Audi G. et al. // Nucl. Phys. 2003. A729. P.28.
5. Ajzenberg-Selove F. // Nucl. Phys. 1979. A320. P.144.
6. Schmidt-Rohr U., Stock R., Turek P. // Nucl. Phys. 1964. V.53. P. 77.
7. Zvenigorodskij A.G., Zherebtsov V.A., Lazarev L.M. et al The Library of Evaluated and Experimental Data on Charged Particles for Fusion Application // Report IAEA-NDS-191, Vienna, 1999.
8. Zwiegliniski B. et al. //Nucl. Phys. A. 1975. V. 250. P.93.

**ОПИСАНИЕ КАНАЛОВ РАССЕЙАНИЯ  $\alpha$ -ЧАСТИЦЫ НА ДВУХКЛАСТЕРНЫХ ЯДРАХ В РАМКАХ ТРЁХЧАСТИЧНОЙ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ САМОСОГЛАСОВАННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА**

<sup>1</sup> Голованова Н.Ф., <sup>2</sup> Голованов А.А.

<sup>1</sup> Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Москва, Россия, E-mail: [nina4110@yandex.ru](mailto:nina4110@yandex.ru)

<sup>2</sup> Независимый исследователь Москва, Россия, E-mail: [699anton@gmail.com](mailto:699anton@gmail.com)

В методе самосогласованного решения [1, 2] задачи рассеяния частицы на связанной двухчастичной системе находится решение уравнения Шредингера, записанного в координатах Якоби

$$\left[ -\frac{\hbar}{2M} D_{\vec{R}}^2 + V(\vec{R}, \vec{r}) \right] e^{if(\vec{R}, \vec{r})} F_0(\vec{r}) = (E - E_0) e^{if(\vec{R}, \vec{r})} F_0(\vec{r}), \quad (1)$$

где  $F_0(\vec{r})$  есть волновая функция внутреннего состояния двухчастичной системы при энергии  $E_0$ . Функция  $f(\vec{R}, \vec{r})$  действительна и такова, что сохраняется нормировка волновой функции. Комплексный потенциал  $V(\vec{R}, \vec{r}) = v(\vec{R}, \vec{r}) + iu(\vec{R}, \vec{r})$  содержит как информацию о двухчастичном взаимодействии, так и о состоянии связанной системы и, в принципе, может зависеть от энергии. В уравнении (1)  $\vec{r}$  и  $\vec{R}$  - координаты Якоби относительного движения частиц в паре, и движения частицы 1 относительно центра масс системы ( $m_2, m_3$ )  $M$  - соответствующая координате  $\vec{R}$  приведённая масса а  $\mu$  - приведённая масса частиц связанной системы. В асимптотическом случае функцию  $f(\vec{R}, \vec{r})$  можно разложить в ряд, относительно координат вектора  $\vec{r}(x, y, z)$ . Коэффициенты этого ряда находятся из уравнения (1). Сходимость разложения  $f(\vec{R}, \vec{r})$  определяется тем, что действительная и мнимая части потенциала входят в каждый член разложения не выше, чем в первой степени. В данной работе на примере реакций рассеяния протонов и  $\alpha$  частиц на лёгких двухкластерных ядрах в рамках трёхчастичной модели были получены оценки вкладов в полное сечение каналов рассеяния с потенциалами и волновыми функциями связанной системы гауссова вида.

1. Golovanova N.F., Golovanov A.A. Czech. J. Phys. 2006, vol.56, Suppl.A, p. 275-280
2. Голованова Н.Ф. Известия РАН. Серия физическая, 2015, том 79, № 4, с.626

**УЧЕТ ВКЛАДА ТЯЖЁЛЫХ МЕЗОННЫХ РЕЗОНАНСОВ В СИНГЛЕТНУЮ СПИНОВУЮ АМПЛИТУДУ УПРУГОГО ПРОТОН- ПРОТОННОГО РАССЕЙАНИЯ ПРИ СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ**

Голованова Н.Ф.

Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) Москва, Россия, E-mail: [nina4110@yandex.ru](mailto:nina4110@yandex.ru)

В работах [1,2] было показано, что описание упругого p-p рассеяния в методе математического эйконала с двумя спиновыми амплитудами: синглетной

$$N(t) = i \beta_1 \sqrt{\pi} \int_0^\infty d^2 r_\perp \omega^2(\vec{r}_\perp, \beta_1) / [1 - \omega(\vec{r}_\perp, \beta_1)] \ln[[1 - \omega(\vec{r}_\perp, \beta_1)]] J_0(r_\perp \sqrt{-t}) F_p^2(\sqrt{-t}) \quad (1)$$

и триплетной

$$R(t) = i \beta \sqrt{\pi} \int_0^\infty d^2 r_\perp \omega^2(\vec{r}_\perp, \beta) / [1 - \omega(\vec{r}_\perp, \beta)] \ln[[1 - \omega(\vec{r}_\perp, \beta)]] J_0(r_\perp \sqrt{-t}) \quad (2)$$

хорошо описывают экспериментальные данные рассеяния при энергиях 62 Gev [1] и 7000 Gev [2] в области переданного четырёх импульса  $-t < 4,5 \text{ Gev}^2$ . В амплитудах (1, 2) эйкональная профильная функция имеет один и тот же вид  $\omega(\vec{r}_\perp, \beta) = \exp[-(A + iB)(v r_\perp)^3 K_3(v r_\perp) / 8 \beta] - 1$  но с разными наборами величин A, B, V и значениями математического эйконала  $\beta$ . В формулу (2) входит форм - фактор  $F_p(-t)$ , являющийся лучшей аналитической подгонкой экспериментального протонного форм - фактора, полученного из упругого рассеяния электронов на протонах.

В данном докладе представлены результаты расчётов дифференциальных сечений упругого p-p рассеяния при энергиях 23.5, 30.7 and 52.8 Gev. Вклад тяжёлых мезонных резонансов учитывался с помощью введения в дифференциальное сечение кроме членов с амплитудами (1, 2) дополнительно одного или нескольких слагаемых соответствующих синглетным амплитудам (2), у которых форм - факторы умножены на отношения  $(-t / M_p^2)$ .

Варьируемые параметры  $M_p^2$  можно назвать условными массами резонансов [5]. Показано, что учёт резонансов несколько улучшает согласие теоретических расчётов и экспериментальных данных в области больших переданных импульсов.

1. Н.Ф.Голованова // Изв. Вузов. Физика. 2013. Т.56. с.97
2. Н.Ф.Голованова // Изв. РАН. Сер. физ. 2014. Т.78. №11. с.1425
3. N.F. Golovanova, A.A. Golovanov // Rus. J. Math. Phys. 2003. V.10. №11. P.31
4. М. Бертини, М. Жиффон // ФЭЧАЯ. 1995. Т.26. Вып.1. С.32
5. Г.А. Лексин УФН 1970. Т.102. вып.3. с. 387.

### ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В АТОМНЫХ ЯДРАХ

Гончарова Н.Г.

Физический факультет Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова  
Москва, Россия

Величина поверхностного натяжения в атомных ядрах оказывает определяющее влияние на форму ядра. Высокие значения коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  приводят к высоким давлениям на ядро и способствуют минимизации площади поверхности; при малых  $\sigma$  кулоновские силы приводят к деформациям поверхности и отклонениям ее от сферической формы.

Оценка поверхностного натяжения в ядрах с числом протонов  $Z$  и средним радиусом  $R$  может быть произведена для четно-четных ядер на основе связи коэффициента поверхностного натяжения  $\sigma$  и жесткости ядра  $C$  [1]:

$$C = 4R^2\sigma - 3e^2Z^2/10\pi R.$$

Жесткости  $C$  ядер относительно квадрупольных колебаний поверхности можно оценить на основе данных о величинах среднеквадратичных деформаций четно-четных ядер[2]. Результаты расчетов величин  $C$  показали сильную зависимость жесткости от оболочечной структуры ядер [3]. Колебания жесткостей четно-четных ядер коррелируют с колебаниями средних величин поверхностных натяжений. Проведенный расчет коэффициентов поверхностного натяжения четно-четных ядер показал высокий уровень колебаний этих величин. В таблице представлены некоторые результаты расчета жесткостей  $C$  (в MeV) и коэффициентов  $\sigma$  (в MeV / Fm<sup>2</sup>). Высоких значений эти величины достигают в ядрах с замкнутыми нейтронными подболочками, а максимумы в  $C$  и  $\sigma$  соответствуют ядрам с двумя близкими к поверхности замкнутыми нейтронными структурами (Ca-48 и Pb-210). По проведенным оценкам, максимального значения  $\sigma$  достигает в ядрах Pb-208 и Pb-210 (см. таблицу). Для всех четно-четных ядер редкоземельных элементов характерны очень низкие значения  $\sigma$ , не превышающие 1.5 MeV / Fm<sup>2</sup> (в таблице приведены данные для ядер Dy-160, Er-168, Hf-176). Для изотопов одного и того же элемента колебания поверхностного натяжения могут быть весьма значительными. Например, величины  $\sigma$  изотопов Ca-44 и Ca-48 отличаются в 15 раз!

Увеличение поверхностного натяжения, приводит к увеличению давления на ядро ( $p \cong 2\sigma/R$ ), и, несмотря на слабую сжимаемость ядерной материи, к увеличению средней плотности ядра [3] и минимальным значениям параметра  $\gamma_0$ .

Z	6	6	20	20	20	20	20	40	40	40	66	68	72	82	82
A	12	14	40	42	44	46	48	90	92	96	160	166	176	208	210
C	33	135	645	62	45	144	853	685	222	680	1.9	1.7	2.5	3310	3970
$\sigma$	1.4	5.5	13.7	1.6	1.2	3.3	18	10	3.7	9.6	1.2	1.3	1.4	29	34

1. Alder K., Bohr A. et al // Rev.Mod.Phys. 1956. 28., P.433
2. Raman S., Nestor Jr. C.W., Tikkanen P.// At.Data & Nucl.Data Tables. 2001.78,P.1

**ADIABATIC REPRESENTATION FOR ATOMIC TRIMERS**

<sup>1</sup>Gusev A.A., <sup>1</sup>Vinitsky S.I., <sup>1</sup>Chuluunbaatar O., <sup>2</sup>Krassovitskiy P.M.

<sup>1</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan.

The models of atomic trimers with molecular pair interactions for collinear configuration [1] or zero total angular momentum is formulated as 2D or 3D boundary-value problems (BVPs) in the Jacobi, polar and hyperspherical coordinates. In the framework of Kantorovich method known in physics as the adiabatic representation these problems are reduced to 1D BVPs with respect to (hyper)radial (or longitudinal) variable using the expansions of the desired solutions over an appropriate set of 1D or 2D surface angular (or transversal) basis functions, parametrically depended on the (hyper)radial (or longitudinal) variable. The algorithm for calculating the asymptotic form of the parametric basis functions at large values of the parameter (radial variable) is presented [2]. The efficiency of the proposed approach and software is demonstrated by the benchmark calculations of the discrete spectrum of a trimer of Beryllium atoms, as an example, see Figure.

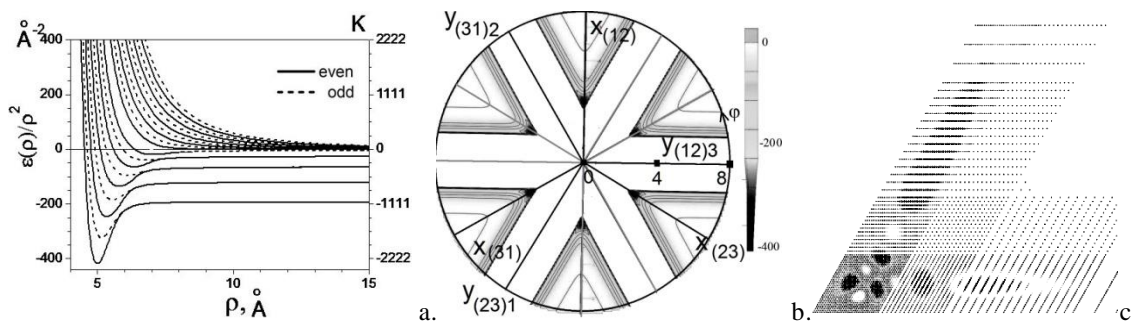


Figure: The potential curves of Be<sub>3</sub> (in K), i.e., the energy eigenvalues depending upon the parameter ρ (in °A): ε<sub>j</sub>(ρ)/ρ<sup>2</sup>. b. the isolines of 2D potentials of Beryllium trimer c. The 12<sup>th</sup> eigenfunction Ψ(xy) of Beryllium trimer.

The authors thank Prof. F.M. Penkov for collaboration. The work was supported partially by grant MES RK 0333/GF4 and grant of Plenipotentiary Representative of the Government of the Republic of Kazakhstan in the framework of collaboration program JINR-RK N 337 2017.

1. S.I. Vinitsky, A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, V.L. Derbov, P.M. Krassovitskiy, L.L. Hai, Three-body scattering model: diatomic homonuclear molecule and atom in collinear configuration, Proc. of SPIE 10337, 103370J (2017).
2. A.A. Gusev, O. Chuluunbaatar, S.I. Vinitsky, L.L. Hai, V.L. Derbov, and P.M. Krassovitskiy, Model of diatomic homonuclear molecule scattering by atom or barriers, Comm. Comput. Inf. Sci. 678, 511 (2016).

**АКТИВАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ <sup>12</sup>C(d,n)<sup>13</sup>N, <sup>14</sup>N(d,n)<sup>15</sup>O, <sup>14</sup>N(d,t)<sup>13</sup>N, <sup>14</sup>N(d,n+α)<sup>13</sup>N, <sup>16</sup>O(d,n)<sup>17</sup>F**

Генералов Л.Н., Абрамович С.Н.

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

Настоящая работа является продолжением публикации [1], в которой представлены результаты измерений, выполненных в прошлом. Работа направлена на пополнение новыми данными электронной библиотеки ядерно-физических констант SaBa [2]. При энергиях дейтронов 2-12 МэВ на электростатическом тандемном ускорителе ЭГП-10 (РФЯЦ-ВНИИЭФ) активационным методом измерены сечения реакций <sup>12</sup>C(d,n)<sup>13</sup>N (β<sup>+</sup>, T<sub>1/2</sub>=9.965 мин.), <sup>14</sup>N(d,n)<sup>15</sup>O (β<sup>+</sup>, T<sub>1/2</sub>=122 с.), <sup>14</sup>N(d,t)<sup>13</sup>N (β<sup>+</sup>, T<sub>1/2</sub>=9.965 мин.), <sup>14</sup>N(d,n+α)<sup>13</sup>N(β<sup>+</sup>, T<sub>1/2</sub>=9.965 мин.), <sup>16</sup>O(d,n)<sup>17</sup>F (β<sup>+</sup>, T<sub>1/2</sub>=64.5 с). Облучение мишеней выполнено в воздушной атмосфере, в которую пучок дейтронов из ионопровода ускорителя выводился через алюминиевое окно толщиной 15 мкм. Измерения выполнены на двух типах мишеней: лавсановых пленках (C<sub>5</sub>H<sub>4</sub>O<sub>2</sub>) толщиной



( $5\pm 1\%$ ) мкм, наклеенных на танталовые диски диаметром и толщиной соответственно 24 мм и 300 мкм, и слоях воздуха 3 или 7 мм между алюминиевым окном и танталовыми дисками указанных размеров. В измерениях с воздушными мишенями проводились замеры атмосферного давления. Поток дейтронов на мишень измерялся с погрешностью 1%. Его измерение было таким же, как и в [1]. После облучения стоппер радиоактивных ядер (танталовый диск с лавсановой мишенью или без нее) переносился на поверхность германиевого детектора и по регистрации аннигиляционных квантов с энергией 511 кэВ в течение 20 минут в 100-секундных временных интервалах измерялась в общем случае многокомпонентная временная функция распада этих ядер. Учитывалось мертвое время при регистрации активности, поправка на которое в начальных временных интервалах иногда составляла до 5%. Эффективность регистрации этих квантов была определена с погрешностью 5% по паспортизованной активности источника  $^{22}\text{Na}$ . Длительность облучения ( $\leq 5$  мин) и интервал времени от окончания облучения до измерения активности наработанных радиоактивных ядер (5-9 мин) были различными в сериях измерений.

1. Генералов Л.Н., Абрамович С.Н., Селянкина С.М. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2017. т. 81. № 6. с. 717.
2. Zvenigorodskij A.G., Zherebtsov V.A., Lazarev L.M. et al The Library of Evaluated and Experimental Data on Charged Particles for Fusion Application // Report IAEA-NDS-191, Vienna, 1999.

### ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО ГАЛО В $^{12}\text{B}$

<sup>1</sup> Данилов А.Н., <sup>1</sup> Демьянова А.С., <sup>1</sup> Оглоблин А.А., <sup>2</sup> Беляева Т.Л., <sup>3</sup> Гончаров С.А., <sup>4</sup> Маслов В. А., <sup>4</sup> Соболев Ю. Г., <sup>5</sup> Хлебников С.В., <sup>5</sup> Тюрин Г.П., <sup>6</sup> Джансейтов Д., <sup>7</sup> Мухамеджанов Е., <sup>8</sup> Трзаска В.

<sup>1</sup>Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, 123182 Москва, Россия

<sup>2</sup>Независимый Университет штата Мехико, 5000 Толука, Мексика

<sup>3</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 119991 Москва, Россия

<sup>4</sup>Объединенный институт ядерных исследований, 141980 Дубна, Россия

<sup>5</sup>Радиевый институт им. В.Г. Хлопина, Санкт-Петербург, Россия

<sup>6</sup>Институт ядерной физики, 050032 Алматы, Казахстан

<sup>7</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, 050040 Алматы, Казахстан

<sup>8</sup>Университет Ювяскюля, Финляндия

Был проведен эксперимент по поиску состояний с нейтронным гало в  $^{12}\text{B}$ . Измерения проводились на установке LSC на циклотроне университета Ювяскула (Финляндия). Идея работы состояла в поиске двух состояний с ожидаемым нейтронным гало,  $1^-$  и  $2^-$ .

Были получены дифференциальные сечения образования нескольких уровней  $^{12}\text{B}$ , в том числе и искомым.

Методом асимптотических нормировочных коэффициентов получены предварительные данные о радиусах гало для состояний  $2^-$  и  $1^-$ : 5.9 Фм и 7.7 Фм соответственно, что значительно больше радиуса валентного нейтрона в основном состоянии. Это подтверждает наличие нейтронного гало в этих состояниях, которые находятся в дискретном спектре. Впервые обнаружено гало в состояниях, отличающихся ориентацией спина.

Неожиданный результат получен для состояния  $3^-$ , 3.39 МэВ, находящегося в непрерывном спектре, на расстоянии 19 кэВ выше порога развала  $^{12}\text{B} \rightarrow ^{11}\text{B} + n$ , его радиус гало оказался увеличенным и равным  $\sim 6.5$  Фм. Это указывает на наличие гало также и в этом состоянии. До сих пор нейтронное гало в несвязанных состояниях наблюдалось только у членов вращательных полос.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛО В ИЗОБАР-АНАЛОГОВЫХ СОСТОЯНИЯХ

<sup>1</sup> Демьянова А.С., <sup>1</sup> Оглоблин А.А., <sup>1</sup> Данилов А.Н., <sup>2</sup> Беляева Т.Л., <sup>3</sup> Гончаров С.А.

<sup>1</sup> Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», пл. Академика Курчатова, 123182 Москва, Россия

<sup>2</sup> Независимый Университет штата Мехико, 5000 Толука, Мексика

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Ленинские горы, 119991 Москва, Россия

Одним из самых последних результатов была разработка аналога метода МДМ для реакций перезарядки (<sup>3</sup>He,t), использование которого позволило определить протонное гало в первом возбужденном состоянии ядра <sup>13</sup>N. Оказалось, что это состояние имеет такой же радиус, как и зеркальное состояние 1/2<sup>+</sup>, 3.09 МэВ в <sup>13</sup>C, несмотря на то, что одно из них лежит под порогом эмиссии нейтрона, а второе – порогом вылета протона. Это наблюдение позволяет сделать следующий шаг и попытаться применить этот подход для измерения радиусов изобар – аналоговых состояний.

Не исключены увеличенные радиусы в первых возбужденных состояниях триплета <sup>6</sup>He - <sup>6</sup>Li - <sup>6</sup>Be, которые также могут иметь структуру гало.

Хорошо известно нейтронное гало в <sup>6</sup>He. Предсказано протон – нейтронное гало в возбужденном состоянии 0<sup>+</sup>, 3.56 МэВ в <sup>6</sup>Li, лежащем всего на 137 кэВ ниже порога <sup>6</sup>Li → <sup>4</sup>He + p + n. Его радиус не известен, но предсказан примерно на 0.25 Фм больше радиуса <sup>6</sup>He. Можно ожидать появления двухпротонного гало в основном состоянии <sup>6</sup>Be.

В качестве первого шага нами были проанализированы опубликованные дифференциальные сечения неупругого рассеяния <sup>3</sup>He + <sup>6</sup>Li с возбуждением состояния 2.19 МэВ, 3<sup>+</sup> при энергиях 34 и 72 МэВ и 3.56 МэВ, 0<sup>+</sup> при энергиях 24.6 и 27 МэВ.

Вероятно состояние 0<sup>+</sup>, 3.56 МэВ имеет такой же радиус, как и его «боромиановский» изобар–аналог <sup>6</sup>He. Увеличение радиуса, предсказанное в работе [1] из-за более протяженной волновой функции p – n, по-видимому, не имеет места. Таким образом, переход от боромиановской к структуре танго, не меняет радиуса состояния. Напомним, что пространственная структура ядра <sup>6</sup>He была предсказана довольно сложной, в которой проявлялись корреляции двух типов: «сигара» и «динейтрон». В связи с этим возникает вопрос, действительно ли при переходе от <sup>6</sup>He к изобар-аналогу в <sup>6</sup>Li структура состояния меняется настолько сильно, что требует введения особой разновидности танго - гало.

[1] K. Arai, Y. Suzuki, and K. Varga, Phys. Rev. C 51, 2488 (1995)

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИИ В ЛЕГКИХ ЯДРАХ

<sup>1</sup> Буртебаев Н., <sup>1</sup> Керимкулов Ж.К., <sup>2</sup> Демьянова А.С., <sup>1,3</sup> Джансейтов Д.М., <sup>1</sup> Алимов Д.К., <sup>1</sup> Мухамеджанов Е.С.

<sup>1</sup> Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> НИЦ Курчатовский Институт, Москва, Россия

<sup>3</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

e-mail: [janseit.daniar@gmail.com](mailto:janseit.daniar@gmail.com)

Исследование упругих и неупругих процессов взаимодействия α-частиц с ядрами является одним из важных источников информации об основных и возбужденных состояниях атомных ядер. Эти процессы, протекающие при столкновениях α-частиц с энергиями в несколько десятков МэВ, позволяют получить важные сведения о структуре конкретных ядерных состояний. Обычно при таких энергиях протекают прямые переходы от начального к некоторому конечному ядерному состоянию без промежуточных процессов. Следовательно, прямые переходы позволяют получать данные о свойствах различных состояний ядер.

Особый интерес представляет потенциал взаимодействия сложных частиц с ядрами, имеющими выраженную кластерную структуру. Для подобных ядер с искаженной оболочечной структурой модель оболочек не описывает их характерные особенности. В некоторых новых подходах, таких как гипотеза α-частичного конденсата [1], предполагается появление кластерных состояний с увеличенным радиусом. Задача измерения радиусов ядер в несвязанных состояниях привлекло большое внимание в последнее десятилетие в связи с гипотезой о возможном существовании α-частичного конденсата в альфа конечных ядрах [2].

До сих пор считалось, что наиболее вероятным кандидатом имеющим структуру α-частичного конденсата является известное состояние Хойла 7.65 МэВ (0<sup>+</sup><sub>2</sub>) в ядре <sup>12</sup>C. В контексте α-частичной гипотезы, уровень 7.65 МэВ в ядре <sup>12</sup>C считается самым простым примером α-частичного конденсатного состояния и играет важную

роль для решения этой проблемы. В работе [3], предполагается, что аналогичные состояния Хойла могут быть обнаружены у некоторых соседних ядер, например, возбужденное состояние 8.86 МэВ ( $1/2^-$ ) в ядре  $^{13}\text{C}$ .

Кроме аналога состояния Хойла, ядро  $^{13}\text{C}$  интересно еще тем, что в его спектре могут сосуществовать различные структуры, например, структура гало. Обнаружение нейтронного гало стало одним из наиболее ярких открытий в ядерной физике, сделанных в конце прошлого столетия. До настоящего времени нейтронное гало наблюдалось почти исключительно в основных состояниях некоторых радиоактивных ядер. Но такое явление гало может быть обнаружено и в стабильных ядрах. В частности, в работе [4] было сделано предположение, что первое возбужденное состояние  $3.09$  ( $1/2^-$ ) ядра  $^{13}\text{C}$  может иметь структуру гало с увеличенным радиусом.

В данной работе представлены результаты среднеквадратичных радиусов «экзотических», возбужденных состояний ядра  $^{13}\text{C}$ , которые завершают цикл исследований по изучению гало состояний в стабильных ядрах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Tohsaki A., Horiuchi H., Schuck P. and Röpke G. Alpha Cluster Condensation in  $^{12}\text{C}$  and  $^{16}\text{O}$  // Physical Review Letters. - 2001. - Vol. 87. - P.192501.
- [2] Schuck P., Funaki Y., Horiuchi H., Ropke G., Tohsaki A., Yamada T. Alpha-particle condensation in nuclei // Nuclear Physics A. - 2004. - Vol. 738. - P. 94-100.
- [3] Milin M. and von Oertzen W. Search for molecular bands in  $^{13}\text{C}$  // European Physical Journal A. - 2002. - Vol. 14. - P.295-307.
- [4] Otsuka T., Fukunishi N. and Sagawa H. Structure of Exotic Neutron-Rich Nuclei // Physical Review Letters. - 1993. - Vol. 70. - P.1385.

### РОЖДЕНИЕ ПОДПОРОГОВЫХ ПИОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ С НЕРАВНОВЕСНЫМ УРАВНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ

Дьяченко А.Т.<sup>1</sup>, Митропольский И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I,  
Санкт-Петербург, Россия,

<sup>2</sup>Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова, НИЦ «Курчатовский институт»,  
Гатчина, Россия

Рождение пионов в столкновениях тяжелых ионов при энергиях меньших порога их рождения – 300 МэВ в свободных нуклон-нуклонных столкновениях оказывается возможным за счет коллективных эффектов.

Учет коллективных эффектов естественно проводить в рамках гидродинамического подхода, явным образом включающего многочастичный характер сталкивающихся тяжелых ионов. Однако при низких подпороговых энергиях для сталкивающихся тяжелых ионов нужно модифицировать гидродинамику учетом неравновесного уравнения состояния, описывающего переход от первоначально неравновесного состояния к состоянию локального термодинамического равновесия.

В таком подходе (см., например, [1-3]) нами были описаны экспериментальные двойные дифференциальные сечения образования протонов и легких фрагментов в столкновениях тяжелых ионов промежуточных энергий. В развитие этого подхода в данной работе вычислены двойные дифференциальные сечения рождения  $\pi^+$ - мезонов при энергиях 94 МэВ/нуклон для столкновений ионов  $^{16}\text{O}$  с разными ядрами, которые согласуются с имеющимися экспериментальными данными [4].

Расчет гидродинамической эволюции образующегося горячего пятна hot spot в процессе ядро-ядерного столкновения проведен с учетом эффектов ядерной вязкости. В этом процессе мы выделяем [1-3] стадию сжатия, стадию разрежения и стадию разлета с образованием вторичных частиц (пионов, протонов и фрагментов). Согласие с экспериментальными энергетическими спектрами пионов [4] достигнуто без введения подгоночных параметров и оказывается более удачным по сравнению с нашими предыдущими работами [5,6].

1. D'yachenko A.T., Gridnev K.A., Greiner W. // J. Phys. G. Nucl. Part. Phys. 2013. V. 40. P. 085101.
2. Дьяченко А.Т., Гриднев К.А., Митропольский И.А. // Изв. РАН. Сер. физ. 2015. Т. 79. №7. С. 952.
3. Дьяченко А.Т., Митропольский И.А. // Тезисы 66 Международной конференции по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Ядро-2016», Саров 2016, С. 80.
4. Badala A. et al. // Phys. Rev. C. 1991. V. 43. P. 190.
5. D'yachenko A.T., Lozhkin O.V. // Nucl. Phys. A. 1997. V. 626. P. 81.
6. Дьяченко А.Т. // Изв. РАН. Сер. физ. 1998. Т. 62. №1. С. 185.

**STUDY OF  $D(^1\text{H},n)X$ ,  $D(^{20}\text{Ne},n)X$  REACTIONS IN THE REGION OF ULTRA-LOW ENERGIES**

<sup>1)</sup>Bystritsky V.M., <sup>2)</sup>Dudkin G.N., <sup>3)</sup>Filipowicz M., <sup>1)</sup>Filippov A.V., <sup>2)</sup>Nechaev B.A., <sup>2)</sup>Nurkin A., <sup>2)</sup>Padalko V.N., <sup>4)</sup>Pen'kov F.M., <sup>4)</sup>Tuleushev Yu. Zh., <sup>2)</sup>Varlachev V.A.

<sup>1)</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, Russia,

<sup>2)</sup>National Scientific Research Tomsk Polytechnical University, Tomsk, Russia,

<sup>3)</sup>AGH University of Science and Technology, Faculty of Energy and Fuels, Cracow, Poland,

<sup>4)</sup>Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy, Almaty, Kazakhstan

Recently, the papers [1,2] have appeared in the literature describing the study of the interaction of hydrogen ions and neon of natural composition, accelerated to 10-23 keV energies with the deuterated titanium target (Ti/TiO<sub>2</sub>:D<sub>x</sub>). The authors of [1,2] suggest that the experimentally revealed neutron yield in the  $D(^1\text{H},n)X$  and  $D(^{20}\text{Ne},n)X$  reactions can be explained in the framework of the theoretical models, suggesting the method for formation of coherent correlated states of the interacting particles, and the certain calculations performed in [3] show that transparency of the Coulomb barrier in the crystal lattice can increase up to complete "penetrability" depending on the external actions. This approach can be referred to the LENR approach (low-energy nuclear reactions). In the Russian terminology, this area of the research refers to the so-called cold nuclear fusion (CNF) which has both evident supporters and ardent opponents (see, for example, [4]). The aim of our paper is to study the mechanism of neutrons appearance in the above reactions. For this purpose we have performed the computational and experimental investigations of the nature of background processes occurred in the study of nuclear reactions in the region of ultra-low cross sections on deuterium-containing targets (TiD<sub>2</sub>) under effect of hydrogen and neon ions. The experiments were performed on the pulsed plasma Hall accelerator [5] in the range of ions energy 26÷32 keV. It is shown that in the reaction with protons  $D(p,\gamma)^3\text{He}$ , the yield of background neutrons and  $\gamma$ -quanta with the energies less than 4 MeV is stipulated mainly by the presence of natural impurity of gaseous deuterium in gaseous hydrogen and  $D(D, ^3\text{He})n$  reaction with subsequent interaction of neutrons with the target surrounding materials, including the materials of detectors, by the  $(n, \gamma)$  or  $(n, n'\gamma)$  reactions. A small contribution is made by the chain of reactions, the beginning of which is the elastic scattering of hydrogen ion with the transfer of energy to the target deuteron  $D(^1\text{H}, ^1\text{H})D \rightarrow D(D, ^3\text{He})n \rightarrow (n, \gamma)$  or  $(n, n'\gamma)$ . It is shown that the large yield of neutrons and  $\gamma$  quanta, recorded in the interaction of neon ions with the deuterium containing targets is entirely caused by the chain of reactions, the beginning of which is the elastic scattering of neon ion with the transfer of energy to the target deuteron  $D(^{20}\text{Ne}, ^{20}\text{Ne})D \rightarrow D(D, ^3\text{He})n \rightarrow (n, \gamma)$  or  $(n, n'\gamma)$ . The main conclusion from the performed studies is that, no "exotic" theoretical models from the LENR library are required to explain the yield of neutrons and  $\gamma$  – quanta (MeV energies) in the interaction of hydrogen and neon ions with the deuterium-containing targets.

1. A.V. Bagulya, O.D. Dal'karov, M.A. Negodaev et al. Bulletin of the Lebedev Physics Institute, 40(10) (2013) 282.
2. A.V. Bagulya, O.D. Dal'karov, M.A. Negodaev et al. Physica Scripta 90(7) (2015) 074051.
3. V.I. Vysotskii and M.V. Vysotsky. Journal of Experimental and Theoretical Physics, 120(2) (2015) 246.
4. A.V. Arzhannikov, G.Ya. Kezerashvili and Éduard P. Kruglyakov. Physics-Uspokhi 42(6) (1999) 615.
5. V.M. Bystritsky, V.A. Varlachev, G.N. Dudkin et al. Physics of Atomic Nuclei, 80(2) (2017) 203.

**STUDY OF  $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$  REACTION IN ASTROPHYSICAL REGION OF ENERGIES**

<sup>1)</sup>Bystritskiy V.M., <sup>2)</sup>Dudkin G.N., <sup>3)</sup>Filipowicz M., <sup>1)</sup>Filippov A.V., <sup>1)</sup>Krylov A.R., <sup>2)</sup>Nechaev B.A., <sup>2)</sup>Nurkin A., <sup>2)</sup>Padalko V.N., <sup>4)</sup>Pen'kov F.M., <sup>4)</sup>Tuleushev Yu. Zh

<sup>1)</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, Russia,

<sup>2)</sup>National Scientific Research Tomsk Polytechnical University, Tomsk, Russia,

<sup>3)</sup>AGH University of Science and Technology, Faculty of Energy and Fuels, Cracow, Poland,

<sup>4)</sup>Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy, Almaty, Kazakhstan

Measurements of the cross sections for the "bare nucleus" fusion reactions  $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$ ,  $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ ,  $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$  и  $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$ ,  $^3\text{He}(^4\text{He},\gamma)^7\text{Li}$  at ultra-low energies are of interest for both pure and applied physics. These reactions are involved in the primary nucleosynthesis, i.e. they form the "nuclear ashes" from  $^2\text{H}$ ,  $^3\text{He}$ ,  $^4\text{He}$  и  $^7\text{Li}$  nuclei synthesized in the early Universe [1]. The information about these nuclei is used to retrieve the information about the baryons density in the Universe. In addition, the study of the cross sections for the "bare nucleus" fusion reactions provides the information about the screening effect of the nuclear reaction by electrons. The cross section of the fusion reaction in the astrophysical plasma  $\sigma_p(E)$  has the following form:  $\sigma_p(E) = f(E) \cdot \sigma_b(E)$ , where  $\sigma_b(E)$  is the fusion cross section for "bare" nuclei,  $f$  is the enhancement factor of reaction due to electron screening of interacting nuclei. For  $U_e \ll E$  the expression for  $f$  is converted to the form:  $f = \exp(\pi\eta(E)U_e/E)$ , where  $\pi\eta = 15.7/E^{1/2}$  is the Sommerfeld parameter,  $U_e$  is the electron screening potential. It should be noted that for the cross sections of  $^3\text{H}(d,n)^4\text{He}$ ,  $^2\text{H}(d,p)^3\text{H}$  and  $^2\text{H}(d,n)^3\text{He}$  reactions, measured on the gas targets, the electron screening potentials values are obtained within the adiabatic limit, and for  $^3\text{He}(d,p)^4\text{He}$  и  $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$  reactions the electron screening potentials are almost twice as high as the adiabatic limit [2]. The electron screening potential provides an important information about the role of electrons in the reactions induces by deuteron, tritium and helium, used in the fusion reactors in the same energy range as for nuclear astrophysics ( $kT \approx 1\div 100$  keV), which has a great practical importance.

The aim of our paper is to study the  $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$  reaction using the deuterated metal targets  $\text{TiD}_2$  and  $\text{ZrD}_2$ , manufactured with a various crystal texture, which makes it possible to determine the contribution of the channeling effect to the value of reaction enhancement factor [3]. This paper presents the results of measurements of the reaction cross section and the astrophysical  $S$ -factor, performed on the target  $\text{ZrD}$  that have a polycrystalline structure, i.e. it has no distinguished planes. The measurements were performed in the energy range of helium ions  $^3\text{He}^+ E_{\text{He}} = 18\div 30$  keV (in the lab. system) on the pulsed plasma Hall accelerator (Tomsk). Protons from the  $D(^3\text{He},p)^4\text{He}$  reaction, with the energy of 14.7 MeV, were detected by the scintillation detector with the scintillator BC-404 115 mm in diameter 4 mm thick located in the optical contact with the photomultiplier XP-2040. The target  $\text{ZrD}$  was deposited on the stainless steel foil 50  $\mu\text{m}$  thick. The vacuum part was separated from the scintillation detector by another layer of stainless steel foil 50  $\mu\text{m}$  thick. The tight integration of the target-scintillator system provided the high detection efficiency of protons of 0.3 was achieved, which was determined by Monte Carlo method calculation.

The number of accelerated ions incident on the target from zirconium deuteride- $\text{ZrD}$  was in the pulse to  $5 \cdot 10^{14}$ . The pulse nature of the plasma Hall accelerator operation provides the continuous background measurements, caused by cosmic radiation and natural radioactivity, during the experiment. For this purpose, in the intervals between the accelerator's operating pulses of 10  $\mu\text{s}$  duration, when the beam of accelerated  $^3\text{He}^+$  ions fell on the target, the background events were recorded for the same time interval, but without the high voltage supply. Thus, in parallel with the detectors' events accumulation during the acceleration time, we accumulated the events caused by the external background only. The number of ions that interacted with the target in each pulse was determined by integrating the target current. To suppress the electrons emission from the target, a metal grid with 93% transparency was placed in front of it at 1 cm distance under the potential of -150 V. The measurements are currently continuing and the results will be reported at the conference.

1. P.D. Serpico, S. Esposito, F. Iocco et al. J. Cosmol. Astropart. Phys. 12 (2004) 010
2. M. Aliotta et al., Nuclear Physics A690 (2001) 790.
3. V. M. Bystritskiy, V. M. Bystritskii, G. N. Dudkin et al. JETP Letters, 99(9) (2014) 497.

## КЛАСТЕРНЫЙ ЭФФЕКТ КАК МОДУЛЯЦИЯ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ В ФОРМЕ СУПЕРПОЗИЦИИ

*Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Юшков А.В.*

Институт экспериментальной и теоретической физики, Алматы, Казахстан

В работе [1] нами впервые был объяснен, неясный до тех пор, феномен существенного превышения сечений над резерфордским при малых углах, который оказался фрагментом простой дифракционной картины с осцилляциями  $\Delta\theta_\alpha$  большего периода, чем осцилляции на ядре-матрице  $\Delta\theta_\alpha$  в целом, то есть  $\Delta\theta_\alpha > \Delta\theta_\alpha$ . Этот большой период  $\Delta\theta_\alpha$  оказался первым дифракционным кольцом на внутриядерных пространственно обособленных  $\alpha$ -кластерах. Такое объяснение является достоверным, так как существование  $\alpha$ -частичной ядерной материи было всесторонне нами исследовано и, таким образом, доказано ранее [2] на базе иных экспериментальных данных.

В настоящей работе выполнена широкая систематика параметров модуляции фраунгоферовских осцилляций на ядрах-матрицах от лития до никеля осцилляциями от упругого рассеяния налетающих  $\alpha$ -частиц на внутриядерных мультикластерах с массами от протона до  $\alpha$ -частицы. Кластерные ширины, эквивалентные статвесам мультикластеров, взяты из нашей работы [3]

$$\sigma_{tot} N_{tot} = \sigma_0 N_0 + \sigma_1 N_1 + \dots + \sigma_n N_n.$$

Для ядер-матриц, на которых кластерные ширины неизвестны, эти параметры нами найдены путем описания исходных экспериментальных угловых распределений дифференциальных сечений упругого рассеяния с помощью разложения амплитуды рассеяния по полиномам Лежандра, предложенного в [1].

Для расширения «номенклатуры» обнаруженных мультикластеров использованы базы данных литературных источников с дважды магическими ядрами зондами  $^{16}\text{O}_8$ . Такие ядра-зонды позволили найти в ядрах матрицах мультикластеры с массами от  $m = 4$  до  $m=16$ . При использовании более тяжелого ядра-зонда  $^{40}\text{Ca}_{20}$  осуществлен поиск еще более тяжелых мультикластеров с массами от  $m=16$  до  $m=40$ . В этих поисках использовались расчеты соответствующих «клатреков» с поправками на энергии связи мультикластеров в данных ядрах-матрицах.

Таким образом, феномен модуляции расширен нами в настоящей работе по всем статвесам (ширинам) всех мультикластеров, что ставит новые вопросы к экспериментальным методикам – повышения точности измерения максимумов дифракционных осцилляций.

1. Гриднев К.А., Дьячков В.В., Юшков А.В. Явление дифракционного подъема сечений в передней полусфере углов как эффект ядерной и кластерной интерференции // Известия РАН. Серия физическая, 2015, том 79, №7, с. 950-951.
2. С.Я. Айсина, К.А. Кутербеков, Н.Н. Павлова, А.В. Юшков. Экспериментальные основания существования альфа-частичной ядерной материи // Известия АН, серия физическая, Т. 53, №1, 1989, с. 37-47.
3. Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Юшков А.В. Измерения на пучках ускорителей кинематических треков как прямой метод определения мультикластерных внутриядерных амплитуд // Вестник КазНУ. Серия физическая, 4 (55), 2015, стр. 80 – 84.

**ОПИСАНИЕ АНОМАЛИЙ ЯДЕРНОГО РАССЕЯНИЯ С ПОТЕНЦИАЛОМ НЬЮМЕНА-УНТИ-ТАМБУРИНО В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ИСКРИВЛЕННОГО РИМАНОВА ПРОСТРАНСТВА**

Юшков А.В., Дьячков В.В., Зарипова Ю.А.

Институт экспериментальной и теоретической физики, Алматы, Казахстан

Экспериментальные угловые распределения, полученные на Казахском изохронном циклотроне с регулируемой энергией ионов У-150м [1], проанализированы в рамках потенциала Ньюмена-Унти-Тамбурино, являющегося в отличие от общепринятых ядерных феноменологических потенциалов потенциалом фундаментальным микроскопическим, полученным из вакуумных уравнений Эйнштейна  $R_{ik} = 0$  [2]. Вакуумные уравнения представляют собой простейшие уравнения единой теории поля, объединяющей геометризованные фундаментальные взаимодействия [2]. Другими решениями вакуумных уравнений являются решения Ньюмена-Унти-Тамбурино, позволяющие описывать геометризованную потенциальную энергию в виде

$$U = -\frac{mc^2}{2} \left( \frac{C_1}{r} + \frac{2C_2}{r^2} \right),$$

где  $C_1, C_2$  – константы, член  $\frac{C_1}{r}$  описывает кулон-ньютоновскую потенциальную энергию, – имеет физический смысл короткодействующей добавки к ней. Короткодействие второго члена является весьма привлекательным свойством для физики структуры ядра. В самом деле, в работе [3] впервые с этим потенциалом описано упругое рассеяние протонов на ядрах меди при энергии 17 МэВ.

Таким образом, переход ядерной физики к искривленным римановым пространствам дает фундаментальную микроскопическую связь между потенциальной энергией ядра и метрикой пространства Римана. Сходные идеи опубликованы нами недавно в работах [4-7]. С целью перехода к гейзенберговскому S-матричному подходу потенциал Ньюмена-Унти-Тамбурино удобно преобразовать в S-матрицу в виде

$$S_i = \frac{\kappa_1}{i} - \eta \frac{\kappa_2}{i^2},$$

Здесь все обозначения общеприняты. С данным видом S-матрицы выполнен фит 25 угловых распределений из [1], который показал, что разделение ядерного потенциала и, соответственно, S-матрицы на компонент «похожий на сильный + добавка» [2] дает приемлемое совпадение эксперимента и теории, построенной на концепции внутри- и околоядерных эллиптических замкнутых римановых пространств.

1. В.Ю. Гончар и др.//Препринт П-104, Алма-Ата, 1970; Н.Н. Павлова и др.// Препринт ИЯФ, Алма-Ата, 1990; К.А. Кутербеков и др.// Препринт ИЯФ, Алма-Ата, 1991.
2. Г.И. Шипов. Теория физического вакуума; теория, эксперименты и технологии/ М., Наука, 450 с.
3. Е.А. Губарев, А.Н. Сидоров, Г.И. Шипов. Фундаментальные модели элементарных взаимодействий и теория физического вакуума/ М., 1992, 68 с.
4. А.В. Юшков, В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова. Новые закономерности в ядерной физике и структурах микромира/ МиС, №9 (20)/ 2015, с. 35-40.
5. В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.В. Юшков. Кластерная структура ядер и новые пространственные закономерности/ Вестник КазНУ, сер. физ., №2 (57), 2016, с. 89-97.
6. В.В. Дьячков, Ю.А. Зарипова, А.В. Юшков. Экспериментальное обнаружение дискретных внутриядерных аффинных римановых пространств/ Сб. «Современные достижения физики ...», Алматы, Казак университети, 2016, с. 25-26.
7. Ю.А. Зарипова, В.В. Дьячков, А.В. Юшков. Риманова ядерная физика/ Там же, с.29-30.

COLLECTIVE AND QUASIPARTICLE DEGREES OF FREEDOM IN BANDCROSSING FOR  $^{124}\text{Xe}$

Efimov A.D. <sup>1,2</sup>, Mikhajlov V.M. <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping [efimov98@mail.ru](mailto:efimov98@mail.ru)

<sup>2</sup>Ioffe Physical Technical Institute, St.-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> St.-Petersburg State University, Russia

While several low lying excitations of even-even transitional nuclei with spin  $I \leq 6$  are caused practically by collective quadrupole degrees of freedom, transition to higher spin requires inclusion into consideration of two-quasiparticle states or weakly collectivized (uncollective) phonons. If they are not taken into account explicitly calculations lead systematically to exceeding theoretical energies of the yrast band (especially with  $I > 6$ ) as compared with experimental values irrespective of that whether calculations are performed by using collective quadrupole coordinates [1] or IBM–boson [2]. Our previous approach [3] to description of the bandcrossing bears phenomenological character in the whole and uses a rather narrow set of uncollective phonons. Now we have the possibility to calculate microscopically the IBM– parameters (renormalized by uncollective phonons) as well as matrix elements connecting collective quadrupole phonons  $D$  with a wide set of uncollective ones  $B_J$  with spins such as  $0 \leq J \leq 10$  and positive parity. This is carried out for  $J \leq 6$  (e.g.  $\langle DDD | H | B_J^+ \rangle$ ) by the quasiparticle Hamiltonian  $H$  enveloping the Saxon-Woods single-particle energies, monopole pairing and factorized multipole forces in particle-hole and particle-particle channels. Actual calculations are implemented in the boson representation similar to IBM of  $H$  and wave functions. Up to  $I = 8^+$  the collective component in functions prevails though an admixture of  $B_J$  lowers not only the yrast levels but also the interband transition energies (the difference between theoretical and experimental values of yrast-energies up to  $18^+$  is not more  $\sim 40\text{keV}$ ). In state  $I = 8^+$  the component including  $B_{J=10}$  is very small ( $\approx 1\%$ ) and collective component is 94%. However at  $I = 10^+$  the yrast band structure undergoes a sharp change: in states  $I \geq 10^+$  the predominant components includes  $B_{J=10}$  and a corresponding number of collective quadrupole phonons to provide the necessary spin. This structure change accounts for the small experimental  $B(E2; 10^+ \rightarrow 8^+) \approx 780 e^2 \cdot \text{fm}^4$  (theoretical values is 800) and the large  $B(E2; 12^+ \rightarrow 10^+) \approx 2000$  (theoretical value is 2550) that is comparable with experimental  $B(E2; 2^+ \rightarrow 0^+) \approx 2100$ , i.e. in  $E2$ -transitions for  $I > 10^+$   $B_{J=10}$  plays spectator.

1. M.Chabab, A.Ell Batou, A.Lahbas, M.Ounre //Nucl. Phys. A. 2016. V.953. P. 158.
2. K.Nomura, N.Shimizu, T.Otsuka //Phys. Rev. C.2010. V.81. 044307.
3. A.D.Efimov, V.M.Mikhajlov // Phys.Rev. C.1999. V.59. P.3153.



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЖДЕНИЯ ЭТА-МЕЗОНОВ И КАОНОВ В CU+AU  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГЭВ**

*Бердников Я.А., Бердников А.Я, Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В.*

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

При высоких значениях температуры и (или) барионной плотности ядерная материя переходит в состояние сильно взаимодействующей кварк-глюонной плазмы (сКГП) [1], представляющей собой идеальную жидкость с партонными степенями свободы. Подобное состояние удалось зафиксировать в центральных столкновениях тяжелых ядер в экспериментах Релятивистского коллайдера тяжелых ионов (RHIC, BNL) [2].

Гашение адронных струй является одним из наблюдаемых признаков сКГП, который проявляется в подавлении выхода высокоэнергичных адронов в центральных столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ядер. Рождение адронов в области высоких поперечных импульсов (больших 4-5 ГэВ/с), в основном, определяется процессами фрагментации, при которых высокоэнергичные партоны вылетают из области столкновения и образуют адронные струи. Подавление выхода высокоэнергичных адронов является одним из эффектов горячей ядерной материи и связано с потерей энергии жестких партонов в горячей и плотной среде [3]. Таким образом, изучение степени подавления выхода адронов в области больших поперечных импульсов является хорошим инструментом для изучения свойств сКГП.

Каоны являются странными мезонами и эта-мезоны - частицами со скрытой странностью. Данные свойства делают эти мезоны превосходным инструментом для изучения процессов потерь энергии партонно и в их дальнейшей фрагментации в зависимости от странности рождающихся мезонов.

Система Cu+Au столкновений является первой несимметричной системой ядро-ядерных столкновений, доступной для анализа. Впервые данные в цикле Cu+Au столкновений при энергии в системе центра масс, равной 200 ГэВ на нуклон, были получены в 2012 году в экспериментах коллайдера RHIC. Система несимметричных Cu+Au столкновений характеризуется особой формой перекрытия ядер, отличной от формы перекрытия, реализуемой в симметричных системах (Au+Au, Cu+Cu). Изучение подавления инклюзивных выходов эта-мезонов и каонов в Cu+Au столкновениях позволит провести дополнительное ограничение между параметрами различных теоретических моделей и лучше понять механизмы потери энергии партонно в сКГП.

В эксперименте PHENIX измерены инклюзивные спектры по поперечному импульсу эта-мезонов, их факторов ядерной модификации, а также отношения выходов эта-мезонов и нейтральных пионов в пяти классах центральности Cu+Au столкновений при энергии 200 ГэВ на нуклон в системе центра масс сталкивающихся ядер. Выходы эта-мезонов в Cu+Au столкновениях подавлены в той же степени, что и в Au+Au столкновениях при той же энергии [4] и при близких значениях чисел участников. Отношения выходов эта-мезонов и нейтральных пионов не зависят от центральности Cu+Au столкновений в пределах статистических и систематических измерений и находятся в согласии с ранее полученными результатами в p+A и A+A столкновениях на RHIC [4].

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.1498.2017/4.6.

1. E. V. Shuryak, Phys. Rept. 61:71, 1980.
2. K. Adcox et al. (PHENIX Collaboration), Nucl.Phys. A757:184, 2005.
3. P. B. Arnold et al., JHEP 0206:030, 2002.
4. S.S. Adler et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev. C75:024909, 2007.

**НЕПРЕРЫВНЫЕ СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ ИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ  $\alpha$ -ЧАСТИЦ С ЭНЕРГИЕЙ 29 МЭВ  
С ЯДРАМИ  $^{29}\text{Al}$  И  $^{59}\text{Co}$**

Жолдыбаев Т.К.<sup>1</sup>, Садыков Б.М.<sup>1</sup>, Насурлла М.<sup>1,2</sup>, Дуйсебаев Б.А.<sup>1</sup>, Исмаилов К.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерной физики КАЭ МЭ, г. Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Назарбаев Университет, г. Астана, Казахстан

Получение новых экспериментальных ядерных данных по дважды дифференциальным и интегральным сечениям реакций, инициированных стабильными изотопами гелия, направлены на пополнение информационной базы, необходимой для проектирования систем безопасности энергетических реакторов, разработки перспективных ядерных технологий, в частности, гибридных ядерно-энергетических систем (ADS-Accelerator Driven System), развитие модельных подходов в теории ядерных реакций, верификация основанных на них расчетных кодов [1]. Исследование механизмов ядерных реакций, формирующих полный инклюзивный спектр вторичных частиц, позволяет изучить динамику образования и эволюции возбужденной составной системы к равновесному состоянию.

Эксперимент проводился с ионами  $^4\text{He}$ , ускоренными до энергии 29 МэВ на изохронном циклотроне У-150М ИЯФ (Алматы, Казахстан). В качестве мишеней подготовлены обогащенные фольги из  $^{27}\text{Al}$  и  $^{59}\text{Co}$ . Толщина и однородность используемых мишеней определялась с помощью измерения потери энергии альфа-частиц (препарат  $^{226}\text{Ra}$ ). Продукты реакций регистрировались  $\Delta E$ - $E$  телескопом. Систематические ошибки сечений обусловлены погрешностями в определении толщины мишени, калибровки интегратора тока и телесного угла спектрометра и не превышали 10%. Энергетическая калибровка проводилась по пикам, отвечающим известным состояниям конечных ядер (мишени  $^{12}\text{C}$  и  $\text{CH}_2$ ). Были измерены дважды-дифференциальные сечения из реакций ( $^4\text{He}, p$ ) в интервале углов  $15$ - $135^\circ$  с шагом по углу  $15^\circ$ . На основе этих экспериментальных результатов были определены проинтегрированные по углу интегральные энергетические распределения.

Теоретический анализ экспериментальных результатов выполнен в рамках модифицированной версии экситонной модели. Во всех расчетах по модели Гриффина [2] (программа PRECO-2006 [3]) в качестве исходной бралась  $(p_\pi, h_\pi, p_\nu, h_\nu) = (2, 0, 2, 0)$  частично-дырочная конфигурация. Нормировочный коэффициент принимался равным 15 МэВ. При параметризации квадрата матричных элементов использовались значения нормировочных констант:  $K_{\pi\pi} : K_{\pi\nu} : K_{\nu\nu} = 2200 : 900 : 900 \text{ МэВ}^2$ . Из сравнения экспериментальных и теоретически рассчитанных интегральных сечений следует, что формирование спектра в области энергий до 15 МэВ идет в основном через механизм составного ядра. С увеличением энергии вылетающих протонов роль основной вклад дают прямые процессы. Роль предравновесного механизма незначительна.

Работа выполнена при поддержке программы Грантового финансирования научных исследований МОН РК, грант 0335/ГФ4.

1 Gadioli E., Hodgson P.E. Pre-equilibrium Nuclear Reactions // Oxford Univ. Press, New York, 1992.

2 Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966, №9, P.478.

3 Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.

## МУЛЬТИКЛАСТЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ВИДЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПОТОКА ЧАСТИЦ НА ОТДЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ УПРУГОГО РАССЕЯНИЯ

Зарипова Ю.А. <sup>1</sup>, Гриднев Д.К. <sup>2</sup>, Дьячков В.В. <sup>1</sup>, Юшков А.В. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>НИИ экспериментальной и теоретической физики Казахского национального университета им. аль-Фараби, Республика Казахстан;

<sup>2</sup>FIAS, Goethe University Frankfurt, Ruth-Moufang-Str. 1, D-60438 Frankfurt am Main, Germany

Открытие нового кинематического метода исследований внутриядерных мультикластеров [1-2] с точной регистрацией мультикластерных кинематик ("кинтреков") оказалось удивительно универсальным. Единственными ограничениями метода являются два: 1) зондирующая частица должна быть дважды магической, чтобы ее структура не оказалась возмущающим фактором для структуры ядер-мультикластеров; 2) пробег зондирующей частицы в зондируемой ядерной материи (в ядре-матрице) должен быть сравнимым или больше диаметра ядра-матрицы, то есть энергию зондирующей частицы нужно подбирать соответствующим образом.

В настоящей работе выполнены исследования спектров мультикластеров с помощью зондирующей  $\alpha$ -частицы с энергией порядка 10 МэВ/нуклон, содержащихся в виде легких и средних ядер – от  ${}^9\text{Be}$  до  ${}^{59}\text{Co}$ , из измеренных дифференциальных сечений упругого рассеяния налетающих  $\alpha$ -частиц с энергией  $E_\alpha=29,0$  МэВ на матричном ядре  ${}^{24}\text{Mg}$ ,  ${}^{11}\text{B}$  и на их кластерах [3]. Кластерные ширины  $\theta_n^2$  вводятся нами в виде

$$N_0 = N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_n;$$

$$1 = \frac{N_1}{N_0} + \frac{N_2}{N_0} + \dots + \frac{N_n}{N_0} = \theta_1^2 + \theta_2^2 + \dots + \theta_{n1}^2.$$

В работе выполнены расчеты диапазонов массовых чисел дважды магических частиц-зондов и их энергий для соответствующих диапазонов массовых чисел ядер-матриц. Для каждого диапазона вычислены кинтреки для всех типов мультикластеров.

Для зондирующих  $\alpha$ -частиц найдены кластерные ширины с массовыми числами  $a \leq 4$  для легких и средних ядер-матриц. Построены волновые функции для конкретных ядер. В данном эксперименте эти числа кластерных ширин соответствующих внутриядерных нуклонных конфигураций получены с точностью около 10%. Для  ${}^{24}\text{Mg}$ : нуклоны 52%, альфа - 30%, тритий - 16%, дейтроны - 2%; для  ${}^{11}\text{B}$ : нуклоны 47%, альфа - 25%, тритий - 21%, дейтроны - 7%. Таким образом, данная методика имеет определенные перспективы экспериментального поиска и обнаружения и более тяжелых кластеров для ядер со средними и тяжелыми массовыми числами на пучках тяжелоионных ускорителей с энергиями около 10 МэВ/нуклон.

1. Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Юшков А.В. Измерения на пучках ускорителей кинематических треков, как прямой метод определения мультикластерных внутриядерных амплитуд // Вестник КазНУ. Серия физическая. – №4 (55). – 2015. – С. 80-84.
2. Дьячков В.В., Зарипова Ю.А., Юшков А.В. Кластерная структура ядер и новые пространственные закономерности // Вестник КазНУ. Серия физическая. – №2 (57). – 2016. – С. 89-97.
3. Зарипова Ю.А., Дьячков В.В., Юшков А.В., Буртебаев Н.Т., Жолдыбаев Т.К., Керимкулов Ж. Кинематический метод выделения доминирующих типов кластерных конфигураций в сложном ядре // 66-ая международная конференция по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра "Ядро-2016", Саров, стр. 28 – 29

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОНФИГУРАЦИЯ НЕЙТРОННО-ИЗБЫТОЧНЫХ ЯДЕР 1p-ОБОЛОЧКИ

Галанина Л. И., Зеленская Н. С.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

В рамках теоретического подхода, основанного на использовании задачи четырех тел и многочастичной модели оболочек с учетом возможных переходов нейтронов из 1p- в 1d-2s-оболочку [1], рассчитаны сечения реакций  ${}^7\text{Li}(t, p){}^9\text{Li}$ ;  ${}^9\text{Li}(t, p){}^{11}\text{Li}$ ;  ${}^9\text{Be}(t, p){}^{11}\text{Be}$  с учетом когерентного вклада одно- и двухступенчатых механизмов (рис. 1). Анализ угловых зависимостей сечений этих реакций позволил восстановить волновые функции относительного движения двух избыточных нейтронов и ядра-кора и получить их плотности вероятности  $W_{2n}$ , соответствующие потенциалы взаимодействия и среднее квадратичное расстояние  $\langle L_{2n} \rangle$  между двумя нейтронами и кором на периферии исследованных ядер.

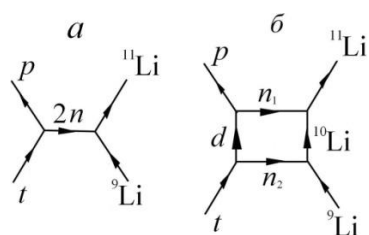


Рис. 1. Диаграммы передачи динейтронного кластера в реакции  ${}^9\text{Li}(t, p){}^{11}\text{Li}$ : а – срыв динейтрона, б – последовательная передача нейтронов.

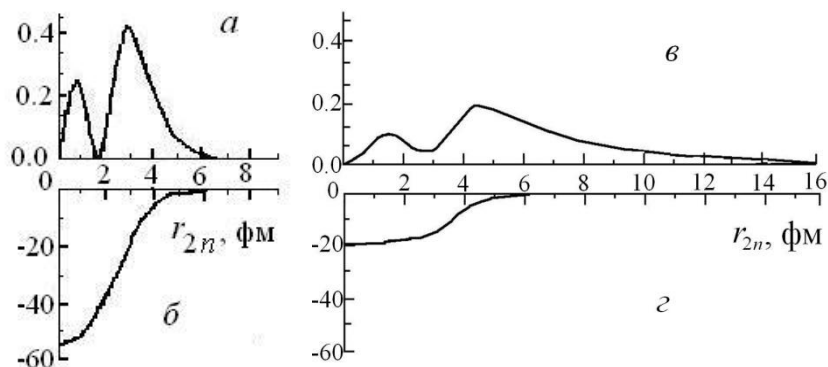


Рис. 2.  $W_{2n}$  в  $\text{фм}^{-1}$  (верхняя панель) и  $2n$ -кор потенциал в МэВ (нижняя панель) в зависимости от  $r_{2n}$ : а, б для ядра  ${}^9\text{Li}$ , в, г –  ${}^{11}\text{Li}$ .

На рис. 2 в качестве примера представлены зависимости  $W_{2n}$  от расстояния  $r_{2n}$  между двумя избыточными нейтронами и кором в ядрах  ${}^9, {}^{11}\text{Li}$ . Как видно из рисунка, характер двухнейтронной периферии в этих ядрах различен. Причина такого различия связана с оболочечной структурой этих ядер. В  ${}^9\text{Li}$  в силу замкнутой под действием  $jj$ -сил  $(1p_{3/2})^4$  нейтронной подоболочки  $W_{2n}$  практически полностью локализована в области ненулевых значений достаточно глубокого  $2n$ - ${}^7\text{Li}$  потенциала. В результате  $\langle L_{2n} \rangle \cong 3$  фм только в 1.3 раза превышает материальный радиус  $\langle R_m^{9\text{Li}} \rangle = 2.31$  фм, так что двухнейтронная периферия в  ${}^9\text{Li}$  представляет собой скин на поверхности  ${}^7\text{Li}$ . В  ${}^{11}\text{Li}$  обменные силы Майораны расталкивают два внешних нуклона, заполняющие  $(1p_{1/2})^2$  подоболочку, и кор  ${}^9\text{Li}$ , заполняющий  $(1p_{3/2})^4$  подоболочку. В силу малой энергии связи  ${}^{11}\text{Li}$  глубина  $2n$ - ${}^9\text{Li}$  потенциала почти в три раза меньше, чем потенциала  $2n$ - ${}^7\text{Li}$ , а  $W_{2n}$  характеризуется продолжительной асимптотикой вплоть до 20 МэВ, при этом значительная часть  $W_{2n}$  в  ${}^{11}\text{Li}$  находится вне действия потенциала. В результате боромиевское ядро  ${}^{11}\text{Li}$  имеет  $\langle L_{2n} \rangle \cong 6.7$  фм, что в 2 раза больше материального радиуса  $\langle R_m^{11\text{Li}} \rangle = 3.27$  фм [2].

В ядре  ${}^{11}\text{Be}$ , образованного в реакции  $(t, p)$ , динейтронная периферия, также как и периферия, связанная с 1p-нейтроном, практически отсутствует и имеет размер, близкий к  $\langle R_m^{11\text{Be}} \rangle = 2.94$  фм [2]. Для смешанной конфигурации с 2s-нейтроном ядро  ${}^{11}\text{Be}$  проявляет однейтронную периферию, размеры которой  $\langle L_{1n} \rangle \cong 9$  фм почти в три раза превосходят его материальный радиус.

1. Л. И. Галанина, Н. С. Зеленская, ЭЧАЯ 43, 295 (2012).
2. I. Tanihata, H. Yamagaki, O. Hashimoto, *et al.*, Phys. Rev. Lett. 55, 2676 (1985).

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С НЕЙТРОНОИЗБЫТОЧНЫМИ ИЗОТОПАМИ ГЕЛИЯ И ЛИТИЯ НА УСТАНОВКЕ MULTI**

<sup>1,2</sup>Зернышкин В.А., <sup>1,2</sup> Пенионжкевич Ю.Э., <sup>1</sup> Соболев Ю.Г., <sup>1,5</sup> Азнабаев Д., <sup>1</sup> Иванов М.П., <sup>1</sup> Крупко С.А., <sup>3</sup> Куглер А., <sup>1,2</sup> Лашманов Н.А., <sup>4</sup> Май А., <sup>1</sup> Маслов В.А., <sup>4,5</sup> Мендибаев К., <sup>1</sup> Скобелев Н.К., <sup>1</sup> Слепнев Р.С., <sup>1</sup> Фомичев А.С.

<sup>1</sup>Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980, Жолио-Кюри 6, Дубна, Россия;

<sup>3</sup>МИФИ, Национальный исследовательский ядерный университет, 115409, Москва, Россия;

<sup>4</sup>ИЯФ, Институт ядерной физики, 050032, Ибрагимова-1, Алматы, Республика Казахстан;

<sup>5</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010008, Астана, Республика Казахстан;

<sup>6</sup>Институт ядерной физики, Чешская Академия Наук, CZ250 68, Реж, Чехия;

<sup>7</sup>Институт ядерной физики, Польская Академия Наук, 31-342, Краков, Республика Польша

В настоящей работе представлен краткий обзор методов измерения полных сечений ядерных реакций. Основное внимание уделено методу трансмиссии [1,2], а так же модифицированному методу трансмиссии, реализованному в установке MULTI [3] для измерения полных сечений в Лаборатории ядерных реакций Объединенного Института Ядерных Исследований (ЛЯР ОИЯИ).

Представлены результаты измерения полных сечений ядерных реакций  ${}^4,6,8\text{He} + \text{Si}$ ,  ${}^{6,7,9}\text{Li} + \text{Si}$ , проведенных как в ОИЯИ [4-6], так и в других исследовательских центрах.

Представлен краткий обзор результатов анализа экспериментальных данных в рамках различных теоретических моделей, в частности микроскопической нестационарной модели [5,6], развиваемой в ЛЯР ОИЯИ в последнее время.

Список литературы

1. V.Yu.Ugrumov *et al.* // Physics of Atomic Nuclei. 2005. V.68. №1. P.16.
2. Yu.G.Sobolev *et al.* // Instr. and Exp. Technique. 2012. V.5. P.7.
3. Yu.G.Sobolev *et al.* // Proceedings of EXON-2014. Singapore. 2015. P.142.
4. V.I. Zagrebaev, V.V. Samarin, W. Greiner // Phys. Rev. C. 2007. V. 75. P. 035809.
5. Самарин В. В. // ЯФ. 2015. Т. 78. С. 133–146.
6. Науменко М. А., Самарин В. В. Пенионжкевич Ю. Э., Скобелев Н. К. // Изв. РАН Сер. физ. 2016. Т. 80. С. 294 – 303.

**МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА НЕЙТРОННОМ ИСТОЧНИКЕ ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН**

*Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Недорезов В.Г., Пономарев В.Н., Поташев С.И., Солодухов Г.В.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

В экспериментах по изучению реакций неупругого рассеяния гамма-квантов на ядрах, фотоядерных и других реакций ведущихся на линейном ускорителе электронов ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН необходимо точно знать и иметь возможность в течение одного сеанса измерений изменять в широком интервале энергию пучка электронов. Для этого разработана и реализована методика, позволяющая оперативно и с хорошим воспроизведением устанавливать заданную энергию пучка и осуществлять эту процедуру при условии многократных коротких прерываний работы ускорителя в соответствии с требованиями эксперимента. Измерение энергии пучка ускорителя проводилась с использованием магнитного спектрометра, состоящего из двух 135-градусных магнитов, позволяющих повернуть пучок на 270 градусов. Градуировка магнитного поля спектрометра проведена с помощью магнитометра на основе датчика Холла. В результате разработана и проверена методика изменения энергии пучка ускорителя ЛУЭ-8-5 в интервале 4 – 9 МэВ. Оперативный контроль за током и энергией пучка осуществляется в режиме on-line мониторингом тока пучка и тока управляющего магнита.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант РНФ 16-12-10039.

**ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛООВОГО И ЭПИТЕПЛООВОГО СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ ФОТОНЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ИЯИ РАН ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА**

*Афонин А.А., Зуев С.В., Конобеевский Е.С.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

В ИЯИ РАН создан W-Be-фотонейтронный источник нейтронов ИН-ЛУЭ [1] на базе линейного ускорителя электронов. Работы на источнике ведутся в области нейтронно-активационного анализа и изучения реакций под действием нейтронов. Многие измерения проводятся активационным методом, для которого важно знать спектр нейтронов облучающих образцы. В спектре нейтронов фотонейтронного источника помимо основного вклада от тепловых нейтронов присутствуют вклады эпитепловых и быстрых нейтронов. Вид спектра и оценка потоков были получены ранее в результате моделирования. Так как характеристики спектра нейтронов связаны с измеряемыми величинами через интеграл свертки спектральной плотности потока с известным сечением ( $n,\gamma$ ) реакции, то извлечь информацию о спектре из экспериментальных данных нельзя в явном виде, а можно восстановить, например, решением обратной задачи.

В работе рассмотрена возможность восстановления информации о форме спектра и вкладов в него нейтронов тепловых и эпитепловых энергий. В качестве экспериментальных данных для восстановления предлагается использовать данные по нейтронно-активационному анализу облученных в источнике образцов. Сравнительный анализ сечений нейтронного захвата на различных ядрах и свертки сечений с различными энергетическими участками модельного спектра позволил отобрать в качестве образцов ряд элементов, для которых заметный вклад в измеряемые величины дают только тепловые или эпитепловые нейтроны, либо их комбинации. Проведены облучения образцов и измерения активационных спектров с использованием низкофонового гамма-спектрометра [2]. Проведено восстановление формы спектра нейтронов источника в тепловой и эпитепловой части спектра. Оценены значения плотности потока нейтронов в этих областях спектра.

Список литературы

1. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Nedorezov V.G. // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2017, Vol. 81, No. 6, pp. 748.
2. Andreev A.V. et al. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V.4. P. 879.

**ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН**

*Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Недорезов В.Г., Пономарев В.Н., Поташев С.И., Солодухов Г.В.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

Эксперименты, ведущиеся на пучке ускорителя ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН, требуют при обработке полученных результатов сведений об энергетическом распределении электронов в пучке. Эти характеристики определялись с помощью магнитного спектрометра, состоящего из двух 135-градусных магнитов, позволяющих повернуть пучок на 270 градусов. Градуировка спектрометра проведена с помощью магнитометра на основе датчика Холла. Мгновенные значения тока пучка и тока управляющего магнита оцифровывались с визуализацией в виде двумерной диаграммы “ток пучка–ток магнита” на экране компьютера. Это позволяет в режиме on-line производить тонкую настройку и оперативный контроль энергии пучка ускорителя. Предварительно проведенная калибровка энергии пучка ускорителя с использованием магнитного спектрометра позволяет определять энергетические характеристики пучка. Результаты измерений характеристик пучка, включающие в себя мгновенное значение тока пучка, средний ток, величину накопленного заряда и форму энергетического распределения для полного набора энергий сохраняются в течение всего сеанса измерений на ускорителе.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант РНФ 16-12-10039.

МЕХАНИЗМ РАССЕЙНИЯ  $\pi$ -МЕЗОНОВ В ГЛАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ НА ИЗОТОПАХ  ${}^{6,8}\text{He}$

Ибраева Е.Т.<sup>1</sup>, Имамбеков О.,<sup>2</sup> Токсаба Ж. А.,<sup>2</sup> Узиков Ю.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики НЯЦ РК, Казахстан, Алматы

<sup>2</sup>КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, Алматы

<sup>3</sup>Объединенный Институт Ядерных Исследований ОИЯИ, Россия, Дубна

Уникальность пион-нуклонного и пион-ядерного взаимодействия заключается в свойствах самих пионов: легкая масса, нулевой спин, три зарядовых состояния. Процессы взаимодействия пионов с ядрами при промежуточных энергиях (от сотен МэВ до ГэВ) изучаются в рамках оптической модели, методом связанных каналов, с помощью диаграммной техники, в каскадной модели, в дисперсионной теории и в теории дифракционного рассеяния Глаубера. Для описания рассеяния  $\pi$ -мезонов на изотопах  ${}^{6,8}\text{He}$  использовалась глауберовская теория, которая позволила рассчитать динамические эффекты многократных соударений с нуклонами ядра.

Хотя постановка эксперимента невозможна для рассеяния  $\pi$ -мезонов на нестабильных изотопах  ${}^6\text{He}$ ,  ${}^8\text{He}$ , но из сравнения результатов с рассеянием протонов на этих изотопах (для которых имеются экспериментальные данные), можно сделать полезные выводы. Прогресс экспериментальных методов получения нестабильных изотопов дает надежду в будущем получать самые экзотические данные.

Использование волновых функций (ВФ) в трехчастичной  $\alpha 2n$ -модели для  ${}^6\text{He}$  [1] и ВФ оболочечной модели с расширенным базисом (LSSM) для  ${}^8\text{He}$  [2], дало возможность рассчитать матричные элементы рассеяния аналитически и учесть структуру этих ядер. У ядра  ${}^6\text{He}$  имеется два валентных нейтрона, у ядра  ${}^8\text{He}$  – четыре. Известно, что трехчастичная ВФ ядра  ${}^6\text{He}$  может находиться в двух различных конфигурациях: динейтронной и сигарообразной. В [3] было показано, что хотя динейтронная конфигурация преобладает над сигарообразной (соответственно 95% и 5%), но последняя также важна и вклад ее в дифференциальное сечение (ДС) под задними углами сравним с динейтронной. Для ядра  ${}^8\text{He}$  [2] найдено, что доминирующая конфигурация образует равносторонний треугольник, в вершине которого находится  $\alpha$ -частица, а в основании – динейтронные кластеры. Различие в геометрии ядер  ${}^6\text{He}$  и  ${}^8\text{He}$  объясняется действием принципа Паули: в  ${}^8\text{He}$  имеет место эффективное отталкивание между динейтронными кластерами, в результате чего они располагаются по разные стороны от  $\alpha$ -частичного кора, в  ${}^6\text{He}$  нейтроны с противоположно направленными спинами в присутствии массивного  $\alpha$ -кора объединяются в компактный динейтрон [3].

Мы рассчитали ДС и анализирующую способность ( $A_y$ )  $p^{6,8}\text{He}$  рассеяния при  $E = 0.07$  и  $0.7$  ГэВ/нуклон в рамках глауберовской теории многократного рассеяния с учетом одно-, двух- и трехкратных соударений в операторе  $\Omega$  для ядра  ${}^6\text{He}$  и в приближении двукратных соударений в операторе  $\Omega$  для ядра  ${}^8\text{He}$ . Показано, что хотя основной вклад в ДС при малых переданных импульсах дают однократные соударения, при больших переданных импульсах динамические вклады высших порядков значительны и должны учитываться.

Сравнение ДС и  $A_y$  пионов и протонов на ядрах  ${}^{6,8}\text{He}$  показало, что они хорошо коррелируют друг с другом. Однако имеются и различия. Поскольку пионы взаимодействуют с нуклонами сильнее, чем другие частицы, то многоступенчатые процессы более важны. Другими словами, вклад многократных столкновений будет больше в  $\pi$ -ядерном рассеянии, чем в  $p$ -ядерном. Абсолютная величина ДС несколько больше для  $\pi$ -мезонов, чем для протонов, что зависит от величин сечений  $\sigma_{tot}^{\pi N}$ ,  $\sigma_{tot}^{pN}$  в элементарных амплитудах.

Мы постарались самосогласованно описать ДС и  $A_y$  в упругом  $p^{6,8}\text{He}$ -рассеянии, с тем, чтобы показать чувствительность характеристик к волновым функциям ядер, рассчитанным в разных моделях. Проведенное в настоящей работе сравнение разных подходов к оценке ДС и  $A_y$ , выявляет обоснованность использования тех или иных моделей.

Работа выполнена при поддержке грантов: 337 2017 Полномочного представителя РК в ОИЯИ и 3090/ГФ4 Министерства образования и науки РК.

1. V. I. Kukulin, V. N. Pomerantsev, Kh. D. Razikov, *et al.* // Nucl. Phys. A. 1995. V. 586. P. 151.
2. A. N. Antonov, D. N. Kadrev, M. K. Gaidarov, *et al.* // Phys. Rev. C. 2005. V. 72. 044307.
3. Л.И. Галанина., Н.С. Зеленская // ЯФ. 2007. Т. 70. С. 308; ЯФ. 2009. Т. 72. С. 1753; ЭЧАЯ 2012. Т. 43. Вып.2. С. 295.

НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ ПРОТОНОВ НА ЯДРАХ  $^{13,15}\text{C}$  В ГЛАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ

Жусупов М.А.<sup>2</sup>, Ибраева Е.Т.<sup>1</sup>, Кабатаева Р.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики РК, Алма-Ата, Казахстан;

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алма-Ата, Казахстан

К настоящему времени накоплен большой экспериментальный материал по рассеянию протонов и ядер на изотопах углерода в широком диапазоне энергий (от низких до релятивистских). В экспериментах, проведенных в ЛИЯФ, CERN, RIKEN, PSI, GSI и в других лабораториях, измерены статические (радиусы ( $r_p, r_n, r_m$ ), квадрупольные (Q) и магнитные ( $\mu$ ) моменты, энергетические спектры) и динамические (дифференциальные и полные сечения (ДС, ПС), формфакторы, импульсные распределения, поляризации) характеристики.

Для обработки данных при промежуточных энергиях (сотни МэВ и выше) удобно использовать глауберовское приближение [1], которое описывает механизм многократного рассеяния и позволяет работать с реалистическими волновыми функциями (ВФ).

Продолжая наши предыдущие исследования упругого и неупругого рассеяния протонов на ядрах  $^{13,15}\text{C}$  [2-4], в настоящей работе мы рассчитали ДС неупругого рассеяния на уровни  $J^\pi = 1/2^+, 5/2^+, 3/2^+$  для  $^{13}\text{C}$  и на уровень  $J^\pi = 5/2^+$  для  $^{15}\text{C}$  при энергиях 0.6, 0.8 и 1.0 ГэВ. В расчетах использовались ВФ оболочечной модели. Рассчитаны парциальные сечения (одно- и двукратные) и показано, в какую область углов/переданных импульсов они дают доминирующие вклады.

Целью наших расчетов является апробация этих функций в процессах неупругого рассеяния и проверка возможностей дифракционной теории в описании механизма рассеяния.

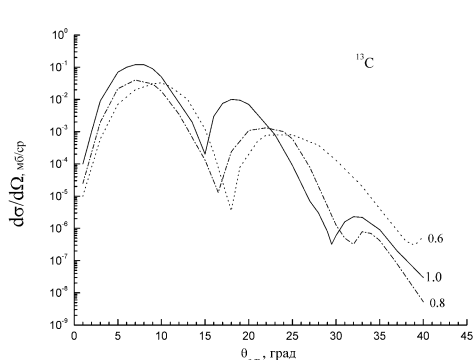


Рис. 1а. Дифференциальные сечения  $p^{13}\text{C}$  при разных энергиях протонов  $E = 0.6, 0.8$  и  $1.0$  ГэВ

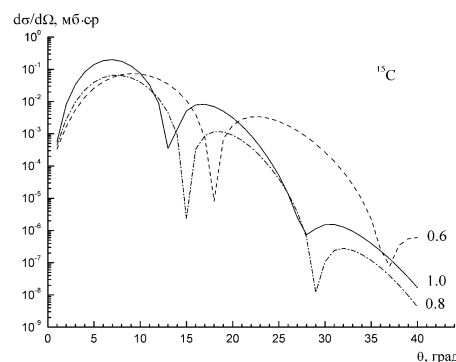


Рис.1б. То же, что на рис.1а для  $p^{15}\text{C}$

На рис.1а,б приведены зависимости ДС  $p^{13}\text{C}$  (а) и  $p^{15}\text{C}$  (б) от энергии протонов:  $E=0.6$  ГэВ,  $0.8$  ГэВ,  $1.0$  ГэВ. На рисунках видно, что с увеличением энергии столкновений в ДС наблюдается более четкая дифракционная картина: число максимумов и минимумов в одинаковом угловом диапазоне увеличивается, минимумы смещаются в область меньших углов рассеяния.

Показано, как формируется дифракционная картина при рассеянии протонов на ядрах  $^{13,15}\text{C}$ . Рассчитан вклад в ДС парциальных сечений одно- и двукратных соударений. Однократные парциальные сечения доминируют при малых углах рассеяния, двукратные – при больших. Минимумы в ДС неупругого рассеяния возникают как из-за ортогональности ВФ основного и возбужденного состояний, так и из-за структуры ядра-мишени и из-за деструктивной интерференции амплитуд одно- и двукратных соударений.

Проведено сравнение ДС  $p^{13}\text{C}$  и  $p^{15}\text{C}$ -рассеяний. При соответствующих энергиях они близки друг другу, однако наблюдается систематический сдвиг сечения  $p^{15}\text{C}$ -рассеяния на  $2-3^\circ$  в область меньших углов, так называемый массовый сдвиг из-за дополнительного числа нейтронов в  $^{15}\text{C}$ .

1. R. J. Glauber, in Lectures in Theoretical Physics (Interscience, New York, 1959) Vol. 1. P.315.
2. [M. A. Zhusupov, E. T. Ibraeva, R. S. Kabatayeva.](#) // Nucl.Theor. (Heron Press, Sofia) 2015. Vol. 34. P.12.
3. Е. Т. Ибраева, М. А. Жусупов, О. Имамбеков. // ЯФ. 2012. Том 75. С. 1462.
4. Е. Т. Ибраева, М. А. Жусупов, О. Имамбеков, П. М. Красовицкий. // ЯФ. 2014. Т. 77. С.95.



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЙНИЯ ПРОТОНОВ НА ИЗОТОПАХ  ${}^9\text{B}$ ,  ${}^9\text{Be}$  В ГАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ

Ибраева Е.Т.,<sup>1</sup> Буртебаев Н.Т.,<sup>1</sup> Узиков Ю.Н.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики РК, Казахстан, Алматы

<sup>2</sup>Объединенный Институт Ядерных Исследований, Россия, Дубна.

В рамках дифракционной теории Глаубера, рассчитаны дифференциальные сечения (ДС) упругого рассеяния протонов на зеркальных ядрах  ${}^9\text{B}$  и  ${}^9\text{Be}$  при энергиях 135, 180 и 220 МэВ (для которых для ядра  ${}^9\text{Be}$  имеются экспериментальные данные [1-3]).

Волновые функции (ВФ) зеркальных ядер  ${}^9\text{B}$  и  ${}^9\text{Be}$  рассчитаны в трехчастичной  $2\alpha N$ - модели [4] с парными  $\alpha$ - и  $\alpha\alpha$ -взаимодействиями. Расчет ВФ проведен с двумя различными  $\alpha\alpha$ -потенциалами: Али-Бодмера с отталкивательным кором на малых расстояниях (модель 1) и Бака с запрещенными состояниями (модель 2). В обеих моделях использовался  $\alpha N$ -потенциал с четно-нечетным расщеплением фазовых сдвигов

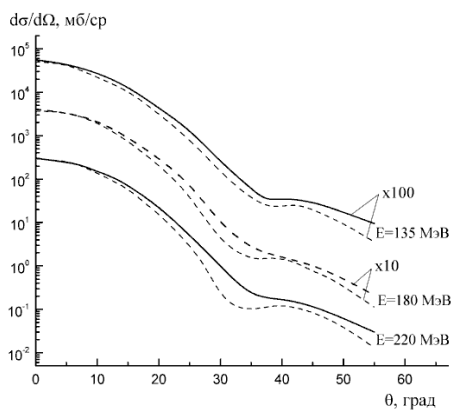


Рис.1 ДС  $p^9\text{B}$ -рассеяния при  $E = 135, 180$  и  $220$  МэВ с ВФ в модели 1 (сплошные кривые) и 2 (штриховые кривые).

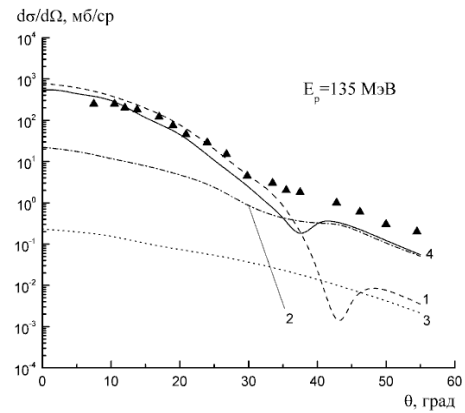


Рис.2. Вклады разных кратностей соударений в ДС  $p^9\text{Be}$ -рассеяния при  $E = 135$  МэВ. Экспериментальные данные из [1]. Пояснения даны в тексте.

На рис.1 приведены ДС  $p^9\text{B}$ -рассеяния при  $E = 135, 180$  и  $220$  МэВ с ВФ в модели 1 (сплошные кривые) и 2 (штриховые кривые). Различия, которые имеются в сечениях с двумя модельными ВФ объясняются разным видом этих функций: в модели 1 в ВФ имеется кор поэтому она более поверхностная, с протяженной асимптотикой, в модели 2 функция сильнее втянута в ядро, и во внутренней области имеет узел и два максимума. На рис.2 приведены вклады разных кратностей соударений в ДС  $p^9\text{Be}$ -рассеяния (кривая 4) при  $E = 135$  МэВ. Рассчитаны парциальные вклады от одно-(кривая 1), двух-(кривая 2) и трехкратных (кривая 3) соударений налетающего протона с кластерами, составляющими ядро  ${}^9\text{Be}$ . Как видно из рис.2, минимум возникает в точке пересечения парциальных сечений одно- и двукратных соударений. Трехкратные соударения лежат на 4 порядка ниже и практически вклада в сечение не дают. Проведенное исследование продемонстрировало чувствительность ДС упругого рассеяния к структуре ядер и ко вкладу процессов многократных соударений с  $\alpha$ -кластерами и нуклоном. Сравнение ДС для  $p^9\text{Be}$  с экспериментом [1-3] показало, что в области передних углов ( $\theta \sim 30^\circ$ ) наш расчет согласуется с имеющимися данными.

Работа выполнена с финансовой поддержкой гранта 3372017 Полномочного представителя Правительства РК в ОИЯИ.

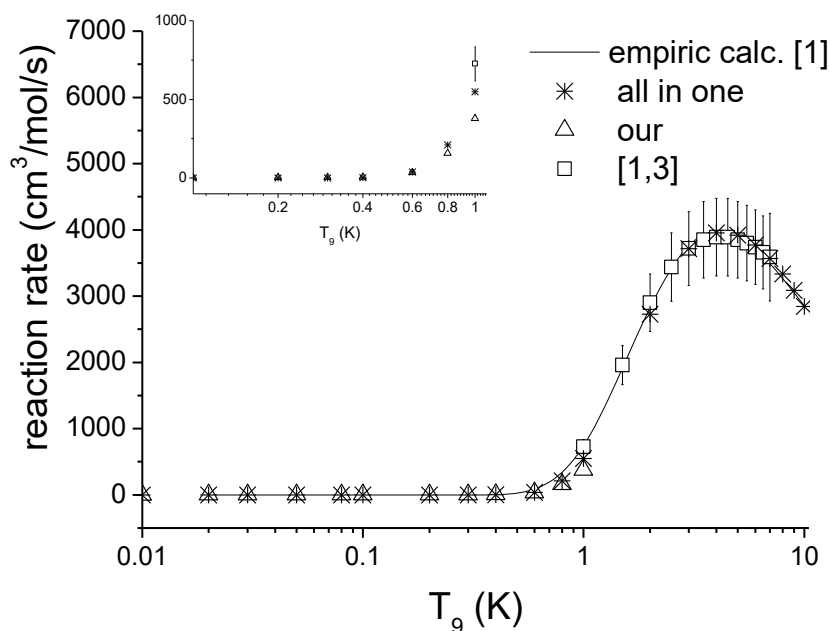
1. J.J. Kelly // Phys.Rev., 1988. vol. C38. P. 1490.
2. G. Roy *et al.* // Nucl.Phys. A. 1985. V. 442. P. 686.
3. S.Dixit *et al.* // Phys. Rev.C. 1991. V. 43. P.1758.
4. V.I. Kukulin *et al.* // Few-Body Syst. 1995. V.18. P. 191.

NEW CALCULATION OF RATE OF THE ASTROPHYSICAL REACTION  $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$

<sup>a</sup> Igamov S.B., <sup>a</sup> Artemov S.V., <sup>a</sup> Karakhodjaev A.A., <sup>a</sup> Radyuk G.A., <sup>a</sup> Tojiboyev O.R., <sup>a</sup> Ergashev F.Kh., <sup>b</sup> Aliev M.K., <sup>b</sup> Kholbaev I., <sup>b</sup> Rumi R.F., <sup>b</sup> Khalikov R.I., <sup>b</sup> Eshkobilov Sh.Kh.

<sup>a</sup> Institute of Nuclear Physics of Uzbekistan Academy of Sciences, Tashkent, Uzbekistan  
<sup>b</sup> National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Traditionally, the rate of the radiative capture reactions included in astrophysical processes is determined with the use of ultralow energy astrophysical S – factor data for this reaction. The alternative method of determination of the radiative capture reaction rate through the reaction yield is proposed in [1]. In principle, utilization of the reaction yield has an advantage as it can be sensitive to the latent resonances which may exist at very low energies unachievable for direct measurement. The method has been used for the  $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$  reaction. The yield data on this reaction in the energy range  $200 \text{ keV} \leq E \leq 1000 \text{ keV}$  was used from [2], in which the yield data obtained by the authors themselves of the [2] and from [1,3] were presented together as mutually complementary data. In this study, the new measured by us yield data at lower energies up to 70 keV has been used as well. In the figure, the results of the calculation of the rate of the  $^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}$  reaction are presented. The dependence of the reaction rate on the stars internal temperature is presented as a general pattern and for low temperatures separately.



1. N.A.Roughton, M.J.Fritts, R.J.Peterson, C.S.Zaidins, C.J.Hansen, *Astrophys.J.* 205 (1976) 302
2. S.V. Artemov, et al., *Nucl. Instr. Methods A* 825 (2016) 17
3. J.D. Seagrave, *Phys.Rev.* 84(1951) 1219.

**FINE STRUCTURE OF THE  $\beta$ -DECAY STRENGTH FUNCTION AND OSCILLATION OF THE ISOVECTOR NUCLEAR DENSITY COMPONENTS**

*Izosimov I.N., Solnyshkin A.A., Khushvaktov J.H.*

Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia

E-mail: [izosimov@jinr.ru](mailto:izosimov@jinr.ru)

The  $\beta$ -decay probability is proportional to the product of the nucleon part described by  $\beta$ -decay strength function  $S_{\beta}(E)$  and the lepton part described by the Fermi function  $f(Q_{\beta} - E)$ . From the macroscopic point of view, the resonances in the Gamow–Teller (GT) beta decay strength function  $S_{\beta}(E)$  are connected with the oscillation of the spin–isospin density without change in the shape of the nucleus [1]. At the nuclear excitation energies  $E$  up to  $Q_{\beta}$  (total energy of  $\beta$ -decay)  $S_{\beta}(E)$  determines the character of the  $\beta$ -decay and the half-lives ( $T_{1/2}$ ) of the  $\beta$ -decay, spectra of  $\beta$ -particles and neutrinos emitted in  $\beta$ -decay, spectra of  $\gamma$ -rays and internal conversion electrons resulting from de-excitation of daughter nucleus states excited in the  $\beta$ -decay, and probabilities of delayed processes accompanying the  $\beta$ -decay [1–4]. Development of experimental technique allows application of methods of nuclear spectroscopy with high energy resolution for  $S_{\beta}(E)$  fine structure measurement [2–4]. The combination of the total absorption spectroscopy (TAS) with high resolution  $\gamma$ -spectroscopy may be applied for detailed decay schemes construction [2].

High-resolution nuclear spectroscopy methods [2–4] made it possible to demonstrate experimentally the resonance nature of  $S_{\beta}(E)$  for first-forbidden (FF)  $\beta$ -transitions and reveal splitting of the peak in the  $S_{\beta}(E)$  for the GT  $\beta^{+}/EC$  decay of the deformed nuclei into two components. This splitting indicates anisotropy of oscillation of the isovector nuclear density component. A low intensity component of the splitted peak has a larger energy and corresponds to the  $\gamma$ -type oscillation ( $\Delta K \neq 0$ ) of the proton holes towards neutron particles. The other component corresponds to the  $\beta$ -type oscillation ( $\Delta K = 0$ ) of the proton holes towards neutron particles. The value of such energy splitting for GT  $\beta^{+}/EC$  decay of  $^{160}\text{gHo}$  is about  $E_{\gamma} - E_{\beta} \approx 1$  MeV.

It is shown that the high-resolution nuclear spectroscopy methods give conclusive evidence of the  $S_{\beta}(E)$  resonance structure for GT and FF  $\beta$ -transitions in spherical ( $^{147}\text{Tb}$ ), deformed ( $^{160}\text{g}, ^{160}\text{mHo}$ ), and transition ( $^{156}\text{Ho}$ ) nuclei. Splitting of the peaks connected with the oscillations of neutrons against protons ( $E1$  GDR), of proton holes against neutrons (peaks in  $S_{\beta}(E)$  of the  $\beta^{+}/EC$  – decay), and of protons against neutron holes (peaks in  $S_{\beta}(E)$  of the  $\beta^{-}$  – decay) is discussed.

References

- [1] Yu.V. Naumov, A.A. Bykov, I.N. Izosimov, *Sov.J.Part.Nucl.*, **14**, 175 (1983).
- [2] I.N. Izosimov, V.G. Kalinnikov, A.A. Solnyshkin, *Physics of Particles and Nuclei*, **42**, 1804 (2011). DOI: 10.1134/S1063779611060049.
- [3] I.N. Izosimov, V.G. Kalinnikov, A.A. Solnyshkin, *Physics of Atomic Nuclei*, **75**, 1400 (2012). DOI: 10.1134/S1063778812110099.
- [4] I.N. Izosimov, V.G. Kalinnikov, A.A. Solnyshkin, *Journal of Physics: Conf. Ser.*, **381**, 012054 (2012). DOI:10.1088/1742-6596/381/1/012054.

**РЕДКИЕ РАСПАДЫ В МЕЗОНА**

*Исадыков А., Иванов М.А.*

ЛТФ, ОИЯИ, Дубна, РФ

В проведенных в последнее время экспериментах наблюдались расхождения с предсказаниями Стандартной модели в редких распадах В-мезона. Редкие распады, идущие за счет нейтральных токов с изменением флейвора, позволяют исследовать эффекты физики за пределами Стандартной модели. За последнее десятилетие множество наблюдаемых, включая брэнчинги, СР и угловые асимметрии в инклюзивных и эксклюзивных модах распада В-мезона, были измерены на В-фабриках и на экспериментах ЛНС. Эти данные позволяют исследовать спиральную структуру во взаимодействиях с изменением аромата, а также возможные новые источники СР-нарушения.

СПАРИВАНИЕ ТОЖДЕСТВЕННЫХ НУКЛОНОВ В ИЗОТОПАХ ВБЛИЗИ 90Zr

Имашева Л.Т. <sup>1</sup>, Ишханов Б.С. <sup>1,2</sup>, Степанов М.Е. <sup>1</sup>, Третьякова Т.Ю. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, 119991 Москва, Россия.

Силы спаривания тождественных нуклонов в ядре приводят к формированию мультиплета основного состояния (GSM, ground state multiplet), уровни которого могут быть рассчитаны в приближении  $\delta$ -взаимодействия [1]. Единственным параметром данного приближения является величина расщепления GSM, которую можно определить из экспериментальных значений масс соседних ядер по соотношениям для четно-нечетного эффекта. Данный подход показывает хорошие результаты в ядрах, имеющих пару и более тождественных нуклонов (дырок) сверх заполненного магического остова [2-3].

В работе рассмотрено проявление спаривания тождественных нуклонов в состоянии  $j = 9/2$  в низлежащих возбуждениях ядер вблизи 90Zr ( $N=50, Z=40$ ). Несмотря на то, что  $N = 50$  является магическим числом и соответствует заполненной нейтронной оболочке, в спектре возбужденных состояний 90Zr присутствует набор уровней GSM, расщепление которого соответствует энергии спаривания нейтронов  $\Delta_{nn} = 3,71$  МэВ. В спектрах остальных ядер в цепочке изотонов с  $N=50$  отчетливо прослеживаются мультиплеты состояний с сеньорити  $\nu \geq 2$ , расщепление которых определяется энергией спаривания протонов. Сравнение результатов расчетов спектров GSM в приближении  $\delta$ -взаимодействия с экспериментальными данными и результатами работ [4,5] демонстрирует состоятельность данного подхода в описании положения уровней с большими значениями  $J$  и качественной структуры спектров.

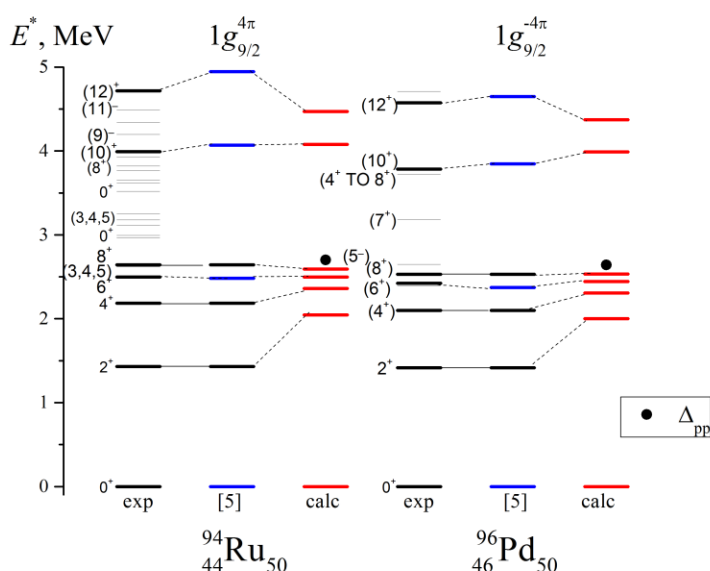


Рис.1 Спектры изотопов 94Ru и 96Pd: экспериментальные значения (слева), расчеты в приближении  $\delta$ -сил (справа) и результаты работы [5]

[1] A. Heusler and P. von Brentano // *Eur. Phys. J. A* **38**, 9 (2008)  
 [2] L. T. Imasheva, B. S. Ishkhanov, M. E. Stepanov, T. Y. Tretyakova // *Bull.of .RAS: Physics.* **79**, 521 (2015)  
 [3] L. T. Imasheva, B. S. Ishkhanov, S. V. Sidorov et al. // *Bull. of RAS: Physics.* **80**, 313 (2016)  
 [4] A. Escuderos, L. Zamick // *Phys. Rev.* **C73**, 044302 (2006)  
 [5] D.J. Rowe, G. Rosensteel // *Phys. Rev. Lett.* **87**, 172501 (2001)

**A DETAILED EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE KLL AUGER ELECTRON SPECTRUM OF Zr**

<sup>1,2</sup> *Inoyatov A.Kh.*, <sup>1,3</sup> *Kovalik A.*, <sup>2</sup> *Muminov T.M.*, <sup>1</sup> *Perevoshchikov L.L.*, <sup>1</sup> *Filosofov D.V.*, <sup>3</sup> *Vénos D.*

<sup>1</sup> JINR, Dubna, RF; <sup>2</sup> UNU, Tashkent, UZ; <sup>3</sup> NPI ASCR, Řež, CZ

E-mail: [inoyatov@jinr.ru](mailto:inoyatov@jinr.ru)

The KLL Auger electron spectrum of Zr (Z=40) emitted in the EC decay of <sup>90</sup>Nb (T<sub>1/2</sub>=14.60 h) was studied in detail at the 7 eV instrumental resolution using a combined electrostatic electron spectrometer [1] and a <sup>90</sup>Nb source prepared by adsorption on a polycrystalline carbon foil. Energies, relative intensities, and natural widths (*I<sub>i</sub>*) of all nine well resolved basic spectrum components were determined (see the table) and compared with results of both the only previous measurement [2] (in which the X-ray electron-hole excitation was applied) and the widely used calculations of the transition energies [3] (performed in a semi-empirical approach) and transition probabilities [4]. Despite of great uncertainties in the former experimental transition energy determination, significant disagreement of both the absolute and relative transition energies between these two experiments was especially observed for the KL<sub>1</sub>L<sub>2</sub>(<sup>3</sup>P<sub>0</sub>), KL<sub>1</sub>L<sub>3</sub>(<sup>3</sup>P<sub>1</sub>), and KL<sub>2</sub>L<sub>3</sub>(<sup>1</sup>D<sub>2</sub>) transitions. The absolute KLL transition energies [2] are evidently shifted to higher values due to an erroneous energy value of the KL<sub>2</sub>L<sub>3</sub>(<sup>1</sup>D<sub>2</sub>) Auger transition in Cu used for the spectrometer energy scale calibration in the work [2]. Thus the KL<sub>2</sub>L<sub>3</sub>(<sup>1</sup>D<sub>2</sub>) transition energy [2] is higher by 4.6(18) eV than our one (see the table) in spite of the fact that our value is increased by about 5.5 eV [3] due to the creation of the K-vacancies by the EC decay (so called “the atomic structure effect”). The relative transition intensities of the two measurements agree with each other within 1σ as well as with the calculations [4]. Nevertheless, the KL<sub>1</sub>L<sub>1-3</sub> transition intensities [2] seem to be systematically lower and the KL<sub>2,3</sub>L<sub>3</sub> ones higher than our values. Natural widths of the KLL spectrum components were not determined in the investigation [2]. Our values agree with the data of the compilation [5] within 1σ.

Transition	Energies (eV)		Intensities/ΣKLL (%)		<i>I<sub>i</sub></i> (eV)
	This work	Ref. [2]	This work	Ref. [2]	This work
KL <sub>1</sub> L <sub>1</sub> ( <sup>1</sup> S <sub>0</sub> )	-521.0(6)	-520.1(19)	8.4(5)	7.6(9)	10.9(18)
KL <sub>1</sub> L <sub>2</sub> ( <sup>1</sup> P <sub>1</sub> )	-299.6(4)	-301.7(18)	15.1(6)	14.4(15)	10.3(11)
KL <sub>1</sub> L <sub>2</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>0</sub> )	-262(3)	-277(4)	1.7(5)	1.4(9)	10.3(11)
KL <sub>1</sub> L <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>1</sub> )	-214.0(5)	-221.7(19)	8.5(6)	7.6(9)	7.9(13)
KL <sub>1</sub> L <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>2</sub> )	-188.2(12)	-185(4)	3.6(5)	3.6(9)	7.8(13)
KL <sub>2</sub> L <sub>2</sub> ( <sup>1</sup> S <sub>0</sub> )	-92.3(15)	-87(4)	2.9(5)	2.2(9)	6.8(15)
KL <sub>2</sub> L <sub>3</sub> ( <sup>1</sup> D <sub>2</sub> )	13367.3(13) <sup>a</sup>	13371.9(12) <sup>a</sup>	44.0(11)	44.8(28)	7.2(5)
KL <sub>3</sub> L <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>0</sub> )	+71.9(13)	+65(4)	2.9(5)	3.1(14)	7.9(9)
KL <sub>3</sub> L <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>2</sub> )	+95.1(6)	+93(4)	12.9(6)	15.3(15)	8.5(9)

<sup>a</sup> The absolute transition energy related to the Fermi level

- [1] Ch. Brianson, et al. Nucl. Instrum. Methods **221**, 547 (1984)
- [2] O. Hörmfeldt, et al., Arkiv Fysik **23**, 155 (1962)
- [3] F.P. Larkins, At. Data Nucl. Data Tables **20**, 311 (1977)
- [4] M.H. Chen, B.Craseman, Phys. Rev. A **21**, 442 (1980)
- [5] J.L. Campbell, T. Papp, Atom. Data Nucl. Data Tables **77**, 1 (2001).

**THE EFFECT OF THE ATOMIC ENVIRONMENT ON THE KLM+KLN AUGER ELECTRON SPECTRUM OF RUBIDIUM**

<sup>1,2</sup> *Inoyatov A.Kh.*, <sup>a,c</sup> *Kovalik A.*, <sup>a</sup> *Perevoshchikov L.L.*, <sup>a</sup> *Filosofov D.V.*, <sup>c</sup> *Vénos D.*, <sup>d</sup> *Lee B.Q.*, <sup>e</sup> *Ekman J.*, <sup>a,f</sup> *Baimukhanova A.*

<sup>1</sup> JINR, Dubna, RF; <sup>2</sup> UNU, Tashkent, UZ; <sup>3</sup> NPI ASCR, Řež, CZ; <sup>4</sup> ANU, Canberra, AUS

<sup>5</sup> Malmö University, Sweden; <sup>6</sup> INP, Almaty, KZ

E-mail: [inoyatov@jinr.ru](mailto:inoyatov@jinr.ru)

Using a combined electrostatic electron spectrometer [1], the KLM+KLN Auger electron spectrum of rubidium ( $Z=37$ ) accompanying the decay of  $^{83}\text{Sr}$  and  $^{85}\text{Sr}$  was studied in detail for the first time. Radioactive atoms were situated in polycrystalline platinum and carbon matrices and in an evaporated layer on a carbon backing. Energies, relative intensities, and natural widths of fifteen basic spectrum components were determined (see the table – preliminary results) and compared with the calculations and experimental data for krypton ( $Z=36$ ) as well. Relative semi-empirical line energies [2] were found to agree within  $3\sigma$  with the measured values while disagreement with experiment exceeding  $3\sigma$  was often observed for values obtained from our multiconfiguration Dirac-Hartree-Fock calculations. This can be mainly attributed to the vapour-metal shifts of Auger-electron energies, as the theoretical energies calculated in this work are referenced to the vacuum level, whereas the semi-empirical and observed energies are referenced to the Fermi level. The semi-empirical absolute energy [2] of the dominant spectrum component agrees with the experimental value within  $1\sigma$ . Shifts of  $+ (0.3\pm 0.2)$  and  $- (1.8\pm 0.3)$  eV were measured for the dominant KLM spectrum components between the  $^{85}\text{Sr}$  sources prepared by vacuum evaporation on and implanted into the carbon foil, respectively, relative to  $^{85}\text{Sr}$  implanted into the platinum foil. A value of  $(711\pm 3)$  eV was determined for the energy difference of the dominant components of the KLM+KLN Auger electron spectra of rubidium and krypton generated in the polycrystalline platinum matrix. From a comparison of the measured data and available theoretical results, the general conclusion can be drawn that the proper description of the KLM+KLN Auger electron spectrum for  $Z$  around 37 should still be based on intermediate coupling of angular momenta taking into account relativistic effects.

Transition(s)	Energy (eV)		Intensity/ $\Sigma(\text{KLM}+\text{KLN})$	
	Experiment	Theory	Experiment	Theory
	This work	This work	This work	This work
KL <sub>1</sub> M <sub>1</sub> ( <sup>1</sup> S <sub>0</sub> , <sup>3</sup> S <sub>1</sub> )	-340.5(10)	-344.7	8.5(7)	10.9
KL <sub>1</sub> M <sub>2</sub> ( <sup>1</sup> P <sub>1</sub> , <sup>3</sup> P <sub>0</sub> )	-260.8(10)	-265.5	7.7(9)	7.5
KL <sub>1</sub> M <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>1</sub> , <sup>3</sup> P <sub>2</sub> )	-250.5(12)	-256.0	6.3(9)	8.8
KL <sub>2</sub> M <sub>1</sub> ( <sup>1</sup> P <sub>1</sub> , <sup>3</sup> P <sub>0</sub> )+	-132.4(12)	-131.9	3.5(6)	6.3
KL <sub>1</sub> M <sub>4,5</sub>				
KL <sub>3</sub> M <sub>1</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>1</sub> , <sup>3</sup> P <sub>2</sub> )	-76.9(14)	-73.1	4.2(9)	7.9
KL <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ( <sup>1</sup> S <sub>0</sub> )	-68.8(14)	-66.8	3.6(9)	2.3
KL <sub>2</sub> M <sub>3</sub> ( <sup>1</sup> D <sub>2</sub> , <sup>3</sup> D <sub>1</sub> )+	-50.5(5)	-50.8	20.6(13)	23.6
KL <sub>2</sub> M <sub>2</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>1</sub> )				
KL <sub>1</sub> N	-23.5(13)	-17.3	2.2(5)	3.0
KL <sub>3</sub> M <sub>2</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>2</sub> , <sup>3</sup> S <sub>1</sub> )+	13121.9(17) <sup>a</sup>	13107.1 <sup>a</sup>	23.5(17)	24.6
KL <sub>3</sub> M <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> P <sub>0</sub> )				
KL <sub>3</sub> M <sub>3</sub> ( <sup>3</sup> D <sub>2</sub> , <sup>3</sup> D <sub>3</sub> , <sup>1</sup> P <sub>1</sub> )	+6.4(8)	+6.7	6.9(13)	9.3
KL <sub>2</sub> M <sub>4,5</sub>	+78.3(9)	+81.9	2.5(5)	3.1
KL <sub>3</sub> M <sub>4,5</sub>	+136.4(9)	+140.4	3.5(4)-1	4.8
KL <sub>2</sub> N <sub>2,3</sub>	+195.8(14)	+194.3	2.6(4)+1	2.6
KL <sub>3</sub> N <sub>1</sub>	+236.6(15)	+236.5	0.8(3)+1	1.0
KL <sub>3</sub> N <sub>2,3</sub>	+253.3(11)	+258.7	3.6(4)	3.8

<sup>a</sup> The absolute energy related to the Fermi level.

[1] Ch. Briånson, et al. Nucl. Instrum. Methods **221**, 547 (1984)

[2] F.P. Larkins, At. Data Nucl. Data Tables **20**, 311 (1977)

**РАСЧЕТ КОРРЕЛЯЦИЙ ПРИ ЧЕТЫРЕХПРОТОННОМ РАСПАДЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО**

*Исмаилова А.Н., Григоренко Л.В., Шаров П.Г.*

Объединённый институт ядерных исследований, Государственный университет «Дубна»  
г. Дубна, Российская Федерация

Для относительно легких стабильных изотопов характерно примерно равное число нейтронов и протонов в ядре (ядерная материя симметрична). При этом, характерная энергия связи нуклона равна нескольким МэВ. Такие ядра образуют на карте изотопов "долину ядерной стабильности". При изменении соотношения протонов и нейтронов, уменьшается энергия связи ядра. При увеличении избытка протонов (нейтронов) энергия связи протона (нейтрона) уменьшается, в какой-то момент времени переходит через ноль и становится отрицательной. Таким образом ядро становится ядерно-нестабильным (несвязанным). На карте изотопов области связанных и несвязанных ядер отделены линиями, которые называются «границами стабильности».

Свойства ядер вблизи границ стабильности значительно отличаются от свойств стабильных ядер. Примером может служить динамика двухпротонного ( $2p$ ) распада [1]. Для стабильных ядер энергия отделения двух протонов ( $S_{2p}$ ) больше энергии отделения одного протона ( $S_p$ ).  $2p$  распад идет последовательно заселением промежуточных состояний. Но вблизи границ стабильности возможна ситуация, когда  $S_p > S_{2p}$ , и наблюдается прямой  $2p$  распад (т. е. протоны излучаются одновременно без заселения промежуточного состояния).

Есть указания на существование ядерных систем, подверженных распаду с испусканием четырех протонов из основного состояния. Такой вид распада обладает довольно сложной динамикой и его изучение является интересной задачей как для теоретиков, так и для экспериментаторов.

Единственной экспериментально изученной системой, испытывающей  $4p$  распад из основного состояния, является  ${}^8\text{C}$ . Эксперимент [2] показал, что динамика распада  ${}^8\text{C}$  не сводится ни к прямой, ни к последовательной. Распад происходит в два этапа: на первом этапе происходит испускание двух протонов и заселение резонанса  ${}^6\text{Be}$ , на втором этапе данный резонанс распадается. Целью данной работы является качественное описание корреляций при подобном процессе. Было проведено теоретическое исследование  $4p$  распада в следующем формализме:

1. Амплитуда распада факторизуется на две трехчастичных амплитуды
2. Антисимметризация амплитуды проводится численно

Исследование  $4p$  распада проводилось численно методом Монте-Карло в силу весьма громоздких и сложных вычислений при аналитическом решении задачи. Была составлена модель  $4p$  распада экзотических ядер в качестве системы пяти тел, посчитана кинематика такой системы. Посредством Монте-Карло модуляций был получен набор первичных событий (фазовый объем, энергии подсистем, импульсы) в системе координат Якоби. В ходе работы были рассмотрены ограничения на возможные наборы квантовых чисел, связанные с антисимметризацией по перестановкам протонов, были введены приближения фазового объема, не антисимметризованной амплитуды и антисимметризованной амплитуды. Построены распределения по координатам Якоби и в системе кор-протон.

В результате были получены расчеты энерго-угловых и кор-протонных корреляций в реакции  ${}^8\text{C} \rightarrow {}^6\text{Be} + 2p \rightarrow {}^4\text{He} + 4p$ . Расчеты корреляций демонстрируют, что при исследованиях распределений необходим учет антисимметризации, т.к. в якобиевских подсистемах и в системе кор-протон были получены существенно отличающиеся картины для не антисимметризованной и антисимметризованной амплитуд. В работе рассмотрено довольно простое приближение для описания  $4p$  распада, которое учитывает тождественность протонов распада, на примере системы  ${}^8\text{C}$ . В дальнейшем будет продолжено теоретическое исследование  $4p$  распада и в других системах.

Список публикаций:

- [1] Л.В. Григоренко ЭЧАЯ. Т. 40, № 5. (2009)
- [2] Charity R.J., Elson J.M., Manfredi J. Phys.Rev. Vol. C84. P. 014320. (2011)

ДВУХПРОТОННЫЙ ВИРТУАЛЬНЫЙ РАСПАД  $^{19}\text{Mg}$  В СВЕРХТЕКУЧЕЙ МОДЕЛИ

Иванков Ю.В., Кадменский С.Г.

Воронежский госуниверситет, Воронеж, Россия  
kadmensky@phys.vsu.ru

При использовании теории двухпротонных двухступенчатых распадов ядер [1] исследованы парциальные ширины и угловые распределения вылетающих протонов для двухпротонного диагонального виртуального распада основного состояния родительского ядра  $^{19}\text{Mg}$  в основное состояние ядра  $^{17}\text{Ne}$ . Угловое распределение вылетающих протонов  $W(\Omega_{\vec{k}_1}, \Omega_{\vec{k}_2})^{J_A \sigma_A}$ , где  $\vec{k}_1, \vec{k}_2$  – волновые вектора первого и второго протонов, представляется при использовании обозначений работы [1] в виде

$$W(\Omega_{\vec{k}_1}, \Omega_{\vec{k}_2})^{J_A \sigma_A} = \frac{1}{(2J_A + 1)(2\pi)} \int_0^{Q_0} dT \sum_{m_A m_1 m_2} \left| \sum_{\substack{J_{A-1} \sigma_{A-1} m_{A-1} \\ l_1 l_2 j_1 j_2 m_1 m_2 m_l m_{j_2}}} Y_{l_1 m_1}(\Omega_{\vec{k}_1}) Y_{l_2 m_2}(\Omega_{\vec{k}_2}) C_{J_{A-1} j_1 m_{A-1} m_{j_1}}^{J_A m_A} C_{l_1 \frac{1}{2} m_1 m_1}^{j_1 m_{j_1}} \times \right. \\ \left. \times i^{l_1 + l_2} C_{J_{A-2} j_2 m_{A-2} m_{j_2}}^{J_{A-1} m_{A-1}} C_{l_2 \frac{1}{2} m_2 m_2}^{j_2 m_{j_2}} \sqrt{\Gamma_{j_1 l_1}^A} \sqrt{\Gamma_{j_2 l_2}^{A-1}} \frac{1}{Q_1(J_A, \sigma_A; J_{A-1}, \sigma_{A-1}) - T} \right|^2 \quad (1)$$

где  $\Gamma_{jl}^A$  – однопротонная ширина, описывающая вылет протона из оболочечного состояния  $nlj$  ядра  $A$  и рассчитываемая в рамках сверхтекучей модели ядра [2-3]. Полная ширина  $\Gamma_{2p}$  исследуемого двухпротонного распада связана с угловым распределением (1) как  $\Gamma_{2p} = \int W(\Omega_{\vec{k}_1}, \Omega_{\vec{k}_2}) d\Omega_{\vec{k}_1} d\Omega_{\vec{k}_2}$ .

В таблице приведены двухпротонные парциальные ширины и соответствующие оболочечные энергии  $E(nlj)$ , рассчитанные в рамках сверхтекучей модели сферического ядра [2] при использовании константы парного взаимодействия протонов  $g_z = 1.2$  с ядерными потенциалами Немировского, Фаянса и Гринлисса-Бечетти [5] взаимодействия протона с дочерним ядром, которые имеют вид  $V_{pA-1} = q(V_N + V_s)$ , когда оба протона вылетают из одинаковых однопротонных оболочечных состояний  $2s(1/2)$ ,  $1d(5/2)$ ,  $1d(3/2)$ ,  $1p(1/2)$  и подгоночный параметр  $q=0.97$ .

Потенциал $nlj$	Немировского		Фаянса		Гринлисса - Бечетти	
	$E(nlj)$ , МэВ	$\Gamma(nlj)$ , МэВ	$E(nlj)$ , МэВ	$\Gamma(nlj)$ , МэВ	$E(nlj)$ , МэВ	$\Gamma(nlj)$ , МэВ
$1d(3/2)$	4.924	$2.8 \cdot 10^{-16}$	2.352	$1.0 \cdot 10^{-15}$	4.604	$5.4 \cdot 10^{-16}$
$2s(1/2)$	3.399	$2.4 \cdot 10^{-10}$	1.772	$9.8 \cdot 10^{-10}$	1.867	$28.8 \cdot 10^{-10}$
$1d(5/2)$	2.817	$1.3 \cdot 10^{-14}$	2.074	$1.4 \cdot 10^{-14}$	2.787	$1.3 \cdot 10^{-14}$
$1p(1/2)$	-6.579	$1.2 \cdot 10^{-16}$	-7.856	$1.3 \cdot 10^{-16}$	-6.391	$4.4 \cdot 10^{-16}$

Отсюда видно, что подавляющий вклад в полную ширину дает возбужденное оболочечное состояние  $2s(1/2)$  для потенциала [1], а значение парциальной ширины совпадает с экспериментальной шириной  $\Gamma^{\text{exp}} = (1.1_{-0.25}^{+1.4}) \cdot 10^{-10}$  [4] в пределах ошибок измерений. Угловое распределение вылетающих протонов, рассчитанное с учетом оболочечных состояний  $2s(1/2)$ ,  $1d(5/2)$  симметрично относительно угла  $\theta = 90^\circ$ , где  $\theta$  – угол между направлениями импульсов вылетающих протонов.

Работа поддержана грантом РФФИ (15-02-03402-а).

1. Кадменский С.Г., Иванков Ю.В. // ЯФ. 2014. Т. 77. С. 1075.
2. Соловьев В.Г. Теория атомного ядра: Ядерные модели. М.: Энергоиздат, 1981.
3. Кадменский С.Г., Иванков Ю.В., Любашевский Д.Е. принято к печати в ЯФ (2017)
4. Mukha I. et al. // Phys. Rev. C. 2008. V. 77. P. 061303(R).
5. Бугров В.П., Кадменский С.Г. // ЯФ. 1985. Т. 41. С. 1123.



**РАЗРАБОТКА МЕТОДА КВАЗИМОНОХРОМАТИЗАЦИИ ТОРМОЗНОГО СПЕКТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ВБЛИЗИ ПОРОГА**

*Недорезов В.Г., Конобеевский Е.С., Зувев С.В., Бурмистров Ю.М., Пономарев В.Н., Потапьев С.И., Солодухов Г.В., Туринге А.А.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

В последние годы для измерения сечений фотоядерных реакций вблизи порога возобновились работы по модернизации традиционных методов, основанных на использовании тормозных гамма-пучков. Одним из таких методов является “квазимонохроматизация” тормозного спектра, предложенная в работе [1]. Вместо измерения кривой выхода и использования сложной процедуры обработки для получения сечений, предлагалось измерять две или три точки при фиксированной верхней границе тормозного спектра, которая определяется энергией электрона. В результате после процедуры вычитания и сглаживания спектров получается квазимонохроматический спектр фотонов, для которого определяется сечение реакции. Это стало возможным благодаря современному уровню моделирования энергетических и угловых распределений тормозных фотонов по программе GEANT-4. При этом возросли требования к измерению параметров пучка электронов в процессе эксперимента, включая спектральные характеристики, размеры пучка на мишени и др.

Указанный метод отработан на линейном ускорителе электронов ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН. С помощью метода наведенной активности получены предварительные данные по сечениям реакций ( $\gamma, \gamma'$ ) на некоторых изотопах кадмия и индия при энергиях “квазимоноэнергетических” фотонов от 4.5 до 8.5 МэВ. Измерения активационных спектров после каждого облучения проводились с использованием низкофонового гамма-спектрометра [2], включающего детектор из сверхчистого германия, размещенный в низкофоновой камере с «пассивной» защитой.

Работа поддержана Российским научным фондом, грант РНФ 16-12-10039.

1. Van Camp E. et al. // *Phys. Rev. C*. 1981. V. 24. P. 2499.
2. Andreev A.V. et al. // *Nucl. Phys. and Eng.* 2013. V.4. P. 879.

**INVERSE QUASIFISSION IN THE REACTIONS  $^{156,160}\text{Gd} + ^{186}\text{W}$**

*Itkis I.M., Knyazheva G.N., Kozulin E.M.*

Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia  
jitkis@jinr.ru

To investigate the role of shell effects in the formation of neutron-rich fragments of multinucleon transfer reactions the experiments to study the properties of the binary channel in the reactions  $^{156,160}\text{Gd} + ^{186}\text{W}$  at energies close to the Coulomb barrier were conducted using the beams of  $^{156,160}\text{Gd}$  ions extracted from the U400 cyclotron (FLNR, JINR). These experiments aimed mainly at obtaining the production cross sections of the lead-like fragments in the process of inverse quasifission. The mass and energy distributions of the binary reaction products were measured at an energy of 860 and 935 MeV of  $^{160}\text{Gd}$  ions and 878 MeV in the case of  $^{156}\text{Gd}$  ions. The excitation energies of primary fragments were estimated using their measured masses and energies.

The enhanced yield of products with masses 200-215 u was observed for both reactions. Moreover, at an energy above the barrier for side-side collisions (935 MeV) the yield of Pb-like fragments is one order of magnitude higher than at the Coulomb barrier energy due to the orientation effects.

The enhancement found in the yield of products with masses heavier than the target mass confirms that low-energy multinucleon transfer reactions may be used for producing new neutron-rich isotopes and for the synthesis of new superheavy elements.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЛОВИЙ Т-ИНВАРИАНТНОСТИ ДЛЯ ОТБОРА МЕХАНИЗМОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ, РАСПАДОВ И ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР**

*Кадменский С.Г., Кострюков П.В.*

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия  
kadmensky@phys.vsu.ru

При использовании результатов работ [1-2] показано, что анизотропии, обусловленные единым механизмом их появления в дифференциальных сечениях исходной и обращенной к ней по времени многочастичной многоступенчатой ядерной реакции, выражаются через общие скалярные (псевдоскалярные) функции, зависящие от векторов импульсов и спинов частиц начальных и конечных каналов анализируемых реакций. В общем случае значения указанной функции для исходной и обращенной по времени реакции могут отличаться друг от друга. Продемонстрировано, что условие Т-инвариантности [3] в ядерных системах требует равенства данных значений, которые при переходе от исходной к обращенной по времени реакции преобразуются друг в друга при инверсии всех векторов импульсов и спинов частиц и перестановке данных векторов в соответствии с обращением последовательности ступеней исследуемых реакций при переходе от исходной к обращенной по времени реакций. Сделан вывод, что, экспериментальное или теоретическое знание формы анализируемых анизотропий для исходной реакции, позволяет определить формы аналогичных анизотропий для обращенной по времени реакции без её реального проведения и при использовании условия Т-инвариантности провести отбор возможных механизмов появления указанных анизотропий.

Найденное условие Т-инвариантности использовано для анализа механизмов появления возможных асимметрий с различными Р- и Т-чётностями в сечениях реакций двойного и тройного деления ориентированных ядер-мишеней холодными поляризованными нейтронами. Показано, что некоторые рассматриваемые анизотропии для тройного деления ядер удовлетворяют условию Т-инвариантности, если третьи частицы и фрагменты деления рождаются не одновременно, а на последовательных стадиях указанного деления. В отличие от представлений ряда работ, например [4], обнаружены такие анизотропии, которые обращаются в нуль при всех возможных Т-инвариантных механизмах их появления. Сделан вывод, что проведение экспериментального анализа подобных асимметрий, в принципе, позволяет оценить характеристики Т-неинвариантных взаимодействий в ядерных системах.

Литература

1. Кадменский С.Г., П. В. Кострюков, ЯФ **79**, 786 (2016)
2. Кадменский С.Г., П. В. Кострюков, принято к печати в ЯФ (2017)
3. М. L. Goldberger, К. M. Watson, *Collision theory* (Wiley J. & Son Inc., 1964)
4. F. Arash, M. J. Moravcsik, G. Goldstein, Phys.Rev. Let. **54**, 2649 (1985).

**УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ ДЛЯ ДВУХПРОТОННЫХ РАСПАДОВ СВЕРХТЕКУЧИХ ЯДЕР И ДИПРОТОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ**

*Кадменский С.Г., Булычёв А. О., Иванков Ю. В.*

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия  
Email: kadmensky@phys.vsu.ru

Ширина  $\Gamma_d$  двухпротонного распада родительского ядра ( $Z, A$ ) при формировании из протонной куперовской пары родительского ядра дипротонного состояния двух вылетающих протонов с полной энергией  $Q$ , спином  $S = 0$  и относительным орбитальным моментом  $l = 0$ , характеризуемого энергией  $E = \mathbf{P}^2 / 4m_p$  и импульсом  $\mathbf{P} = \mathbf{P}_1 + \mathbf{P}_2$  центра масс, а также энергией  $\varepsilon = \mathbf{p}^2 / m_p$  и импульсом  $\mathbf{p} = (\mathbf{P}_1 - \mathbf{P}_2) / 2$  относительного движения, в квазиклассическом приближении [1] может быть представлена как

$$\Gamma_d = A \int P(Q - \varepsilon) W_p(\varepsilon) d\mathbf{p}, \quad (1)$$

где  $P(Q - \varepsilon)$  - фактор проницаемости центра тяжести дипротона:

$$P(Q - \varepsilon) = \exp \left\{ -\frac{2}{\hbar} \int_{R_0}^{R_x} \sqrt{2(2m_p) \left[ \frac{2Z(Z-2)e^2}{r} - Q + \varepsilon \right]} dr \right\}, \quad (2)$$

причём  $R_0 = r_0 [2^{1/3} + (A-2)^{1/3}]$ , где  $r_0 = 1.45$  ФМ, а  $R_{ex} = \frac{2(Z-2)e^2}{Q-E}$  ФМ – внешняя точка поворота.

Функция  $W_p(\varepsilon)$  в (1) представляет собой приведённое энергетическое распределение дипротона, рассчитанное в работе [2]:

$$W_p(\varepsilon) = \frac{F(\eta)}{F^2(\eta)\varepsilon + \frac{\hbar^2}{m_p} \left( -\frac{1}{a} - \frac{h(\eta)}{B} + \gamma\varepsilon \right)}, \quad (3)$$

где использованы обозначения той же работы. Вводя перпендикулярную  $p_{\perp}$  и параллельную  $p_{\parallel}$  компоненты импульса  $\mathbf{p}$  по отношению к импульсу  $\mathbf{P}$  и соответствующие им энергии  $E_{\perp} = \frac{p_{\perp}^2}{2m_p}$  и  $E_{\parallel} = \frac{p_{\parallel}^2}{2m_p}$  учитывая, что  $d\mathbf{p} = 2\pi p_{\perp} dp_{\perp} dp_{\parallel}$ , откуда при условии  $p_{\parallel} = P$ , когда  $p_{\perp} = \frac{P}{2} \sin(\theta/2)$ , где  $\theta$  – угол между векторами  $\mathbf{p}_{\perp}$  и  $\mathbf{P}$ , можно получить  $d\mathbf{p}_{\parallel} = \frac{dE_{\parallel}}{\sqrt{E_{\parallel}}} \sin\theta d\theta$  и записать ширину  $\Gamma_d$  (1) через интеграл

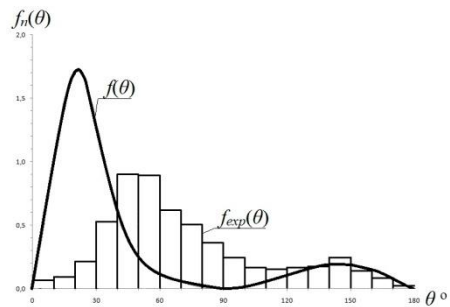
$\Gamma_d = \int f_d(\theta) d\theta$  от нормированного углового распределения  $f_d(\theta)$  вылетающих дипроtons:

$$f_d(\theta) = D \sin\theta \int \frac{P(Q - \varepsilon_{\parallel} - \varepsilon_{\perp}) W_p(\varepsilon_{\parallel} + \varepsilon_{\perp})}{\sqrt{E_{\parallel}}} dE_{\parallel} \quad (4)$$

Тогда, представляя полное нормированное угловое распределение  $f(\theta)$  двух вылетающих протонов для двухпротонного распада ядра  $^{45}\text{Fe}$  как сумму:

$$f(\theta) = af_d(\theta) + bf_{p_{3/2}}(\theta), \quad (5)$$

где  $f_{p_{3/2}}(\theta)$  – нормированное угловое распределение двух некоррелированных протонов, вылетающих из оболочечного состояния  $2p(3/2)$ , дающего наибольший вклад в формирование полной ширины  $\Gamma$  двухпротонного распада, и сравнивая распределение (5) с экспериментальным распределением указанных протонов  $\Gamma_{\text{exp}}$ , методом  $\chi^2$  можно рассчитать константы  $a$  и  $b$  в формуле (5). Как видно из Рис. нормированная гистограмма экспериментального углового распределения  $f_{\text{exp}}(\theta)$  существенно отличается от теоретического распределения (5), для которого использовалось двухпротонное распределение  $f_{p_{3/2}}(\theta)$  из работы [3], рассчитанное для сверхтекучей модели ядра.



1. В.И. Гольданский, УФН **87**, 255 (1965)
2. А.В. Migdal, Sov. Phys. JETP **1**, 2 (1955).
3. С.Г Кадменский., Ю.В. Иванков, Любашевский Д.Е., принято к печати в ЯФ (2017).

**OBSERVATION OF TRUE TERNARY AND QUATERNARY FISSION OF LOW EXCITED ACTINIDES**

<sup>1</sup>*Kamanin D.V.*, <sup>2,1</sup>*Pyatkov Yu.V.*, <sup>3</sup>*Mkaza N.*, <sup>3</sup>*Malaza V.*, <sup>1</sup>*Strekalovsky A.O.*

<sup>2</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>1</sup>National Nuclear Research University МЭФІ (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

<sup>3</sup>University of Stellenbosch, Faculty of Military Science, Military Academy, Saldanha 7395, South Africa

In our previous publications about the collinear cluster tri-partition (CCT) of the low excited nuclei [1–3], we focused on specific linear structures in two-dimensional mass distributions of fission fragments. Only such structures, always linked with magic clusters and located in the region of an essential missing mass, are considered manifestations of the CCT. A number of different CCT modes (structures) have been observed so far [3]. Physical scenario behind each mode is a subject of much interest currently. Here, we are presenting the results of analysis of the most pronounced CCT modes realizing presumably via ternary and even quaternary decays of very elongated precession configurations of the mother system.

References

1. Yu.V. Pyatkov et al., Eur. Phys. J. A 45 (2010) 29.
2. Yu.V. Pyatkov et al., Eur. Phys. J. A 48 (2012) 94.
3. D.V. Kamanin, Yu.V. Pyatkov, "Clusters in Nuclei – Vol. 3" ed. by C. Beck, Lecture Notes in Physics 875, pp. 183–246 (2013).

**ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДА В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ДЕТЕКТОРЕ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ БОРА-10**

<sup>1</sup>*Поташев С. И.*, <sup>1</sup>*Бурмистров Ю. М.*, <sup>2</sup>*Драчев А. И.*, <sup>1</sup>*Караевский С. Х.*

1-ФГБУН Институт ядерных исследований Российской академии наук, г. Москва, Россия

2-ОАО ГНЦ РФ ГНИИХТЭОС, г. Москва, Россия

Исследуются режимы работы позиционно-чувствительного детектора нейтронов на основе тонкого слоя бора-10 и ионизационной камеры с определением координат методом деления заряда с целью получения его наилучших характеристик. Измерения проводились с использованием компактного источника нейтронов ИЯИ РАН на основе ускорителя ЛУЭ-8 с мишенями из вольфрама и бериллия и замедлителем из полиэтилена. Предложены различные алгоритмы вычисления координаты, учитывающие зависимость соотношения амплитуд сигналов на двух концах распределенного сопротивления от величин этих амплитуд. Рассматривается влияние на пространственное разрешение детектора напряжения питания детектора в интервале величин от 650 В до 800 В. Изучается влияние деградации рабочего газа на позиционное разрешение детектора в интервале времени от нескольких часов до нескольких суток. Было показано, что характеристики детектора изменяются не существенно в течение суток.

Для получения высокого пространственного разрешения были созданы новые усилители с широким диапазоном линейности. Измерения проводились при различном пороге регистрации. Применялись маски из кадмия с параллельными прорезями. Получено позиционное разрешение детектора ~ 2 мм по горизонтальной координате X и ~ 4 мм по вертикальной координате Y при эффективности регистрации тепловых нейтронов ~ 3% и напряжении питания 700 В. В качестве монитора использовался гелиевый счетчик нейтронов с известной эффективностью в тепловой области. Разрешение по координате X может быть улучшено до 1,5 мм посредством увеличения порога регистрации. При этом уменьшается до 50% размер чувствительной области и снижается эффективность регистрации тепловых нейтронов до ~ 1,5%.

**CO-AXIAL FISSION INTO THREE COMPARABLE FRAGMENTS**

*Karpeshin F. F.*

D.I. Mendeleev Institute for Metrology

E-mail: [fkarpeshin@gmail.com](mailto:fkarpeshin@gmail.com)

Ternary fission is usually understood as nuclear fission into two normal fragments accompanied with emission of the third light charged particle, usually alpha particles. Long time it was considered that at low energies of the fissile nuclei under tens MEV, division into three comparable fragments is extremely improbable. Only rather recently, the idea of collinear fission into three fragments gained distribution. Purposeful searches of this mode resulted in experimental values of relative probability about  $10^{-4}$  in comparison with binary fission [1]. This revives old interest in the question.

Usually two mechanisms are considered which can realize this type of fission. One of them is, at first sight, obvious: this consecutive nuclear fission, at first on two fragments, one of which in turn undergoes fission into two others. Both events can be considered as occurring in a random way, independently from each other. The other mechanism is usually called the true ternary fission. However, for a long time this mechanism was not concretized. In Ref. [2] it is shown that this mode is due to the doorway states of the hexadecapole prefission collective vibration. Estimation of the mass ratio is obtained as  $1 : 1.87 : 1$ , in excellent agreement with experiment [1]. Conservation of the projection of the total angular momentum on the fission axis  $K=0$  warrants holding the axially-symmetric form of the fissile nucleus during the deformation up to scission. At scission, twisting of the fragments leads to appearance of the spins on the fragments and of the related rotation of the fission axis. This brings about the famous ROT effect, which might destroy the co-axial picture of the fragments flight. Trajectory calculations performed in the present work show that the angle of divergence of the fragments remains within approximately two degrees. This holds the collinear flight of the fragments, in agreement with experiment [1].

1. Y. Pyatkov et al. Eur. Phys. J. A. 2012. Vol. 48. P. 1.
2. F. F. Karpeshin. Phys. At. Nucl. 2015. Vol. 78. P. 548.

**THE NUCLEAR CLOCK AND THE RELATED TECHNOLOGIES OF THE NEXT GENERATION**

*Karpeshin F. F.<sup>1</sup>, Trzhaskovskaya M.B.<sup>2</sup>, Vitushkin L.F.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>D.I. Mendeleev Institute for Metrology; <sup>2</sup>PNPI Kurchatov center

e-mail: [fkarpeshin@gmail.com](mailto:fkarpeshin@gmail.com)

Of great interest are nuclides, in which there are excited state with extremely low energies, within the scale of a few eV or keV [1]:  $^{201}\text{Hg}$ ,  $^{189}\text{Os}$ ,  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{229}\text{Th}$  and other nuclides. Such levels are isomeric owing to small their energies. They effectively mix up with close atomic levels, forming resonances in the optical domain [2]. This gives the chance to operate with the lifetimes of these isomers in a resonant field of laser radiation. Unlike the atomic spectra, the nuclear lines are stable against influence of external fields and environment. They possess rather narrow widths. These advantages do their use attractive in many aspects, including creation of reference points of frequency in the optical range. This gives basis for development new nuclear technologies, founded on application of lasers for mastering nuclear processes. From such standpoint, one of the most perspective looks  $^{229}\text{Th}$ , in which nucleus the splitting of the basic and excited levels is minimum and makes less than  $10^{-3}\text{eV}$  [3]. There are projects of creation of an atomic clock on this transition with an uncertainty within  $10^{-21}$  [4].

Topical issues of study of this isomer are considered: experimental determination of exact energy of this isomer and optical pumping the isomeric atoms through one- and two-photon absorption. It is shown that in both cases the decisive contribution occurs still from the resonant  $8s - 7s$  electronic transition, in compliment with [2,5]. Details of the optimum scheme of experiment in neutral atoms and ions are discussed. Estimated time of the two-photon pumping in single ions of  $^{229}\text{Th}^{\text{II}}$  makes about 1.5 s with at intensity of the fields of each laser of  $1\text{ V/cm}$ .

1. G.T.Emery // Annu. Rev. Nucl. Sci. 1972. V. 22. P. 105.
2. F.F.Karpeshin. Fission in muonic atoms and the resonance conversion. Saint-Petersburg, Nauka: 2006.
3. S.L.Sakharov // Yad. Fiz. 2010. V. 73. P. 3. [Phys. Atom. Nucl. 2010. V. 73. P. 1.].
4. E.Peik and Chr.Tamm // Europhys. Lett. 2003. V. 61. P. 181.
5. F. F. Karpeshin, M. B. Trzhaskovskaya. Phys. Rev. C. 2017. Vol. 95. P. 034310.

## МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕКТРОВ ИЗ ДВУМЕРНЫХ ДИАГРАММ КОРРЕЛИРУЮЩИХ НАБЛЮДАЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ

Зуев С.В., Каспаров А.А., Конобеевский Е.С.

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

В результате экспериментального исследования ядерных реакций могут быть получены различные характеристики (энергии, импульсы, углы вылета) для нескольких вторичных частиц. В ряде случаев эти характеристики могут коррелировать, т.е. на двумерных диаграммах (например,  $E_1 - E_2$  или  $\Theta_1 - \Theta_2$ ), где  $E_{1,2}$  – энергии частиц 1 или 2,  $\Theta_{1,2}$  – их углы вылета, могут появиться выделенные области, проекции которых на оси координат дадут выраженные структуры в одномерных спектрах. Однако в ряде случаев, форма этих спектров не позволяет выделить эти структуры, несмотря на то, что проецируемые области могут быть достаточно хорошо локализованы на двумерных диаграммах.

Рассмотрены различные методы получения оптимизированных одномерных спектров, используя двумерные диаграммы коррелирующих переменных. Описана компьютерная программа, позволяющая проводить оптимизацию спектров коррелирующих наблюдаемых в ядерных реакциях, приведены варианты оптимизации спектров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-32-00743 мол\_а.

## РАСЧЕТ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА КАТАЛИТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ РЕАКТОРНЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Абишев М., Кенжебаев Н., Хасанов М., Джанибеков А.

КазНУ им. аль-Фараби, физико-технический факультет, г. Алматы, Республика Казахстан

Основной целью исследований каталитического состава является применение его в ядерных реакторах в качестве защиты от тепловых нейтронов и дополнительного источника энергии [1]. Поскольку изотопы каталитического состава не меняют свои концентрации при длительном облучении, то его срок эксплуатации будет дольше обычных конструктивных элементов. Энергия, выделяемая при превращении четырех нейтронов в одну альфа частицу дает дополнительную энергию, что способствует увеличению КПД реактора.

В этой работе были проведены расчеты и моделирование с целью получения количественных данных, проясняющие более детально некоторые аспекты рассматриваемой нами задачи. Для этого заново были рассчитаны концентрации элементов каталитического состава, где предполагалось участие только восьми изотопов [2]. Далее была создано более расширенная модель состава, где в реакциях участвуют пятнадцать изотопов. Поскольку концентрации изотопов состава сильно зависит от потока тепловых нейтронов, были получены результаты для нескольких уровней потока.

Для оценки энергии, выделяемой при облучении нейтронами, были сделаны расчеты по определению плотности тепла, испускаемого составом (heat density).

Для получения необходимых результатов была написана программа на языке C++ и были использованы ядерные данные из различных международных баз. Период полураспада и сечение поглощения нейтронов были взяты из оцененных дата файлов JEFF-3.1A, JEFF-3.2 и TENDL-2014 [5]. Программа в основном находит экспоненциальную матрицу  $\exp(\mathbf{A}t)$  методом аппроксимации Паде [6, 7], которая дает всю необходимую информацию.

Видно, что при нормальном нейтронном потоке  $10^{14}$  состав придет к равновесному состоянию только через 60,000 лет. Концентрации изотопов  $Pb^{204}, Pb^{205}$  резко уменьшаются после ста секунд облучения, это понятно, поскольку никакие изотопы не превращаются в эти ядра.

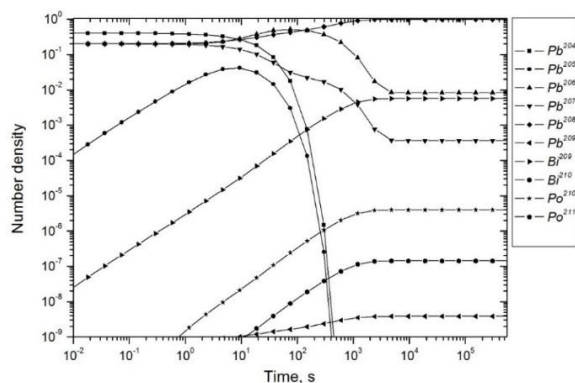


Рисунок 1 – Изменение концентрации изотопов в зависимости от времени при нейтронном потоке  $10^{14}\text{см}^{-2}\text{с}^{-1}$

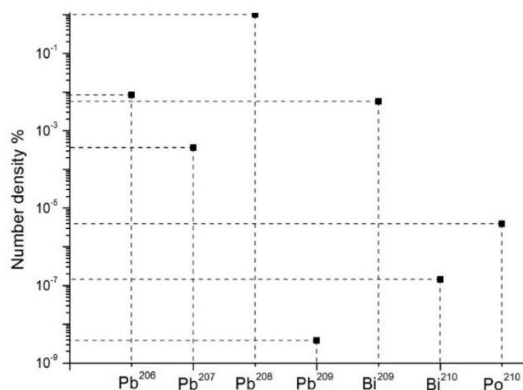


Рисунок 2 – Процентная доля изотопов КС при достижении равновесного состояния. Расчет был сделан с помощью детерминированного метода

Конечно, если мы сможем задать начальную концентрацию смеси (который должен состоять из 15 изотопов) как в равновесном состоянии, то концентрация не будет меняться во времени с начала облучения нейтронами.

На рисунке 2 приведена процентная доля каждого изотопа в каталитическом составе, при котором возможно равновесное состояние.

- [1] М.Абишев, Н.Кенжебаев, С.Кенжебаева, А.Джанибеков. Расчет прохождения нейтронов через каталитический состав (Pb, Bi, Po) с помощью программного комплекса MCNP. //Известия НАН РК. – 2016. – №3. – С. 5-11.
- [2] М.Абишев, М.Хасанов, Н.Кенжебаев. О циклической реакции с участием тепловых нейтронов. // Вестник НАН РК. – 2013. – № 6. – С. 12.
- [3] E.Burbidge, G.R.Burbidge, W.A.Fowler, F.Hoyle. Synthesis of the Elements in Stars. //Reviews of Modern Physics 29. – 1957. – №4. – С.547.
- [4] Maria Pusa. Rational Approximations to the Matrix Exponential in Burnup Calculations //Nuclear Science and Engineering. – 2011. – №16. – С.155-167.
- [5] Otto Schwerer. EXFOR Formats Description for Users. – IAEA Nuclear Data Section, 2014. P 3.
- [6] H. Bateman. Solution of a System of Differential Equations Occurring in the Theory of Radio-active Transformations. // Proc. Cambridge Phil. Soc. IS. – 1910. – №423. – С.12-19.
- [7] P. Parvaresh, M. Sohrabpour. // Design and testing of a neutron porosity probe using MCNP code. // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. – 2004. – № 260. – PP 335-337.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$ ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ

Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Насурлла М., Ходжаев Р.А.

РГП «Институт ядерной физики» МЭ РК, Алматы, Казахстан

На настоящий момент реакции  $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$  в области энергий налетающих протонов от 300 до 1200 кэВ наиболее полно изучены в [1-2]. Известно, что изотоп  $^{10}\text{B}$  является кандидатом в альтернативное топливо в перспективных термоядерных установках. В качестве компонентов конструкционных элементов планируется широкое использование изотопов бора, которые обеспечивают эффективное поглощение нейтронов во внутренних стенках ядерных и термоядерных реакторов, а также радиационную стойкость этих стенок. Очевидно, что для успешной реализации будущих ядерно-энергетических проектов необходимы точные знания сечений этих реакций в области  $E_{\text{р,лаб.}} < 1000$  кэВ. Однако имеющиеся в литературе экспериментальные данные при  $E_{\text{р,лаб.}} = 300 - 1200$  кэВ имеют большой разброс (более 50%).

Поэтому на электростатическом тандемном ускорителе УКП-2-1 Института ядерной физики МЭ РК были получены новые экспериментальные данные по дифференциальным и полным сечениям реакций  $^{10}\text{B}(\text{p},\alpha)^7\text{Be}$  при  $E_{\text{р,лаб.}} = 300 - 1200$  кэВ. В качестве мишеней использовались пленки бора с обогащением по  $^{10}\text{B}$  около 80%. Подробное описание ускорителя и экспериментальных методов можно найти в работах [3-5] и в их ссылках.

Было выполнено подробное измерение дифференциальных сечений реакции  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  для углов  $\theta_{\text{лаб.}} = 50, 70, 90, 120$  и  $140$  градусов при  $E_{p, \text{лаб.}} = 300, 320, 340, 360, 380, 400, 500, 600, 700, 800, 900$  и  $1000$  кэВ. Найдены интегральные сечения данного процесса. В пределах погрешностей результаты наших измерений совпали с литературными данными в перекрывающихся областях. Выполнен реанализ упругого рассеяния протонов на ядрах  $^{10}\text{B}$  при тех же самых энергиях, в результате чего получены оптические потенциалы взаимодействия, которые были использованы в расчетах сечений реакции  $^{10}\text{B}(p,\alpha)^7\text{Be}$  в рамках метода искаженных волн.

Настоящая работа выполнена при финансовой поддержке программы развития атомной энергетики в Республике Казахстан по теме: «Измерение и расчет сечений ядерных реакций и выходов осколков деления на ядрах материалов ядерно-энергетических установок».

Литература:

1. A. Cacioli, et al. // Eur. Phys. J. A. 2016. V. 52: P.136.
2. C. Spitaleri, et al. // Phys. Rev. C. 2014. V.90. P.035801.
3. N. Burtebayev, et al. // Phys. Rev. C. 2008. V.78. P.035802.
4. С.Б. Дубовиченко и др. // Яд. Физ. 2011.Т.74. №7. С.1013.
5. Sergey Dubovichenko, et al // Chinese Physics C. 2017. V.41, № 1. P.014001.

### ЗАРЯДОВЫЕ РАДИУСЫ ИЗОТОПОВ Sn В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

*Беспалова О.В., Ермакова Т.А., Климочкина А.А., Спаская Т.И.*

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
 “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”  
 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына  
 Москва, Российская Федерация

Среднеквадратичный зарядовый радиус  $r_{ch}$  – одна из фундаментальных величин, характеризующих свойства ядра. В настоящей работе исследуются возможности дисперсионной оптической модели (ДОМ) [1] для расчета зарядовых радиусов ядер на примере сферических четно-четных изотопов  $^{100-132}\text{Sn}$ .

Зарядовый радиус изотопов Sn находился из распределения протонной плотности, вычисленной в одночастичном подходе по формуле

$$\rho_p(r) = \frac{1}{4\pi} \sum_{nlj} (2j+1) N_{nlj} \bar{u}_{nlj}^2(r),$$

где  $N_{nlj}$  – вероятности заполнения одночастичных состояний протонов в ядре,  $\bar{u}_{nlj}^2(r)$  – радиальная часть волновой функции, являющейся решением уравнения Шредингера с дисперсионным оптическим потенциалом (ДОП). Протонный ДОП нестабильных изотопов  $^{100,132}\text{Sn}$  и стабильных изотопов  $^{112,116,118,120,124}\text{Sn}$  был определен ранее [2]. В качестве значений  $N_{nlj}$  использовались результаты расчета вероятностей заполнения по приближенным формулам ДОМ и по формуле теории БКШ с эмпирическим значением параметра щели спаривания.

Было достигнуто согласие результатов расчета  $r_{ch}$  с имеющимися экспериментальными данными в пределах  $< 2\%$ . Расчет показал, что отличие значений радиусов  $r_{ch}$ , соответствующих вероятностям  $N_{nlj}$ , вычисленным по формулам ДОМ и по формуле БКШ, определяется, в основном, заселенностями валентных частичных состояний с энергией выше энергии Ферми  $E_F$ . Важная роль валентных одночастичных состояний в формировании хвоста распределений плотности ядер обсуждается в [4] на примере нейтронной плотности ядер Ca, Ni, Zr, Sn и Pb. Учет оболочечного эффекта в мнимой части ДОМ [3] изотопов Sn, заключающийся в ее уменьшении для магических ядер по сравнению с немагическими, приводит к уменьшению расчетного радиуса  $r_{ch}$  за счет, прежде всего, уменьшения заселенностей частичных состояний с энергией выше  $E_F$ . Чувствительность модели к значениям  $r_{ch}$  позволяет использовать экспериментальные данные о зарядовых радиусах для коррекции параметров мнимой части ДОП.

Список литературы

1. Mahaux C., Sartor R. // Adv. Nucl. Phys. 1991. 20. 1.
2. Беспалова О.В., Романовский Е.А., Спаская Т.И., Климочкина А.А. // Ядерная физика. 2015. Т. 78. № 10. С. 935.
3. Беспалова О.В., Романовский Е.А., Спаская Т.И. // Изв. РАН. Сер. физ. 2012. Т. 76. № 4. С. 560.
4. Warda M., Centelles M., Viñas X. // Phys. Rev. C. 2014. V. 89. 064302.



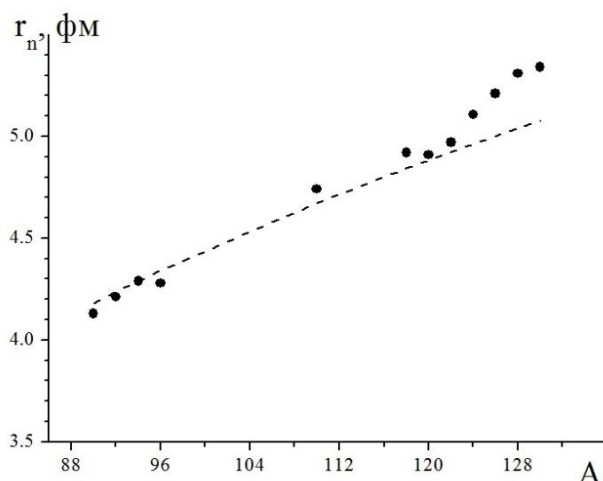
НЕЙТРОННОЕ ГАЛО В ИЗОТОПАХ Zr ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ НЕЙТРОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Беспалова О.В., Климочкина А.А.

Федеральное государственное бюджетное учреждение высшего образования  
 “Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова”  
 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына,  
 Москва, Российская Федерация

Одно из наиболее ярких экспериментальных явлений в ядрах вблизи границы нейтронной стабильности – наличие нейтронного гало в некоторых легких ядрах, в частности,  $^{11}\text{Li}$ . Для изотопов среднетяжелых ядер достижение этой границы экспериментально – вопрос отдаленного будущего. В связи с этим возрастает ценность теоретических предсказаний структуры таких ядер. Релятивистская модель Хартри-Фока с учетом континуума [1], а также нерелятивистской модель Хартри-Фока-Боголюбова с силами Сфирма [2] предсказывают структуру нейтронного гало в изотопах Zr вблизи границы нейтронной стабильности.

В настоящей работе выполнен расчет нейтронных среднеквадратичных радиусов  $r_n$  изотопов Zr с  $90 \leq A \leq 130$  в модели среднего поля с дисперсионным оптическим потенциалом (ДОП). Нейтронный ДОП изотопов Zr с  $90 \leq A \leq 118$  определен ранее [3]. Нейтронный ДОП для изотопов Zr с  $120 \leq A \leq 130$  найден с использованием систематики глобальных параметров [4]. Один из наборов ДОП был определен с учетом предположения [5] о независимости поверхностной составляющей мнимой части нейтронного ДОП от относительного нейтронного избытка. Силовой параметр составляющей хартри-фокковского типа потенциала определялся из условия согласия расчетного суммарного числа нейтронов с числом N изотопа. Расчетный радиус  $r_n$  (см. рисунок) растет с увеличением числа нейтронов N в изотопах Zr с  $A > 120$  быстрее, чем  $r_0 N^{1/3}$ . Этот рост обусловлен частичным заполнением состояний  $2f_{7/2}$ ,  $3p_{3/2}$ ,  $3p_{1/2}$ . Согласно расчету с ДОП, состояние  $2f_{7/2}$



находится ниже энергии Ферми  $E_F$  для всех изотопов с  $120 \leq A \leq 130$ , а одночастичные энергии  $E_{nlj}$  состояний  $3p_{3/2}$  и  $3p_{1/2}$  лежат вблизи нуля. Среднеквадратичные радиусы  $R_{nlj}$  этих состояний значительно увеличены по сравнению с  $R_{nlj} = 4-5$  фм нижележащих состояний. Так, для  $^{128}\text{Zr}$   $R_{nlj} = 11,9$  и  $10,5$  фм для состояний  $3p_{1/2}$  и  $3p_{3/2}$  соответственно. При этом заселенности состояний  $3p_{1/2}$  и  $3p_{3/2}$ , например, в  $^{128}\text{Zr}$  равны 0,6 и 1,8 нейтрона соответственно. Полученные расчетные данные согласуются с предсказаниями [1,2] о формировании структуры нейтронного гало в изотопах Zr с  $A > 120$ .

Нейтронные зарядовые радиусы изотопов Zr. Расчет по ДОМ – сплошные точки, зависимость  $r_0 N^{1/3}$  – пунктирная линия,  $r_0 = 1.15$  фм

Список литературы

1. Y. Zhang, M. Matsuo, and J. Meng, Phys. Rev. C 86, 054318 (2012)
2. Y. Zhang, Y. Chen, J. Meng, P. Ring. Phys. Rev. C 95, 014316 (2017)
3. Беспалова О. В., Романовский Е. А., Спасская, Изв. РАН. Сер. физ. т. 76, № 4, С. 560–564(2012).
4. A. J. Koning and J. P. Delaroche, Nucl. Phys. A 713, 231 (2003).
5. J.M. Mueller, R.J. Charity, R. Shane *et al.*, Phys. Rev. C 83, 064605 (2011).

ON THE POSSIBILITY OF TRIGGERED DE-EXCITATION OF  $^{110m}\text{Ag}$  ISOMER IN LASER PLASMA

Koltsov V.V.

Khlopin Radium Institute, Russia, St-Petersburg. e-mail: [vladimir-koltsov@yandex.ru](mailto:vladimir-koltsov@yandex.ru)

In studies of triggered de-excitation of nuclear isomers in impulse laser plasma the 117.59 keV isomer in  $^{110}\text{Ag}$  nucleus engages our attention. The level scheme [1] is shown in fig. 1. The triggering of  $^{110m}\text{Ag}$  de-excitation is possible by transition into 118.719 keV state followed by decay into ground nuclear state.  $^{110m}\text{Ag}$  isomer is attractive by its great half-life because it is possible to prepare laser targets of high isomer concentration. The transition energy 1.13 keV to the trigger level is close to laser plasma temperature. The trigger level half-life of 36 ns allows to leave plasma noise time interval out and to detect  $\gamma$ -rays of trigger level decay.

Previously the possibility of  $^{110m}\text{Ag}$  triggered de-excitation wasn't discussed maybe because of the small probability of M3 transition. Really, for instance the probability  $P_{\text{IEEC}}$  of trigger level excitation by inverse internal electron conversion (IEEC) (fig. 2) has following order-of-magnitude estimation [2]

$$P_{\text{IEEC}} \sim n_e (\Gamma/T) \lambda^2 v_e \tau = n_e \sigma_{\text{eff}} v_e \tau$$

where  $n_e$  is plasma electron concentration;  $T$  is plasma electron temperature;  $\lambda$  and  $v_e$  – de Broglie wavelength and velocity of electrons, which are in resonance with nuclear transition;  $\tau$  ~ plasma live-time;  $\sigma_{\text{eff}}$  is effective cross-section of trigger level excitation. For 1.13 keV M3 transition the width is  $\Gamma \sim \hbar \alpha F_W P_\gamma$ , where  $\alpha = 6,0 \cdot 10^{-11}$  is the internal electron conversion coefficient [3],  $P_\gamma \sim 10^{-16} \text{ s}^{-1}$  is the Weisskopf estimate of  $\gamma$ -emission probability,  $F_W \sim 10^{-2}$  is the Weisskopf hindrance factor. On such estimate the cross-section  $\sigma_{\text{eff}} \sim 10^{-41} \text{ cm}^2$  is negligibly small for effect observation. But according to [4] the additional consideration of photon emission in IIEC process can increase the value of  $\sigma_{\text{eff}}$  estimation. Also, the probability of IIEC can be increased by irradiation of isomer with X-rays, which are in resonance with nuclear transition. It can be done by using for isomer target backing the materials, which have characteristic X-rays energy close to the nuclear transition energy 1.13 keV. For instance, platinum has X-line of energy 1.1273 keV. So, the suitability of  $^{110m}\text{Ag}$  isomer for laser experiments needs further consideration.

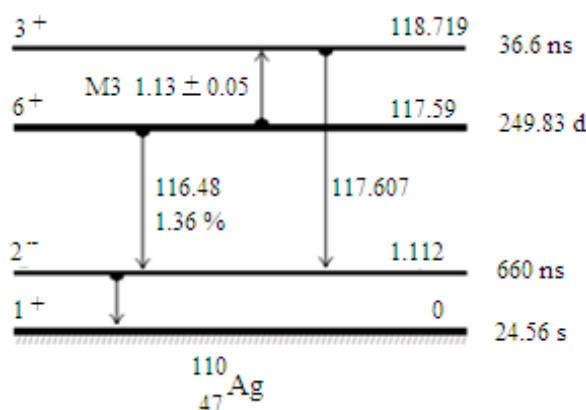


Fig. 1.

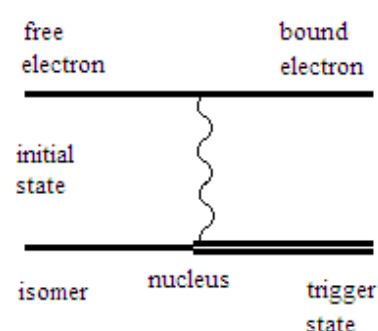


Fig. 2.

1. G. Gurdal, F.G. Kondev//Nuclear Data Sheets. 2012. V. 113, P. 1315.
2. V.I. Goldanskii, V.A. Namiot// JEPT Letters, 1976. V. 23, № 9. P. 451.
3. <http://www.nndc.bnl.gov>.
4. M.D. Bondarkov, V.M. Kolomietz//Bull. Acad. Sci. USSR. Phys. Ser. (USA). 1990. V. 54, №1, P. 52.

ПОИСК НОВОГО ИЗОМЕРНОГО СОСТОЯНИЯ В ЯДРЕ  $^{186}\text{Re}$

Карасев В.В., Кольцов В.В., Римский-Корсаков А.А.

АО "Радиевый институт им. В.Г. Хлопина", Россия, С.-Петербург. e-mail: [vladimir-koltsov@yandex.ru](mailto:vladimir-koltsov@yandex.ru)

В [1] наблюдали стимулированное де-возбуждение изомера  $^{186m}\text{Re}$  ( $T_{1/2} = 2,0 \cdot 10^{-5}$  лет) в горячей лазерной плазме по временной зависимости интенсивности излучения квантов 137 кэВ распада основного состояния ядра  $^{186}\text{Re}$  после лазерного облучения  $^{186m}\text{Re}$  мишени. Немонотонность этой временной зависимости позволила предположить существование нового изомерного низколежащего состояния в ядре  $^{186}\text{Re}$  с периодом полураспада несколько суток, которое заселяется при де-возбуждении  $^{186m}\text{Re}$  в плазме.

Мы попробовали наблюдать это новое изомерное состояние, получая ядро  $^{186}\text{Re}$  в (p, n) реакции облучением протонами энергии 15 МэВ мишени  $^{186}\text{W}$  (95 % обогащение по  $^{186}\text{W}$ ). Заселение в этой реакции нового изомера привело бы к временной зависимости интенсивности линии 137 кэВ от облученного источника, отличной от известного экспоненциального распада основного состояния  $^{186}\text{Re}$  с периодом  $T_{1/2} = 89,239 \pm 0,026$  часов [2] (все погрешности указаны на уровне одного стандартного отклонения).

Проводя последовательные измерения  $\gamma$ -спектра мишени детектором с кристаллом ОЧГ  $\varnothing 13 \times 15$  мм с экспозицией по 2 часа, построили временную зависимость интенсивности  $\gamma$ -линии 137 кэВ (рис. 1), которая хорошо видна в  $\gamma$ -спектре облученной мишени (рис. 2). Эта временная зависимость описывается одной экспонентой с  $T_{1/2} = 84,9 \pm 2,2$  часа, близким к  $T_{1/2}$  распада основного состояния  $^{186}\text{Re}$ . Таким образом, подтвердить гипотезу о наличии искомого изомера не удалось. С учетом погрешности эксперимента вероятность заселения этого изомера в реакции  $^{186}\text{W}$  (p, n)  $^{186}\text{Re}$  менее 0.5%.

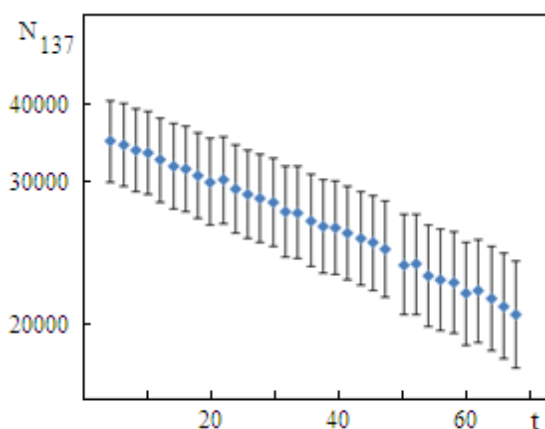


Рис. 1. Число отсчетов  $N_{137}$  в фотопике  $\gamma$ -линии 137 кэВ в зависимости от времени  $t$  после конца облучения W-мишени.

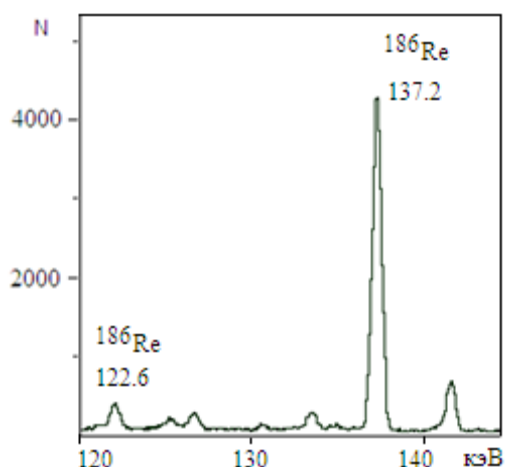


Рис. 2. Фрагмент  $\gamma$ -спектра при  $t = 4$  часа.  $N$  – число отсчетов в каналах спектра. Указаны энергии  $\gamma$ -линий  $^{186}\text{Re}$ .

1. В.В. Ватулин, Н.В. Жидков, А.А. Римский-Корсаков и др.//Тезисы 66-й международной конференции по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра "Ядро-2016". Саров. ФГУП "РФЯЦ-ВНИИЭФ". 2016. С. 107.
2. C.L. Baglin//Nuclear Data Sheets. 2003. V. 99. P. 1.

## ВОЗМОЖНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОН-НЕЙТРОННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ГАЛО-ЯДРАХ

*Конобеевский Е.С., Заварзина В.П., Зуев С.В., Каспаров А.А., Курлович А.С., Мицук В.В.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

Известно, что в свободном состоянии не существует связанного динейтрона, дипротона и даже синглетного дейтрона, имеются только квазисвязанные синглетные состояния с энергий порядка 0.1-0.2 МэВ над порогом развала. Однако в ядре синглетная  $nn$ -пара может быть более связана, образуя кластер. Наиболее характерный пример  ${}^6\text{He}$ , в котором существует динейтронная компонента. В  ${}^{11}\text{Li}$  также имеется структура  ${}^{11}\text{Li}+nn$ . При этом в этих гало-ядрах может быть дополнительное взаимодействие между кором и динейтроном, приводящее к дополнительному связыванию двух нейтронов. Кроме этих гало-ядер интересным может быть и исследование других гало-ядер, например  ${}^8\text{He}$ , в котором может существовать как динейтрон, так и два динейтрона или даже тетранейтрон.

Основная идея предлагаемых нами экспериментов состоит в том, что если из  ${}^6\text{He}$  или  ${}^{11}\text{Li}$  быстро удалить кор, то наблюдаемый характер импульсного распределения “оставшейся”  $nn$ -пары не должен измениться, т.к. эти пары являются в таком эксперименте “спектаторами”, которые быстро вылетают из зоны реакции без сильных искажений того состояния, которое эта пара имела первоначально. И можно ожидать, что измеренные  $nn$ -корреляции, в частности энергии  $nn$  квазисвязанного (виртуального) синглетного  ${}^1S_0$  состояния окажутся совсем не те, которые присущи свободным  $nn$ - и  $np$ -системам.

В эксперименте могут быть исследованы реакции подхвата альфа-кора из ядра  ${}^6\text{He}$  или  ${}^9\text{Li}$   ${}^6\text{He}+{}^2\text{H}\rightarrow{}^6\text{Li}+(nn)$  и  ${}^{11}\text{Li}+{}^2\text{H}\rightarrow{}^{11}\text{Be}+(nn)$  с регистрацией как заряженной частицы  ${}^6\text{Li}$  ( ${}^{11}\text{Be}$ ), так и нейтрона (или двух нейтронов) от распада синглетного  $nn$  состояния. Для определения энергии квазисвязанного динейтронного состояния будет применен метод, позволяющий определять эти энергии по форме энергетического спектра нуклонов, получающихся при развале этого состояния [1]. При условии, что детектирование частицы происходит под углом соответствующем вылету  $nn$ -системы в двухчастичной реакции, попасть в детектор могут нейтроны, вылетающие в системе ц.м. или вперед ( $\sim 0$  градусов) или назад ( $\sim 180$  градусов). Соответственно получается специфический энергетический спектр и соответствующий ему временной спектр, характеризующийся двумя пиками с расстоянием между ними, зависящим от энергии квазисвязанного состояния.

При исследовании реакций подхвата кора будет использован пучок  ${}^6\text{He}$  ( ${}^{11}\text{Li}$ ) с энергией  $\sim 5-10$  МэВ/нуклон и тонкая мишень из дейтерированного полиэтилена. В эксклюзивном эксперименте будут регистрироваться как заряженная частица ( ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{11}\text{Be}$ ), так и один или два нейтрона. Углы регистрации соответствуют кинематике двухчастичной реакции с вылетом динейтрона и заряженной частицы. Заряженные частицы ( ${}^6\text{Li}$ ,  ${}^{11}\text{Be}$ ) будут регистрироваться телескопом кремниевых детекторов, а нейтроны жидкими сцинтилляторами, с определением энергии по времени пролета. В эксперименте будут определены энергии  $nn$  квазисвязанных синглетных состояний и на основе определения этих энергий проведены оценки эффективного притяжения, возникающего между валентными нуклонами в поле третьей частицы (кора).

Список литературы

9. Konobeevski E.S. , Zuyev S.V. , Kasparov A.A. , Ostashko V.V. . Few-Body Systems 55 (2014) 1059

## THEORETICAL STUDY OF THE NEON CLUSTERS

*Korobitsin A.A. and Kolganova E.A.*

Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research,  
141980 Dubna, Moscow region, Russia

Small clusters of rare gas atoms are of a great interest in the recent years. They belong to a large class of molecules interacting via potentials of van-der-Waals type and have unique quantum properties. One of these properties is the Efimov effect [1]. This effect reflects the difference in the properties of the two-body and the three-body systems. When there are at least two subsystems of zero binding energy, the three-body system has an infinite number of weakly bound states - this is the essence of the Efimov effect. Calculations of ultracold three-body clusters require methods suitable for solving three-body bound state and scattering problems in configuration space [2]. One of the effective methods for studying three-particle systems is based on using the differential Faddeev equations in the total angular momentum representation [3].

This work is aimed at a theoretical investigation of the neon atomic clusters. We developed a numerical algorithm for solving differential Faddeev equations in the total angular momentum representation [3]. This algorithm has been realized in the programming language C++. The developed numerically effective computational scheme, especially in

combination with an option of using multiple processors, makes it possible to calculate wide range of three-body problems. For the calculations of the spectrum of neon trimer we use finite-difference approximation and cubic polynomial splines for solving the differential Faddeev equations with the zero asymptotic boundary conditions. To increase the speed of calculation a template library Eigen [4] for linear algebra is used. We have applied developed numerical algorithm for solving the above mentioned equations for the  $^{20}\text{Ne}$  three-atomic system. To describe the interatomic interaction the realistic potentials HFD-B [5] and TT [6] were used. The calculated results of binding energies of the ground and the first excited states for neon trimer are in a good agreement with the results obtained using different methods by other authors. Investigation of the ground state energy convergence with respect to the number of grid points demonstrates that  $N_\rho = 250$  is sufficient to get up to four accurate figures for the energy of the ground state (see Fig. 1).

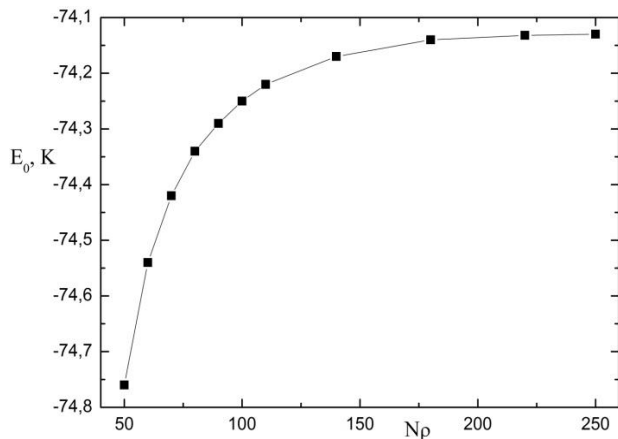


Fig. 1. Convergence of the neon trimer ground state energy on a grid points  $N_\rho$  for fixed values of  $N_\theta = 100$  and  $N_\chi = 10$ .

References

- [1] V.N. Efimov, Phys. Atom. Nucl. **12**, 1080 (1970); Phys. Lett. B **33**, 563 (1970)
- [2] E.A. Kolganova, A.K. Motovilov and W. Sandhas Few-Body Syst. **51**, 249–257 (2011)
- [3] V.V. Kostrykin, A.A. Kvinstinsky and S.P. Merkuriev, Few-Body Syst. **6**, 97 (1989); A.A. Kvinstinsky and C.-Y. Hu, Few-Body Syst. **12**, 7 (1992); V.A. Roudnev, S.L. Yakovlev and S.A. Sofianos, Few-Body Syst. **37** 179 (2005)
- [4] <http://eigen.tuxfamily.org>
- [5] R.A. Aziz and M.J. Slaman, J.Chem.Phys. **130**, 187 (1989)
- [6] K.T. Tang and J.P. Toennies, J.Chem.Phys. **118**, 4976-4983 (2003).

**HADRON AND QUARK FORM FACTORS IN THE RELATIVISTIC HARMONIC OSCILLATOR MODEL**

*Myrzabekova E.B., Sagimbaeva N.B., Burov V.V.*

Joint Institute For Nuclear Research, Bogalubov Laboratory Of Theoreticl Physics

Nucleon, pion and quark form factors are studied within the relativistic harmonic oscillator model including the quark spin. It is shown that the nucleon charge, magnetic and axial form factors and the pion charge form factor can be explained with one oscillator parameter if one accounts for the scaling rule and the size of the constituent quarks.

Recall that the charge and magnetic form factors were adjusted to experimental data, and the rest were obtained without additional parameters. We see a good agreement with the magnetic and charge form factors of the neutron.

Also, a good agreement of the axial form factor of the nucleon with experiment [1, 2].

- 1. W. Bartel et al., Nucl. Phys. B, 58 (1973) 429; P.N. Kirk et al., Phys. Rev. D, 8 (1973) 63; K. Hanson et al., Phys. Rev. D, 8 (1973) 753; S. Rock et al., Phys. Rev. Lett., 49(1982) 1139; R.G. Arnold et al., Phys. Rev. Lett., 57 (1986) 174; P.E. Bosted et al., Phys. Rev. C, 42 (1990) 38.
- 2. S. Galster et al., Nucl. Phys. B, 32 (1971) 221.

**TEST OF NUCLEAR FRAGMENTATION MODELS WITH CARBON FRAGMENTATION AT 0.95 GeV/n**

<sup>1</sup> Abramov B.M., <sup>1</sup> Alexeev P.N., <sup>1</sup> Borodin Yu.A., <sup>1</sup> Bulychjov S.A., <sup>1</sup> Dukhovskoy I.A., <sup>1</sup> Khanov A.I., <sup>1</sup> Krutenkova A.P., <sup>1</sup> Kulikov V.V., <sup>1</sup> Martemianov M.A., <sup>1</sup> Matsyuk M.A., <sup>1</sup> Turdakina E.N., <sup>2</sup> Gudima K.K.

<sup>1</sup>NRC «Kurchatov Institute» – ИТЭФ, Moscow 117218, Russia,

<sup>2</sup>Institute of Applied Physics, Academy of Sciences of Moldova, MD-2028 Kishinev, Moldova

Differential cross sections of nuclear fragment production at 3.5 degrees for <sup>12</sup>C fragmentation at 0.95 GeV/nucleon on a Be target were measured with beam-line spectrometer in the FRAGM experiment at the TWA–ИТЭФ heavy ion accelerator [1]. The fragments from proton to carbon isotopes have been identified by correlation measurement of time-of-flight and ionization losses in scintillation detectors. The fragment momentum distributions in laboratory frame are compared to the predictions of four ion-ion interaction models: INCL++, LAQGSM03.03, QMD and BC [2]. Obtained experimental data on differential cross sections for wide set of fragments are included to the experimental nuclear reaction database EXFOR[3]. Successes and drawbacks of above mentioned models are discussed.

Two approaches were used to describe the invariant cross sections of the fragment production. In the thermodynamic model [4], the spectra for protons and light fragments can be described as a sum of two exponential functions with different inverse slope parameters (called temperatures) for statistic and cumulative mechanisms. Obtained temperatures are in a good agreement with world data. For light fragments, coalescence model have been used to extract information on a size of the interaction region [5]. The measurements of coalescence coefficients give the typical radius about 3 fm.

References

1. B.M. Abramov *et al.*, JETP Lett. 97 (2013) 439, Pisma Zh.Eksp.Teor.Fiz. 97 (2013) 509.
2. B.M. Abramov *et al.*, Phys.Atom.Nucl. Vol. 78, Issue 5 (2015), 403.
3. B.M. Abramov *et al.*, Phys.Atom.Nucl. Vol. 79, Issue 5 (2016), 700.
4. W. Bauer, Phys.Rev. C 51 (1995), 803.
5. S. Nagamiya *et al.*, Phys.Rev. C 23 (1981), 971.

**СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАСПАДА АНСАМБЛЯ ЯДЕР-ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ В РАМКАХ СУБПУАССОНОВСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ**

*Корбут Т.Н., Рудак Э.А., Петровский А.М.*

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси Республика Беларусь, Минск  
[tamara.korbut@gmail.com](mailto:tamara.korbut@gmail.com)

В работах [1,2] в рамках модели рождения и гибели частиц было рассмотрено взаимодействие пробного нейтрона с подкритической размножающей средой теплового реактора, у которого есть свой внутренний источник нейтронов в виде ансамбля ядер-предшественников. Радиоактивный распад ансамбля ядер-предшественников описан в рамках пуассоновского распределения, которое является приближением биномиального распределения, когда число ядер системы стремится к бесконечности  $N \rightarrow \infty$ , а сама система ядер может исчезнуть только при временах  $t \rightarrow \infty$ . Главный недостаток пуассоновского распределения обусловлен распадом последнего ядра-предшественника – его время жизни оказывается равным  $\infty$ . Для остальных ядер-предшественников времена жизни конечны и близки по абсолютной величине в обоих типах распределений. В настоящей работе на базе пуассоновского и биномиального распределений предложен новый формализм, сочетающий простоту математического аппарата пуассоновского распределения и корректное описание распада последнего ядра системы в биномиальном распределении. В работе представлен математический аппарат модели рождения и гибели частиц в случае субпуассоновского распределения и показан результат сравнения описания радиоактивного распада ядер с помощью пуассоновского, биномиального и субпуассоновского распределений для среды на основе урана-235.

Литература

1. T.N. Korbut, A.V. Kuz'min, E.A. Rudak A Thermal Nuclear Reactor as an Analog of ADS Systems with Internal Sources of Ntutrons. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. Physics, 2015, v. 79, №4, pp. 461-469. © Allerton Press, Inc., 2015.
2. T. Korbut, A. Kuz'min, E. Rudak «Birth-Death Model for Description of Transient Processes in Multiplying Medium with MOX-Fuel», Nuclear data 2016, 11-16/09, Belgium.

**ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО КРИТИЧНОСТИ С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ХАОСА**

*Кравченко М.О., Кузьмин А.В.*

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований –  
Сосны» Национальной академии наук Беларуси Республика Беларусь, Минск,  
[maxslevin.grey@gmail.com](mailto:maxslevin.grey@gmail.com)

**Введение**

Анализ неопределённости является важным инструментом в проведении экспериментов по критичности за счёт влияния исходных параметров (значения сечений реакций, геометрические параметры, материальный состав и т.д.) на конечный результат. В последнее время возник интерес к нахождению неопределённости, не используя методики, в основе которых лежит Монте-Карло моделирование. Определённое развитие в ряде работ [2-5] получили методы, основанные на теории Полиномиального Хаоса. Развитие данных детерминистических подходов к оценке неопределённости позволит сократить затраты машинного времени и, соответственно, снизить требования к вычислительной мощности. При этом достигаемая точность оценки погрешности может быть сопоставима с точностью статистических методов.

**Анализ неопределённости**

Анализ неопределённости в экспериментах по критичности позволят находить чувствительность  $k_{eff}$  к погрешности исходных параметров. Выявление таких зависимостей определяет устойчивость системы и, соответственно, её безопасность. Использование стандартных методов [1] вычисления погрешностей не всегда приемлем, что приводит к неточной оценки. В таких случаях применение других математических подходов даёт более точные результаты.

При анализе неопределённости бенчмарк-эксперимента проводится ряд расчётов  $k_{eff}$  в зависимости от входных параметров. В случае, когда на конечный результат влияют несколько величин с нормальным распределением, их общий вклад в неопределённость  $k_{eff}$  определяется центральной предельной теоремой. При этом также считается, что ни одна из величин не является доминирующей.

Однако применение центральной предельной теоремы не всегда возможно, ввиду неравномерности вклада в погрешность одной или нескольких из величин. В таком случае следует использовать более гибкие методики. В работах [2-5] описываются методики, основанные на теории Полиномиального Хаоса. Эти методики позволяют с помощью соответствующего математического аппарата получать разложения случайных величин в рамках теории ПХ и в дальнейшем оперировать этими разложениями для получения необходимых результатов, в частности среднее значение  $k_{eff}$  и отклонение от него.

**Заключение**

Целью данной работы является применение методики ПХ в анализе неопределённости  $k_{eff}$  в бенчмарк-экспериментах и её сравнение с стандартными методами [1]. Приемлемым результатом является оценка неопределённости  $k_{eff}$  с малой погрешностью стандартными способами, а также получение схожего результата с использованием методов полиномиального хаоса. Отработка математического аппарата позволит постепенно выстроить универсальную новую методику анализа неопределённости для применения в моделировании ядерных экспериментов.

**Литература**

1. Dean V. F., ICSBEP GUIDE TO THE EXPRESSION OF UNCERTAINTIES – Idaho National Laboratory, Rev. 5 – 2008.
2. Dongbin Xiu, George Em Karniadakis THE WIENER–ASKEY POLYNOMIAL CHAOS FOR STOCHASTIC DIFFERENTIAL EQUATIONS – Siam j. sci. comput. Vol. 24, No. 2, pp. 619-644 – 2002.
3. Teems E. Lovett, Ferdinanda Ponci, Antonello Monti A POLYNOMIAL CHAOS APPROACH TO MEASUREMENT UNCERTAINTY – IEEE transactions on instrumentation and measurement, Vol. 55, No. 3, – June 2006
4. A. K. Alekseev, I. M. Navon, M. E. Zelentsov THE ESTIMATION OF FUNCTIONAL UNCERTAINTY USING POLYNOMIAL CHAOS AND ADJOINT EQUATIONS – International journal for numerical methods in fluids Int. J. Numer. Meth. Fluids – 2010
5. L. Gilli , D. Lathouwers , J.L. Kloosterman UNCERTAINTY QUANTIFICATION FOR CRITICALITY PROBLEMS USING NON-INTRUSIVE AND ADAPTIVE POLYNOMIAL CHAOS TECHNIQUES – Annals of Nuclear Energy 56 (71–80) – 2013.

ASYMPTOTIC BEHAVIOR OF SOLUTIONS IN FINITE-DIFFERENT SCHEMES

Krassovitskiy P.M., Pen'kov F.M.

Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan, Almaty, Ibragimov str. 1  
E-mail: pavel.kras@inp.kz

In many problems of numerical solution of the Schrödinger equation it is necessary to choose the asymptotic distances that are many times larger than the characteristic size of the interaction region. And if the solution of one-dimensional equations can be immediately chosen in a form preserving the unitarity, then preservation of probability, for example, in the form of optical theorem implementation is a real problem for two-dimensional equations. The mathematical essence of the problem can be seen from the asymptotic representation of the finite-difference equation for the function  $\varphi(r)$

$$\frac{\varphi(r + \Delta r) - 2\varphi(r) + \varphi(r - \Delta r)}{(\Delta r)^2} + k^2\varphi(r) = 0,$$

which does not have solutions of  $\exp(ikr)$  or  $\exp(-ikr)$  type. The solution of the provided equation will be the exponentials with the effective wave number  $k_{eff} = 2\arcsin\left(\frac{k\Delta r}{2}\right)/\Delta r$ , which expansion

$$k_{eff} = k + \frac{1}{24}k(k\Delta r)^2 + \frac{3}{640}k(k\Delta r)^4 + O((k\Delta r)^6)$$

contains a small additive  $\frac{1}{24}k(k\Delta r)^2$ . This additive to the phase already at sufficiently close distances  $R_{max}$  gives a contribution comparable to 1:  $\frac{1}{24}kR_{max}(k\Delta r)^2 \sim 1$ . In case of using the Numerov's scheme, it is necessary to solve similar problems with the influence of a summand of  $kR_{max}(k\Delta r)^4$  type.

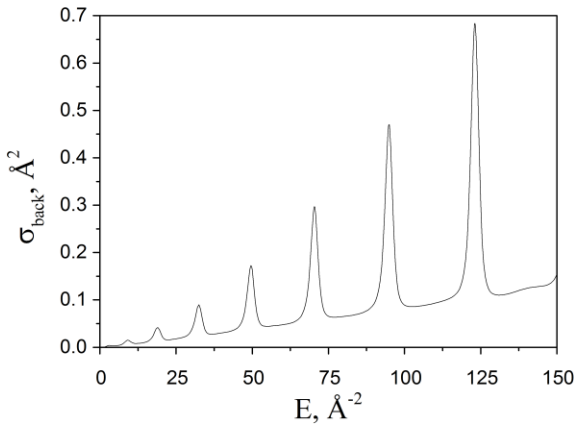


Fig.1. Cross-section of diffraction scattering in the rear hemisphere for a berylliummolecule on the opaque screen with a slightly transparent aperture

potential with characteristic size of 1 Å.

The described problems arise for solving any differential equations with the dimension greater than 1. These include the equations of the few-body problem or the problems of one particle scattering on a strongly deformed potential (for example atomic nucleus) when the expansion in spherical functions loses both physical and mathematical meaning.

Figure 1 shows the curve of resonant diffraction cross section of a composite particle for a potential that is a low-transparency hole in the opaque screen. The resonances observed in the diffraction scattering have the same nature with resonant transparency through the barrier by composite particles [1]. The accuracy of the obtained cross sections, determined from implementation of the optical theorem, was no worse than 1% at all calculation energies. The required value of  $R_{max}$  was 200÷300 Å for describing the diffraction on a

The work was performed under financial support of MES RK 0333/GF4 grant.

1. P. M. Krassovitskiy, and F. M. Pen'kov// J. Phys. B: 2014. V.47. P. 225210.



**ИЗОСПИНОВОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ГДР И ФОТОПРОТОННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИЗОТОПАХ ОЛОВА**

<sup>2</sup> Бельшев С.С., <sup>2</sup> Бувина Ю.А., <sup>1,2</sup> Ишханов Б.С., <sup>1</sup> Кузнецов А.А., <sup>1</sup> Орлин В.Н., <sup>1</sup> Стопани К.А., <sup>1</sup> Ханкин В.В.

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>2</sup> Физический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2  
E-mail: kuznets@depni.sinp.msu.ru

Представлены результаты экспериментального и теоретического исследования фотоядерных реакций на изотопах на изотопах олова. Методом наведенной активности [1] для стабильных изотопов олова определены выходы различных фотонуклонных реакций. Использовалось тормозное излучение ускорителя электронов РТМ-55 с верхней границей 55,6 МэВ. Полученные экспериментальные выходы фотопротонных и фотонейтронных реакций сравниваются с теоретическими расчётами выходов по программе TALYS [2], комбинированной модели фотоядерных реакций [3] и с результатами других экспериментальных работ. На выходы фотопротонных реакций сильное влияние оказывает изоспиновое расщепление гигантского дипольного резонанса. Дополнительно выполнено сравнение с модифицированной версией программы TALYS, в которую включена возможность расчета возбуждения и распада состояния с изоспином  $T >$ . Рассчитанные таким образом фотопротонные сечения на большинстве изотопов олова хорошо согласуются с экспериментально измеренными выходами. Однако, в настоящей работе получено, что выходы фотопротонной и фотонейтронной реакций на самом легком стабильном изотопе олова  $^{112}\text{Sn}$  сравнимы по величине. Этот экспериментальный результат не удастся описать ни в одной из используемых моделей. Аналогичный результат был получен нами ранее для фотоядерных реакций на изотопе  $^{106}\text{Cd}$  [4].

Список литературы

- [1] S.S. Belyshev *et al.*, Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A **745**, 133 (2014).
- [2] A.J. Koning *et al.*, in Proc. of ND2007, ed. by O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge, R.Jacqmin, and S.Leray (EDP Sciences, 2008), p. 211-214.
- [3] Б.С. Ишханов, В.Н. Орлин. Ядерная физика **78**, 601 (2015).
- [4] С. С. Бельшев, А. А. Кузнецов, К. А. Стопани, В. В. Ханкин. Ядерная физика **79**, 431 (2016).

**НОВЫЙ МЕТОД УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННОЙ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ**

<sup>1</sup> Кузнецов И.А., <sup>1</sup> Бердников А.А., <sup>2</sup> Бердников Я.А., <sup>2</sup> Борисов Ю.В., <sup>1</sup> Брагинцев Ю.П., <sup>1,2</sup> Воронин В.В., <sup>1,2</sup> Ласица М.В., <sup>1,2</sup> Семенихин С.Ю., <sup>1,2</sup> Федоров В.В. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ, 188300, Гатчина, Россия

<sup>2</sup> С. Петербургский политехнический университет Петра Великого, 195251, С. Петербург, Россия

Предлагается развить новый метод прецизионного измерения сверхмалых изменений энергии нейтронов.

Основная идея нового метода заключается в использовании спиновой интерферометрической техники SESANS (Spin Echo Small Angle Neutron Scattering), широко применяющейся в исследованиях по физике конденсированного состояния. В методе спиновой интерферометрии происходит пространственное расщепление нейтронной волны на два состояния, отличающиеся проекцией спина на магнитное поле, и, после прохождения рабочей области, эти два состояния сводятся обратно. Таким образом, фаза интерференционной картины, в данном случае это азимутальное направление спина нейтрона, определяется разностью фаз двух состояний нейтрона, накопленной в рабочей области.

Предлагается кардинально модифицировать данный метод, используя дифракцию по Лауэ в совершенном кристалле. Хорошо известен эффект дифракционного усиления, когда малое изменение направления падающего пучка приводит к значительному отклонению траекторий нейтронов внутри кристалла. Нейтрон в кристалле изменяет направление движения на угол  $\Omega$  (десятки градусов) при отклонении падающего пучка на угол порядка Брэгговской ширины (несколько угловых секунд). Подобный же эффект наблюдается, если меняется не направление, а энергия нейтрона. Мы предлагаем использовать данный эффект для увеличения пространственного расщепления нейтронной волны в магнитном поле. Два кристалла помещаются в магнитное поле противоположной направленности, и мы имеем схему, подобную SESANS, только с добавленными кристаллами, которые служат "усилителями" нейтронной рефракции в магнитном поле.

Предварительные расчеты показывают возможность повышения чувствительности спин-эхо методики в десятки тысяч раз, что позволит расширить круг традиционно решаемых задач, а также проводить исследования в области фундаментальных свойств нейтрона.

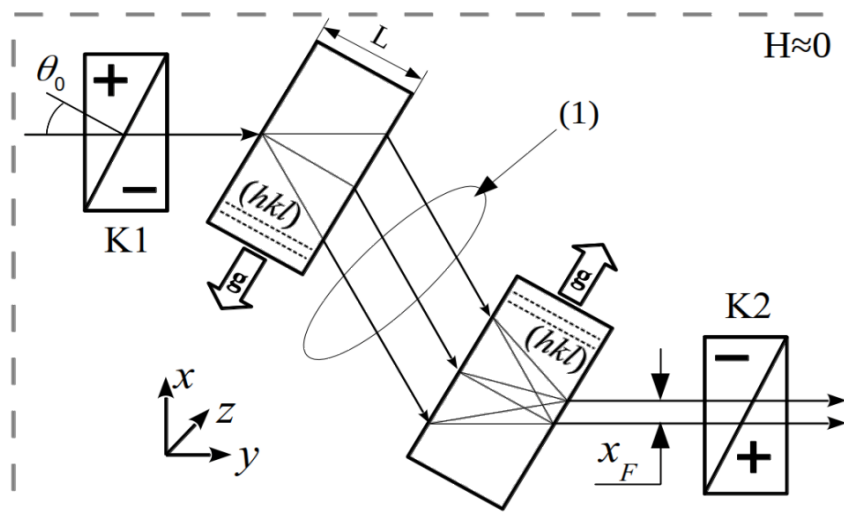


Схема интерферометра с использованием дифракции нейтронов по Лауэ. K1, K2 – области магнитного поля величиной  $B$ , знаки "+", "-" соответствуют направлению магнитного поля в катушках. (1) – рабочая область.

## EMPIRICAL ESTIMATION OF PHOTODISINTEGRATION RATES OF $^{106}\text{Cd}$ and $^{108}\text{Cd}$

<sup>2</sup> Belyshev S.S., <sup>1</sup> Khankin V.V., <sup>1</sup> Kuznetsov A.A., <sup>1</sup> Stopani K. A.

<sup>1</sup>Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

<sup>2</sup>Faculty of Physics, Lomonosov Moscow State University, 1(2), Leninskie gory, GSP-1, Moscow 119991, Russian Federation

phone: (495) 939-25-58, fax (495) 939-56-31 E-mail: hatta@depni.sinp.msu.ru

It has been noticed in [1] that the ratio between the photoneutron and photoproton disintegration channels of  $^{106}\text{Cd}$  might be considerably different from predictions of statistical models such as TALYS [2] and CMPNR [3]. While this doesn't affect the total cross section of photodisintegration, the thresholds of the corresponding reactions differ by several MeV and, therefore, the total astrophysical rate of photodisintegration of  $^{106}\text{Cd}$  might be noticeably different from the calculated value. Reaction rate uncertainties can strongly affect calculation of p-process production of  $^{106}\text{Cd}$ .

We use the bremsstrahlung beam of a 55 MeV microtron and the photon activation technique [4] to measure yields of photonuclear reaction products on targets made of monoisotopic  $^{106}\text{Cd}$  and natural cadmium, and obtain absolute yields and cross sections of  $(\gamma, n)$ ,  $(\gamma, p)$ ,  $(\gamma, np)$ ,  $(\gamma, 2n)$  reactions on the  $^{106}\text{Cd}$  and  $^{108}\text{Cd}$  p-nuclides. The obtained results are then used to calculate an estimation of evaluated cross sections, which are in turn used to calculate rates of photoneutron and photoproton reactions on these nuclei at temperatures from 0.1 to 10 GK. It is shown that the resulting rates on  $^{108}\text{Cd}$  are in a good agreement with the library values from the astrophysical reaction rate databases, while there is a significant difference in the case of  $^{106}\text{Cd}$ , leading to a total difference of photodisintegration rate of up to 50%. Effects of the observed disagreement on the calculations of isotopic abundances are discussed. This work has been supported by RFBR (project No. 15-02-05839).

### References

- [1] N. V. Shvedunov et al, Phys. At. Nucl. 77, 809-816 (2014).
- [2] A.J. Koning et al., in Proc. of ND2007, ed. by O.Bersillon, F.Gunsing, E.Bauge, R.Jacqmin, and S.Leray (EDP Sciences, 2008), p. 211-214.
- [3] B. S. Ishkhanov and V. N. Orlin, Phys. Part. Nucl. 38, 232-254 (2007).
- [4] S.S. Belyshev et al., Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. Sect. A 745, 133-137 (2014).

## РЕЗОНАНСНО-КОГЕРЕНТНОЕ РОЖДЕНИЕ ПИОННЫХ ПАР В РЕАКЦИИ $pd \rightarrow p d \pi \pi$ В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ ГЭВ

Комаров В. И., Кунсафина А. Г., Курманалиев Ж. К., Цирков Д. А.

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Российская Федерация

Недавно, после открытия  $d^*(2380)$  резонанса с барионным числом 2 ( $D_{03}$ ) [1], который является кандидатом в истинные дибарионы, было обнаружено, что загадочный ABC – эффект [2] связан с его возбуждением [3]. Поэтому это явление привлекло особое внимание. Здесь мы представляем наблюдение ABC – эффекта и возбуждения  $D_{03}$  – резонанса в реакции  $p + d \rightarrow p + d + (\pi\pi)^0$  через мезонный обмен в когерентной кинематике.

Было выполнено экспериментальное исследование рождения пионных пар в реакции  $p + d \rightarrow p + d + (\pi\pi)^0$  при энергиях протонного пучка 0.8-2.0 ГэВ. Эксперимент был проведен на спектрометре ANKE на синхротроне COSY в Юлихе (Германия) [4, 5]. Мишень из дейтерия бомбардировалась протонным пучком. Распределение событий по инвариантной массе  $d\pi\pi$  показало явный пик с массой 2.36 ГэВ/с<sup>2</sup> и шириной 104 МэВ/с<sup>2</sup>. Параметры пика близки к наблюдавшимся ранее в эксперименте WASA на CELSIUS COSY [3], принимая во внимание пика возможное уширение из-за мезонного обмена и фона от изовекторных  $I = 1 (\pi\pi)^0$  пар.

Инвариантная масса пары пионов представляет собой двухкомпонентное распределение, состоящее из узкого пика в районе 300 МэВ/с<sup>2</sup> с полушириной около 90 МэВ/с<sup>2</sup> на широком гладком континууме. Резонансное поведение  $d\pi\pi$  – спектра может быть интерпретировано как доказательство возбуждения  $D_{03}$  дибариона.

Список литературы:

1. P. Adlarson et al., Phys. Rev. Lett. 106, 242302 (2011).
2. A. Abashian, N.E. Booth, and K.M. Crowe, Phys. Rev. Lett. 5, 258 (1960).
3. M. Bashkanov, H. Clement, and T. Skorodko, Nucl. Phys. A 958, 129 (2017).
4. S. Dymov et al., Part. Nucl. Lett. 119(2), 40 (2003).
5. S. Barsov et al., Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A 462, 364 (2001).

## М1-РЕЗОНАНС НА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ В ЯДРАХ 2S1D-ОБОЛОЧКИ

Качан А.С., Кургуз И.В., Мищенко В.М., Утенков С.Н.

Институт физики высоких энергий и ядерной физики ННЦ ХФТИ НАН Украины, Харьков, Украина

Изучен  $\gamma$ -распад резонансноподобных структур (РПС), наблюдающихся в реакции радиационного захвата протонов ядрами  $^{22}\text{Ne}$ ,  $^{26}\text{Mg}$ ,  $^{30}\text{Si}$ ,  $^{34}\text{S}$ ,  $^{36}\text{S}$ ,  $^{38}\text{Ar}$  в области энергий ускоренных протонов 0,8-3,0 МэВ. Измерения проводились на ускорителе ЭСУ-5 ННЦ ХФТИ. Идентифицирован магнитный дипольный резонанс (МДР) на возбужденных состояниях ядер  $^{23}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{31}\text{P}$ ,  $^{35}\text{Cl}$ ,  $^{37}\text{Cl}$ ,  $^{39}\text{K}$ . Определено положение центра тяжести (ЦТ) МДР на возбужденных состояниях в этих ядрах. В ядре  $^{23}\text{Na}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 0,44 МэВ получено равным 6,0 МэВ; на состоянии 2,982 МэВ получено равным 10,2 МэВ. В ядре  $^{27}\text{Al}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 0,844 МэВ получено равным 10,27 МэВ; на состоянии 1,014 МэВ получено равным 10,31 МэВ. В ядре  $^{31}\text{P}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 1,266 МэВ получено равным 9,15 МэВ. В ядре  $^{35}\text{Cl}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 1,219 МэВ получено равным 5,68 МэВ; на состоянии 1,763 МэВ получено равным 7,34 МэВ. В ядре  $^{37}\text{Cl}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 1,727 МэВ получено равным 10,39 МэВ. В ядре  $^{39}\text{K}$   $E_{\text{ц.т.}}$  на состоянии 3,02 МэВ получено равным 7,9 МэВ; на состоянии 3,944 МэВ получено равным 7,44 МэВ.

Как видно из вышеперечисленных данных, мы получили, что положение МДР на возбужденных состояниях совпадает с таковым, предсказанным гипотезой Бринка-Акселя для ядер, которые находятся в начале подоболочки ( $^{23}\text{Na}$  –  $d_{5/2}$ -подоболочка;  $^{31}\text{P}$  –  $d_{3/2}$ -подоболочка) и отличается на 3 МэВ для ядер с почти заполненной подоболочкой ( $^{27}\text{Al}$  –  $d_{5/2}$ -подоболочка;  $^{39}\text{K}$  –  $d_{3/2}$ -подоболочка). Это, по-видимому, связано с влиянием энергии спаривания на свойства МДР в нечетных ядрах, что согласуется с данными полученными нами ранее для МДР на основном состоянии в ядрах sd-оболочки [1].

1. А.С. Качан и др. // Известия РАН Сер. Физ. 2011, т. 77, №2, с. 234.

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ  $^{13}\text{C}(d, p)^{14}\text{C}$  ПРИ  $E_d = 15.3$  МэВ

Галанина Л.И., Зеленская Н.С., Лебедев В.М., Орлова Н.В., Спасский А.В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

На 120-см циклотроне НИИЯФ МГУ при энергии дейтронов 15.3 МэВ измерены угловые распределения (УР) дифференциального сечения реакции  $^{13}\text{C}(d, p)^{14}\text{C}$  в области углов вылета протонов  $\theta_p = 20 - 160^\circ$  (лаб.) с образованием конечного ядра в основном ( $0^+$ ) и первом возбужденном ( $1^-, 6.094$  МэВ) состояниях. Получено также угловое распределение протонов, соответствующих сумме не разделяющихся в эксперименте состояний  $0^+(6.589$  МэВ) +  $3^-(6.728$  МэВ) +  $0^-(6.903$  МэВ) ядра  $^{14}\text{C}$ .

Известно (например, [1–2]), что в этой реакции (по крайней мере, при близких значениях энергии пучка дейтронов) интенсивность групп  $p_2$  и  $p_4$ , соответствующих состояниям  $0^+(6.589$  МэВ) и  $0^-(6.903$  МэВ), примерно на порядок меньше интенсивности группы  $p_3$  ( $3^-, 6.728$  МэВ). Поэтому можно полагать, что измеренное сечение реакции с возбуждением этих трех состояний ядра  $^{14}\text{C}$  относится, в основном, к состоянию  $3^-$ .

Экспериментальные результаты сравнивались с расчетами для механизма срыва нейтрона в методе связанных каналов (МСК, код FRESKO [3]), в модели составного ядра (СЯ, код CNSENSY [4]) и для механизма последовательной передачи частиц (штрих-пунктир, код QUADRO, [5]). Для перехода на основное состояние  $^{14}\text{C}$  использованы волновые функции (ВФ) нейтрона в  $1p$ -оболочечной модели с  $LS$ -связью [6], позволяющие рассчитать приведенные ширины нейтрона. ВФ состояний отрицательной четности ядра  $^{14}\text{C}$  описываются смешанными конфигурациями  $|1p^9 1d\rangle$ . Метод расчета приведенных ширин нейтрона для таких конфигураций и их величины даны в [7].

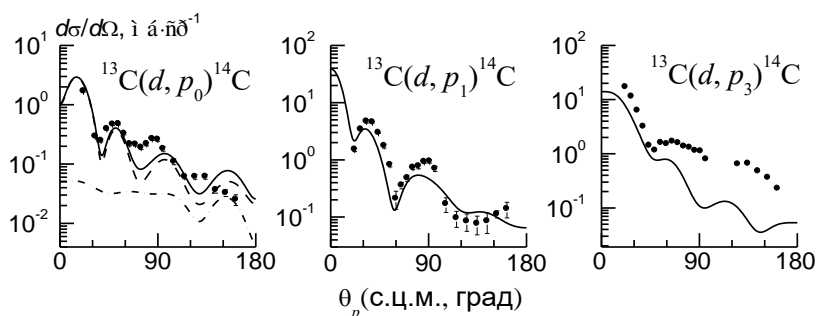


Рис. 1. Угловые распределения дифференциального сечения в реакции  $^{13}\text{C}(d, p)^{14}\text{C}$  при  $E_d = 15.3$  МэВ. Для группы  $p_0$  приведен расчет для механизма последовательной передачи частиц (штрих-пунктир), расчет по МСК (пунктир) и их сумма (сплошная). Для групп  $p_1$  и  $p_3$  показан расчет по МСК.

Сравнение результатов расчета дифференциальных сечений с экспериментом (рис. 1) показывает, что МСК, реализованный в коде FRESKO, в основном описывает структуру угловых распределений групп  $p_0$  и  $p_1$  во всей угловой области вылета протонов, тогда как для группы  $p_3$  расчетное сечение оказалось заниженным.

Вклад механизма последовательной передачи частиц (подхват нейтрона и далее срыв  $2n$  с тритона) оказался заметен только для образования  $^{14}\text{C}$  в основном состоянии, а вклад механизма СЯ мал для всех исследованных переходов.

1. R.J. Peterson, H.C. Bhang, J.J. Hamill *et al.* // Nucl. Phys. A 1984. V. 425. P. 469.
2. W. von Oertzen, H.G. Bohlen, M. Milin *et al.* // J. Phys. A 2004. V. 21. P. 193.
3. <http://www.fresko.org.uk/>.
4. T.L. Belyaeva, N.S. Zelenskaya, N.V. Odintsov // Comp. Phys. Comm. 1992. V. 73. P. 161.
5. Л.И. Галанина, Н.С. Зеленская. Патент #2016661673, 18.10.2016.
6. А.Н. Бояркина. Структура ядер  $1p$ -оболочки (Изд-во МГУ, Москва, 1973).
7. Н.С. Зеленская // Тезисы 67-го Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра.

ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СОУДАРЕНИЯХ АСИММЕТРИЧНЫХ ЯДЕР

Грушевская Е.А., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И., Харчевников П.Б.

Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

Исследование фрагментационных процессов в соударениях ядер обеспечивает уникальную возможность заглянуть в их структуру, так как заряженные вторичные частицы детектируются без каких-либо пороговых значений и соответствующие переходы могут наблюдаться при минимально возможных передачах 4-импульса. Особенно перспективны в этом отношении являются крайне периферические неупругие ядерные столкновения, в которых ядра-мишени действуют на ядро снаряда, вызывая диссоциацию налетающего ядра на дискретные частицы. В центральных взаимодействиях анализ фрагментации позволяет оценить геометрию столкновения ядер, о которой обычно очень мало прямой экспериментальной информации [1].

Для оценки геометрии столкновения нуклоны взаимодействующих ядер условно разделяют на две группы. Первая группа включает провзаимодействовавшие нуклоны-участники, которые рождают высокоэнергичные ливневые вторичные частицы  $n_s$ . Вторая группа – нуклоны, не участвующие в реакции непосредственно и дающие спектаторные фрагменты ядра-снаряда,  $N_f$ , которые вылетают в пределах переднего конуса фрагментации, и низко энергичные фрагменты ядра мишени  $N_h$ . Оценка степени периферичности взаимодействия может быть проведена с помощью анализа распределений фрагментов налетающего ядра и ядра снаряда. Суммарный заряд фрагментов налетающего ядра позволяет оценить число провзаимодействовавших нуклонов. Число фрагментов ядра мишени  $N_h$  дает оценки раздробления ядра мишени.

В случае взаимодействия асимметричных ядер ситуация существенно усложняется, так как для центральных взаимодействий появляется такое понятие как степень центральности. Чем больше различие размеров взаимодействующих ядер, тем больше отличие характеристик центральных взаимодействий в центре и на периферии большого ядра. Одним из наиболее оптимальных параметров для оценки степени центральности взаимодействия и отделения событий с легкими и тяжелыми ядрами фотоэмульсии является зависимость числа фрагментов ядра-мишени  $N_h$  и множественности частиц из области взаимодействия  $n_s$ .

В данной работе проведено исследование особенностей распределения фрагментов в соударениях тяжелых ионов с ядрами фотоэмульсии в зависимости от степени центральности и степени асимметрии взаимодействующих ядер на основе экспериментальных данных EMU-01 коллаборации, включающих взаимодействия  $S+Em$  200 АГэВ,  $Si+Em$  14 АГэВ,  $Si+Em$  3.7 АГэВ, и  $S+Em$  3.7 АГэВ с ядрами фотоэмульсии [2].

Разделение центральных и периферических событий проводилось на основе количества многозарядных фрагментов налетающего ядра. События с одним многозарядным фрагментом ( $N_f=1$ ) рассматривались как периферические, а с  $N_f=0$  как центральные. Для исследования зависимости средней множественности от энергии столкновения и флуктуаций начальных условий ядро-ядерного взаимодействия построены распределения вторичных частиц по множественности для центральных и периферических взаимодействий при различных энергиях (3.7, 14.6 и 200 АГэВ). На основе полученных распределений построена зависимость множественности от энергии взаимодействия.

Из результатов анализом следует, что средняя множественность растет с ростом энергии. Однако, этот рост существенно отличается для центральных и периферических событий. При энергии 14 АГэВ множественность ливневых частиц примерно в два раза выше, чем при энергии 3.7 АГэВ. Причем и для периферических и центральных взаимодействий коэффициент увеличения множественности примерно совпадает. При этом при энергии 200 АГэВ коэффициент увеличения (по сравнению с энергией 3.7 АГэВ) множественности центральных взаимодействий существенно выше, чем для периферических (8.4 для центральных и 4.8 для периферических). При этом, для центральных взаимодействий  $S+Em$  200 АГэВ обнаруживается аномальный рост числа событий полного разрушения налетающего ядра серы. Такие события характеризуются высокой множественностью и дают поток вторичных ливневых частиц с большими поперечными импульсами в узком интервале средней псевдобыстроты  $\langle \eta \rangle$ .

Список литературы

- [1] Fedosimova A.I., Gaitinov A.Sh., Lebedev I.A., Temiraliyev A.T. Study on initial geometry fluctuations via correlation of finite distributions of secondary particles in nucleus-nucleus interactions // J.Phys: Conf.Ser. 668 (2016) 012067
- [2] Adamovich M.I. et al. [Si-28\(S-32\) Fragmentation at 3.7A, 14.6A and 200A GeV](#) // Z. Phys. A (1995) V.351 Iss.3 p. 311-316; Adamovich M.I. et al. [Flow effects in high-energy nucleus collisions with Ag\(Br\) in emulsion](#) // Phys.At.Nucl. (2004) V.67 Iss.2 p. 273-280.

## СПЕКТРОСКОПИЯ $^8\text{He}$ В РЕАКЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ ЯДРАМИ $^{11}\text{B}$

Гуров Ю.Б., Жан Короткова Л.Ю., Лапушкин С.В., Леонова Т.И., Притула Р.В., Сандуковский В.Г., Чернышев Б.А., Щуренкова Т.Д.

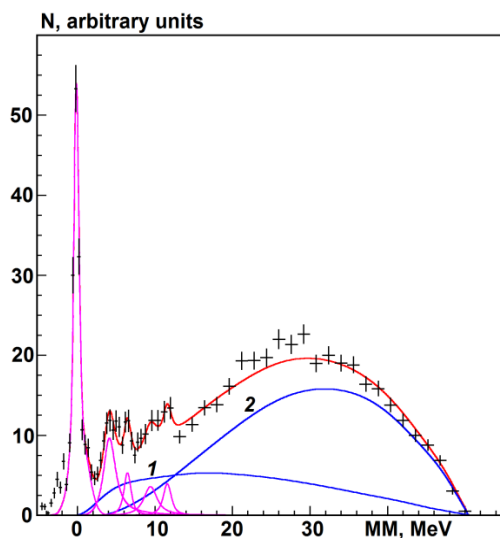
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,  
115409, Россия, Москва, Каширское ш. 31, +7 (495) 788-56-99, e-mail [tleonova@yandex.ru](mailto:tleonova@yandex.ru)

В работе исследование структуры уровней тяжелого изотопа гелия  $^8\text{He}$  выполняется в реакции поглощения остановившихся пионов ядрами  $^{11}\text{B}$ . Эксперимент был выполнен на мезонной фабрике LAMPF с помощью двухплечевого полупроводникового спектрометра заряженных частиц [1].

Возбужденные уровни  $^8\text{He}$  наблюдались в нескольких экспериментах [2,3], однако статистическая обеспеченность результатов невысока. Возможно, это является основной причиной значительной неопределенности в значении энергии первого возбужденного состояния:  $E_x = 2.7 \div 3.6$  МэВ. Другая причина этой неопределенности может быть обусловлена тем, что наблюдаемый в экспериментах пик в действительности является суперпозицией двух состояний –  $2^+$  резонанса и мягкого дипольного резонанса с  $J^P = 1^-$  [4]. Поэтому различие в результатах может быть обусловлено разной заселенностью этих каналов разных реакциях. Однако доказательство этого предположения требует лучшей статистики измерений и привлечения новых типов ядерных реакций, в которых образуется  $^8\text{He}$ .

В нескольких работах [2, 4, 5, 6] наблюдались более высокие возбуждения. Наблюдаемый спектр ограничен величиной  $E_x = 7.5$  МэВ [4]. Вследствие слабой статистики эти результаты можно рассматривать только как указания на существование уровней  $^8\text{He}$ .

В настоящей работе спектроскопия  $^8\text{He}$  исследуется в реакции поглощения пионов ядрами  $^{11}\text{B}$ . Экспериментальный спектр недостающих масс (ММ) и его описание для реакции  $^{11}\text{B}(\pi^-,pd)X$  приведен на рисунке 1. Отчётливо проявляется основное состояние ядра  $^8\text{He}$ , группа из четырех близко расположенных возбуждённых состояний в интервале недостающих масс  $\sim 4 \div 12$  МэВ. Также получены указания на существования двух высоковозбуждённых состояния при  $ММ \sim 25$  МэВ.



**Рис. 1** Спектр недостающих масс к паре зарегистрированных дейтронов из реакции  $\pi^- ^{11}\text{B} \rightarrow pdX$ . 1- фазовый объём  $\pi^- ^{11}\text{B} \rightarrow pd^6\text{He}n^2$ , 2 - фазовый объём  $\pi^- ^{11}\text{B} \rightarrow pd^6\text{He}^*2n$ . Пики – вклад от основного и возбуждённых состояний  $^8\text{He}$ .

Список литературы:

1. M.G.Gornov et al. Nucl. Inst. and Meth. in Phys.Res. A 2000. V.446. P.461.
2. D.R.Tilley et al., Nucl. Phys. A 2005. V. 745. P.155.
3. Л. Григоренко и др. УФН 2016. Т. 186. С. 337.
4. L.V.Grigorenko et al., Письма в ЭЧАЯ. 2009. Т. 6. С. 197.
5. F. Scaza et al., Nucl. Phys. A 2007. V. 788. P. 260c.
6. K.K. Seth, Nucl. Phys. A 1985. V. 434. P. 287.

**ЗАВИСИМОСТЬ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОТ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОУДАРЕНИЯХ ПРОТОНОВ И ЯДЕР ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

<sup>1</sup>Аргынова А.Х., <sup>1</sup>Гайтинов А. Ш., <sup>2</sup>Квочкина Т.Н., <sup>1</sup>Локтионов А.А.

<sup>1</sup>Физико-технический институт – Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Институт ядерной физики - Алматы, Казахстан

Понимание зависимости множественных процессов от размеров (и, возможно, от формы) области взаимодействия является одной из ключевых проблем релятивистской ядерной физики.

Для исследования этих проблем в космических лучах при энергиях выше 10 ТэВ был выполнен компьютерный анализ данных эксперимента «Стратосфера» [1]. Для всех заряженных вторичных частиц в хорошо известном интермиттенс подходе была изучена зависимость «истинных» динамических флуктуаций плотности частиц над статистическим фоном на основе фильтрующих свойств нормированных факториальных моментов  $\langle Fq \rangle$  ранга  $q$ . При самоподобном характере флуктуаций  $\langle Fq \rangle$  должны расти с уменьшением бина фазового пространства степенным образом с показателем  $\phi(q)$ . В противоположном случае гладких функций распределения  $\langle Fq \rangle$  не должны зависеть от  $q$ . Количественные результаты поведения  $\phi(q)$  при больших  $q$  (до  $q = 8$ ) ясно выявили два различных района  $q$ -зависимости для взаимодействий, образованных протонами и ядрами. Дополнительный анализ спектров поперечных импульсов в всех гамма-квантов узкого переднего конуса во всех взаимодействиях снова продемонстрировал большое, - превышающее статистические ошибки, - различие между протонными и ядерными взаимодействиями. При высоких энергиях анализ данных всех частиц в узком переднем конусе составляет серьезную проблему и для современных коллайдерных экспериментов [2].

Для более полного понимания исследуемой проблемы в широком спектре ядро-ядерных взаимодействий выполнен анализ данных ускорительных эмульсионных экспериментов при JINR-AGS-SPS энергиях. Предложено и реализовано [3] новое решение в определении степени центральности соударений ядер, основанное на изучении корреляций между множественностью и суммой масс всех заряженных фрагментов-спектаторов: протонов-спектаторов, альфа-частиц-спектаторов и многозарядных фрагментов-спектаторов. Изучение взаимодействия легких – (C, O, Ne) средних – (Si, S) и тяжелых – (Au, Pb) ионов с тяжелыми – (Ag/Br) и легкими – (C/N/O) ядрами привело к выводу об усилении флуктуаций в начальных условиях с уменьшением области взаимодействия [4]. Результаты были проинтерпретированы как проявление внутренней альфа-кластеризации легких ядер [5]. В дальнейших исследованиях были изучены распределения по множественности и псевдобыстротам. Анализ флуктуаций множественности в наиболее центральных легких-легких столкновениях ядер - (C, O, Ne)+(C/N/O), средних-легких ядер - (Si, S)+(C/N/O), и тяжелых-тяжелых столкновениях ядер - (Au,Pb)+(Ag/Br) показал, что ширины распределения множественности обратно пропорциональны объему взаимодействующих систем [6]. Анализ флуктуаций псевдобыстротных спектров в отдельных взаимодействиях на основе многомерного сравнения распределений со стандартным гауссианом привел к точно такому же выводу [7].

Новый анализ двухчастичных адронных корреляций, выполненный в настоящей работе, также показывает различие корреляционных плотностей для центральных взаимодействиях легких- легких - (C, O, Ne)+(C/N/O) и тяжелых-тяжелых - (Au, Pb)+(Ag/Br) столкновений ядер.

Таким образом, получено сильное указание на зависимость множественных процессов не только от размеров, но и от формы области взаимодействия. Резкое усиление флуктуаций по всем исследуемым параметрам в центральных взаимодействиях легких- легких - (C, O, Ne)+(C/N/O) ядер по сравнению с тяжелыми-тяжелыми - (Au, Pb)+(Ag/Br) столкновениями ядер может быть проинтерпретировано как проявление нарушения правильной сферической картины ядра при переходе от тяжелых к легким ядрам. Внутренняя альфа-кластеризация легких ядер может быть одним из наиболее вероятных источников такого нарушения. Возбужденный фаейр-болл, рожденный в столкновениях легких-легких ядер, может отражать начальные условия соударений и тем самым обеспечивать различие в параметрах множественных процессов.

Литература

1. A.Kh. Argynova et al., Proc. of 27-th ICRC 2001.–P.1477–1480, Hamburg, 2001.
2. A.Kh. Argynova, et al., 34-th ICRC 2015, The Hague, Netherlands, July 30 - Aug 6, 2015.
3. A.Kh. Argynova et al., ICNRP'13, Almaty, Sept 24-27, 2013.
4. A.Kh. Argynova et al., Quark Matter 2014, Darmstadt, Germany, 18-24 May 2014,
5. A.Kh. Argynova et al., Strangeness in Quark Matter 2015, JINR, Dubna 5-11 July 2015.
6. A.Kh. Argynova et al., ISVHECRI 2016, Moscow, Russia, August 22-27, 2016
7. A.Kh. Argynova et al., XXIII Baldin ISHEPP, Dubna, Russia, September.19-24, 2016.

## ИССЛЕДОВАНИЕ С УЛЬТРАХОЛОДНЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ВВР-К

*Лычагин Е.В.*

Объединённый институт ядерных исследований, Дубна, Россия

Исследования с ультрахолодными нейтронами (УХН) были начаты в Дубне в 1968 году. После открытия УХН последовало бурное развитие этого направления в СССР на различных реакторах, в том числе и в ИЯФ Алма-Ате в 70-ые годы прошлого века.

За прошедшее время область исследований с УХН значительно расширилась. В этой области активно работают исследователи различных центров Европы, Америки и Японии. Успехи этой работы бесспорны. Например, на сегодняшний день наиболее точное значение для времени жизни нейтрона, наиболее сильное ограничение на величину электрического дипольного момента нейтрона получены в экспериментах с УХН.

Не смотря на достаточно большую историю, эта область нейтронной физики продолжает развиваться. В последнее время появляются новые методы исследований с УХН: изучение квантовых состояний нейтрона в гравитационном поле земли, квазиупругого рассеяния нейтронов на поверхности твёрдых тел и жидкостей, изучения явлений квантовой оптики с УХН. Обсуждается возможность использовать ультрахолодные нейтроны не только для решения вопросов фундаментальной физики частиц, но и для изучения физики поверхностей.

Очевидно, что дальнейший серьёзный прогресс в этой области возможен при существенном росте интенсивности источников УХН. Поэтому большой интерес во всем мире вызывают проекты таких источников. В последнее время появилось несколько предложений для реакторов ВВР, ПИК в Гатчине и реактора ИЛЛ в Гренобле (Франция). Все это проекты используют идею источника со сверхтекучим гелием в котором возможно производство УХН из холодных нейтронов и накопление их до высокой плотности.

Сотрудниками ЛНФ ОИЯИ совместно с сотрудниками НИЦ «Курчатовский Институт»-ПИЯФ предложен проект источника высокой плотности УХН на выведенном пучке реактора ПИК. Проект использует особенности конструкции реактора: тяжеловодный отражатель, относительно тонкая физическая защита, широкие нейтронные каналы, позволяющие получить снаружи реактора большой нейтронный поток. Другой особенностью проекта является идея использования отражателя-замедлителя нейтронов вокруг гелиевого источника. Это позволяет эффективно производить УХН в гелии при отсутствии холодного источника внутри реактора. Проведённые оценки показывают, что реализация этого проекта на реакторе ПИК может позволить получить плотность УХН в 1000 раз больше, а поток УХН в 10 раз больше, чем в наиболее интенсивном на сегодняшний день источнике УХН в ИЛЛ.

Рост интереса к исследованиям с УХН, происходит на фоне повсеместного сокращения числа нейтронных источников. Создание источников ультрахолодных нейтронов не с рекордными, но достаточно высокими параметрами представляется важной задачей, так как позволит проводить методические исследования и реализовать научную программу, не требующую высоких потоков УХН. Поэтому интересно рассмотреть возможность реализации проекта источника УХН на ВВР-К. Первые оценки показывают, что возможно получить источник УХН близкий по параметрам к источнику в ИЛЛ.



## ЭВОЛЮЦИЯ ОБОЛОЧЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ИЗОТОПОВ КРЕМНИЯ И СЕРЫ

<sup>1</sup>Маркова М.Л., <sup>2</sup>Третьякова Т.Ю.

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет,  
<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына (НИИЯФ МГУ),  
Москва, Россия

Одним из важнейших вопросов современной ядерной физики является вопрос об изменении свойств атомных ядер вдали от линии стабильности [1]. Современные экспериментальные исследования нейтронноизбыточных изотопов кремния дают новую информацию о таких явлениях, как трансформация магических чисел или разряжение протонной плотности в центре ядра [2, 3].

Настоящая работа посвящена изучению эволюции одночастичной структуры четных изотопов кремния ( $Z=14$ ) и серы ( $Z=16$ ), связанной с ростом нейтронного избытка. Экспериментальная информация о структуре стабильных изотопов получена из согласованного анализа данных реакций однонуклонных передач. Набор критериев позволяет отобрать из имеющегося массива экспериментальных данных группы реакций срыва и подхвата, в наибольшей степени согласующихся с оболочечной моделью. На основе отобранных данных определены энергетические положения и заселенности одночастичных уровней для протонов и нейтронов вблизи энергии Ферми в стабильных изотопах кремния и серы.

Одночастичная структура четно-четных нейтронноизбыточных изотопов определяется на основании энергий отделения протонов и нейтронов от соседних нечетных ядер и спектров их возбужденных состояний. Данные заселенностям протонных состояний в стабильных изотопах позволяют более реалистично рассмотреть процесс эволюции протонных состояний с ростом нейтронного избытка.

Сравнение полученных экспериментальных результатов с расчетами в дисперсионной оптической модели подтверждают основные тенденции в изменениях оболочечной структуры. Повышенная устойчивость наблюдается не только для магических ядер с  $N=20$ , но и для изотопов  $^{30}\text{Si}$  и  $^{32}\text{S}$ . В данных цепочках проявляется эффект заполняемой подоболочки  $N=16$  и ослабляется роль  $N=28$  в качестве магического числа. Помимо локальных изменений энергетических щелей между подоболочками также наблюдаются перераспределения нуклонных плотностей, влекущих появление ярко выраженной пузырьковой структуры плотности распределения протонов для  $^{34}\text{Si}$  и ее эволюции по мере роста нейтронного избытка.

1. O. Sorlin, M.-G. Porquet // *Prog. Part. Nucl. Phys.* 2008. V. 61. P. 602.
2. A. Mutschler et al. // *Nature Physics*, 2017. V. 13. P. 152.
3. J. Fridmann et al. // *Nature*, 2005, V. 435. P. 922.
4. O. V. Bepalova et al // *To be published in Phys. of At. Nucl.* 2017.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ  $pp \rightarrow \{pp\}_{s\pi^0}$  ОБРАЗОВАНИЕМ  $^1S_0$  ДИПРОТОНА В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 1–3 ГЭВ

Курманалиев Ж. К., Кунсафина А. Г., Цирков Д. А., Комаров В. И.

Объединенный институт ядерных исследований, г. Дубна Российская Федерация

На установке ANKE-COSY существует программа изучения реакций с образованием  $^1S_0$  дипротона  $\{pp\}_s$  в конечном состоянии, что достигается отбором протонных пар с энергией возбуждения менее 3 МэВ. Для реакции  $pp \rightarrow \{pp\}_{s\pi^0}$  проделанные ранее измерения показали возможность наличия пика в энергетической зависимости сечения вперёд для энергии пучка  $T_p > 1.5$  ГэВ. Ранее открытый на ANKE пик с максимумом при  $T_p = 0.66$  ГэВ связан с возбуждением  $\Delta(1232)$  изобары в промежуточном состоянии, при этом более тяжёлые резонансы, как ожидается, могут приводить к возникновению второго пика в сечении при более высоких энергиях. В докладе описана обработка данных и приведены предварительные сечения реакции  $pp \rightarrow \{pp\}_{s\pi^0}$  для нескольких энергий пучка в интервале 1–3 ГэВ.

1. T. Goldman and et al. // “Inevitable” nonstrange dibaryon, / Phys. Rev. C, vol. 39, 1889-1895, 1989.
2. M. Bashkhanov, H. Clement, S. J. Brodsky, // “Novel six-quark hidden-color dibaryon states in qcd”/ Phys. Lett. B, vol. 727, 438, 2013.
3. S. Barsov and et al. // “ANKE, a new facility for medium energy hadron physics at cosy - julich”/ Nucl. Instr. Methods A, vol. 462, 364 – 381, 2001.
4. B. Chiladze and et al. // “The forward detector of the anke spectrometer, scintillation and Cherenkov hodoscopes”/ Part. Nucl. Lett., vol 113(4), 95, 2002.
5. S. Dymov and et al. Part. Nucl. Lett., vol 119(2), 40, 2003.

MESON PHOTOPRODUCTION ON NEUTRON IN THE A2 EXPERIMENT

<sup>1</sup>Bulychjov S.A., <sup>1</sup>Kudryavtsev A.E., <sup>1</sup>Kulikov V.V., <sup>1</sup>Martemianov M.A., <sup>1</sup>Tarasov V.E., <sup>2</sup>Lizunova M.A., <sup>2</sup>Romanov A.I., <sup>3</sup>Briscoe W.J., <sup>3</sup>Strakovsky I.I.

<sup>1</sup>NRC «Kurchatov Institute» – ITEP, Moscow 117218, Russia,

<sup>2</sup>MEPhI, Moscow 115409, Russia,

<sup>3</sup>George Washington University, Washington, DC 20052, USA

In March of 2017 the A2 collaboration at MAMI microtron (Mainz, Germany) has taken the data on meson photoproduction on liquid deuterium target at tagged photon energies up to 1.5 GeV. The main aim of the experiment is to perform a high statistics study of neutral pion and  $\eta$ -meson production on free neutron. The measurements will greatly improve the available database on neutron target and will help to disentangle the isoscalar and isovector electromagnetic couplings of  $N^*$  and  $\Delta^*$  resonances [1].

New detectors added to improve trigger capability of Crystal Ball/TAPS facility are described as well as methods of neutron detection efficiency measurements started by ITEP group [2]. This data taking is a continuation of the previous one made at tagged photon beam with energies up to 800 MeV. The analysis of the experimental data are in progress. Preliminary results on total and differential cross sections are discussed as well as methods used for extraction of cross sections on neutron-target from deuteron data. In addition, we compared the experimental data with the predictions of SAID (USA) and MAID (Germany) partial wave analysis .

References

1. I. Strakovsky *et al.* Progress in Neutron EM Couplings. AIP Conf.Proc. 1735 (2016) 040002.
2. M. Martemianov *et al.*, A new measurement of the neutron detection efficiency for the NaI Crystal Ball detector. JINST **10** (2015), T04001.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР  $^{235}\text{U}$  ПО ИЗМЕРЕННОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ - ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ**

*Медетбеков Б.С., Алейников Ю.В., Попов Ю.А.*

Филиал «Институт атомной энергии» НЯЦ РК, город Курчатов, Казахстан

В работе рассмотрена реализация расчетно-экспериментального метода определения скорости деления (числа делений) тяжелых ядер урана по измеренной активности радионуклидов – продуктов деления после работы реактора на постоянном уровне мощности и после выдержки  $t$ .

В качестве объекта исследования были взяты образцы из диоксида урана ( $\text{UO}_2$ ) с естественным обогащением по изотопу урана  $^{235}\text{U}$ , облученные в экспериментальном канале реактора ИВГ.1М.

Целью физических исследований являлось получение экспериментальных данных по определению скорости деления тяжелых ядер в образце  $\text{UO}_2$ , облученного в ФКЭ реактора ИВГ.1М. Физические исследования включали в себя:

- подготовку образца к облучению;
- проведение реакторного эксперимента с ЭУ с помещенным в него образцом;
- постреакторные исследования, включающие гамма-спектрометрические измерения спектров от облученного образца с последующей обработкой результатов измерений.

Эксперимент проводился с использованием размещенного в ФКЭ ЭУ, представляющего собой полиэтиленовый контейнер с образцом  $\text{UO}_2$ . Образец находился на уровне центра АЗ реактора.

Образец  $\text{UO}_2$  измерялся на гамма спектрометре из особо чистого германия на протяжении 22 суток. После анализа спектров были определены ПД, имеющие наиболее интенсивные гамма-линии. Для дальнейшего анализа были выбраны следующие радионуклиды - ПД:  $^{95}\text{Zr}$ ,  $^{97}\text{Zr}$ ,  $^{103}\text{Ru}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{140}\text{Ba}$ ,  $^{140}\text{La}$ ,  $^{141}\text{Ce}$ .

С применением активационного метода анализа в диоксиде урана определен ряд радионуклидов – продуктов деления, по активности которых определена скорость деления в образце диоксида урана. Также, оценена погрешность скорости деления, которая не превысила 6 %;

Полученные экспериментальные данные будут использованы при разработке методики определения удельного числа делений в образцах ядерных материалов, облученных в реакторах ИГР и ИВГ 1М.

**САМОСОГЛАСОВАННЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ**

*Ачаковский О. И. <sup>1</sup>, Камерджиев С. П. <sup>2</sup>, Люторович Н. А. <sup>3</sup>, Целяев В. И. <sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ГНЦ РФ Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, 249033 Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский Институт", 123182 Москва, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, 199034, г.Санкт-Петербург, Россия

Обзор, посвященный новым результатам расчетов важнейших радиационных характеристик ядерных реакций (радиационных силовых функций, радиационного захвата нейтронов, соответствующих гамма-спектров, средних радиационных ширин) в магических и полумагических ядрах. Расчеты выполняются в рамках двух самосогласованных подходов [1-3], которые учитывают эффекты, как квазичастичного метода хаотических фаз, так и связи с фононами и используют известные параметры сил Скирма для получения среднего поля, эффективного взаимодействия нуклонов и фононов. Во всех рассмотренных характеристиках вклад связи с фононами оказался значительным и необходимым для описания имеющихся экспериментальных данных.

1. O. I. Achakovskiy, A. V. Avdeenkov, S. Goriely, S. Kamerdzhiev, S. Krewald Phys. Rev. C 91, 034620 (2015).

2. С. П. Камерджиев, О. И. Ачаковский, В. И. Целяев Письма в ЖЭТФ, 104, 387-392 (2016).

3. N. Lyutorovich, V. Tselyaev, J. Speth, S. Krewald, F. Grummer, and P. G. Reinhard, Phys. Lett. B 749, 292 (2015).

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ИЗОМЕРОВ

Кабина Л.П., Лисин С.С., Митропольский И.А.

Петербургский институт ядерной физики им.Б.П.Константинова НИЦ «Курчатовский институт»,  
Гатчина, Россия

На основе базы данных о временах жизни ядерных состояний [1] составлен атлас свойств ядерных изомеров. В докладе рассматриваются изомеры со временем жизни больше 1 секунды (604 изомера). Это ограничение носит условный характер и ограничивает выборку только количественно, т.к. в исходной базе данных представлена информация о всех ядерных состояниях с измеренным временем жизни. Рассматриваются изомеры не только стабильных в основном состоянии ядер, но и нестабильных, например  $^{180}\text{Ta}$  и др. На рис.1, 2 представлены распределения числа изомеров по массовому числу и по энергии их возбуждения.

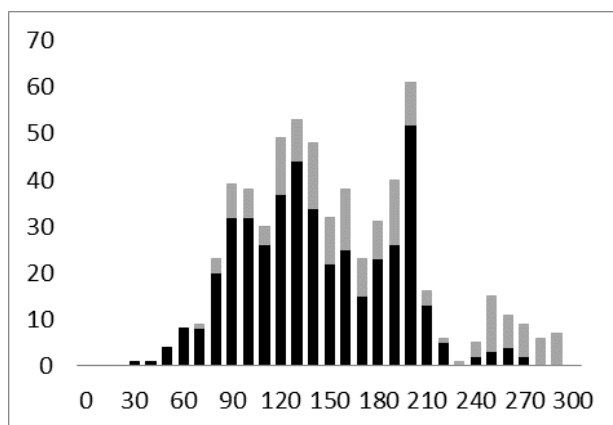


Рис. 1. Распределение числа изомеров по массовому числу. Серым отмечен вклад изомеров с энергией возбуждения, определенной с точностью до аддитивной постоянной.

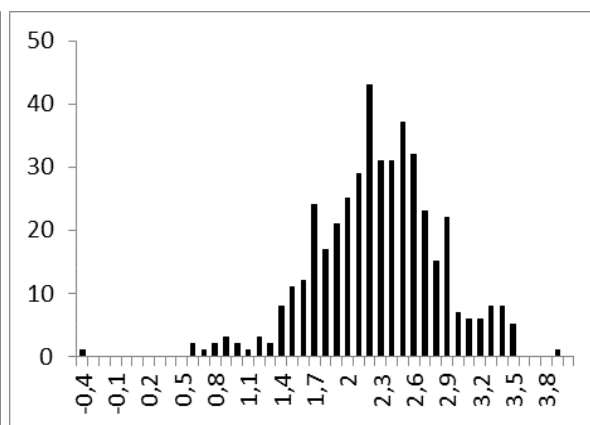


Рис. 2. Распределение числа изомеров по логарифму энергии возбуждения (в единицах кэВ).

Кроме традиционных характеристик изомерных состояний, спин и четность, энергия возбуждения, время жизни, моды распада, в атласе приводятся основные реакции получения изомеров. Эта информация очень важна для практических целей при отнесении данного изомера к «реакторному» или «ускорительному» типу. Сравняются характеристики изомерного и основного состояний ядра.

Изучение свойств изомеров является великолепной проверкой правильности наших представлений о структуре ядра. Можно выделить изомерию по спину (в деформированных ядрах – по проекции спина), по равновесной форме, в частности «внедренные» состояния и изомеры деления, и по энергии возбуждения. В последнем случае, энергия перехода так мала, например в  $^{235}\text{U}$  или в  $^{229}\text{Th}$ , что электромагнитное время жизни становится большим даже в отсутствие других запретов.

Явление ядерной изомерии обязательно должно быть включено в рассмотрение астрофизических процессов нуклеосинтеза, т.к. оно значительно влияет на кинетику ядерных распадов. Детальное знание свойств ядерных изомеров необходимо при обсуждении принципиальной возможности их вынужденной разрядки [2], в частности с помощью нейтронов [3]. Наконец, само по себе время жизни изомерного состояния может зависеть от внешних условий [4].

1. Кабина Л.П., Лисин С.С., Митропольский И.А.. База данных и пользовательский интерфейс по временам жизни ядерных состояний. //Тезисы докладов 66-ой Международной конференции по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра «Ядро-2016». Саров, ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 2016, с.161.
2. Ткаля Е.В. Индукцированный распад ядерного изомера  $^{178\text{m}2}\text{Hf}$  и «изомерная бомба». //УФН, 2005, т.175, с.555.
3. Кондуров И.А., Коротких Е.М., Петров Ю.В. Ускорение тепловых нейтронов изомерными ядрами  $^{152\text{m}}\text{Eu}$ . //Письма в ЖЭТФ, 1980, т.31, с.254.
4. Логинов Ю.Е., Егоров А.И., Э.И.Малютенков, С.Э.Малютенкова, В.В.Мартынов. Исследование влияния резонансного окружения (мессбауэровский экран) на наблюдаемое значение периода полураспада изомера  $^{119\text{m}}\text{Sn}$ . //Письма в ЖЭТФ, 2008, т.87, с.7.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ НА ВОЛЬФРАМОВОЙ МИШЕНИ ОТ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ЛЭУ-8 С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЕЛИЯ-3 И БОРА-10**

*Мешков И.В.\**, *Кузнецов С.П.\**, *Поташев С.И.\*\**, *Бурмистров Ю.М.\*\**, *Караевский С.Х.\*\**, *Зуев С.В.\*\**,  
*Солодухов Г.В.\*\**

\* - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), г. Москва, Российская Федерация.

\*\* - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт Ядерных Исследований Российской академии наук (ИЯИ), г. Москва, Российская Федерация

Исследована зависимость выхода нейтронов из вольфрамовой мишени от энергии электронов от 5 до 8 МэВ в пучке ускорителя ЛЭУ-8. Работа проведена с целью оптимизации режима работы ускорителя, на базе которого создан нейтронный источник для ядерно-физических и твердотельных исследований. Для регистрации нейтронов использовались гелиевый счетчик СНМ-18 с эффективностью 80% по тепловым нейтронам и позиционно-чувствительный детектор со слоем  $^{10}\text{B}$ , устойчиво работающие в условиях высокого гамма-фона и сильных электромагнитных наводок. Полезные сигналы легко идентифицируются и отделяются от разнообразных побочных импульсов при обработке спектров, набранных с помощью анализатора импульсов. Методика отрабатывалась на стенде, собранном на основе постоянного источника нейтронов, в условиях минимального радиационного фона и наводок. Осциллограммы сигналов, полученных с помощью сигнального процессора LCard L-783, использовались для определения формы импульсов и построения амплитудных спектров. Фронт нарастания сигналов составил 3 мкс, спад  $\sim 15$  мкс.

В эксперименте на ускорителе информация с позиционно-чувствительного детектора накапливалась в виде последовательных событий, включающих в себя 4 амплитуды и астрономическое время, а с СНМ-18 в виде амплитудного спектра. Двумя детекторами измерена зависимость выхода нейтронов от энергии электронов, нормированный на ток пучка ускорителя. Были сделаны оценки эффективности регистрации нейтронов позиционно-чувствительным детектором, используя известные характеристики гелиевого счетчика. Обнаружена зависимость этой эффективности от энергии электронов в пределах от 2 до 4%.

**$\Delta E$ -E ТЕЛЕСКОП ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ Si-ДЕТЕКТОРА И МАТРИЦЫ SiФЭУ СО СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ КРИСТАЛЛАМИ**

*Мицук В.В., Мордовской М.В.*

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

В Лаборатории атомного ядра ИЯИ РАН проводятся работы по исследованию реакции  $d + d \rightarrow p + p + n + n$  с целью определения энергий виртуальных синглетных уровней двухнуклонных систем  $(pp)^s$ ,  $(nn)^s$  и  $(np)^s$ . Разрабатываемый детектор на основе SiФЭУ предполагается использовать в составе  $\Delta E$ -E телескопа для регистрации энергии и факта регистрации двух конечных протонов (т.н. E- детектор полного поглощения) [1].

В качестве  $\Delta E$ -детектора используется полностью обедненный поверхностно-барьерный кремниевый детектор с толщиной  $\sim 25$  мкм. E-детектором должна служить матрица из детекторов, минимально  $2 \times 2$ , с максимальными размерами чувствительной площади каждого  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>. При этом имеется 6 возможных комбинаций детектирования пары протонов в совпадении.

Были проведены расчеты кинематики данной реакции, которые определили требования на параметры детекторов. В работе описываются расчеты и рассматриваются особенности проведенных измерений параметров  $\Delta E$ -E телескопа и, в особенности, E- детектора, созданного на основе SiФЭУ и сцинтилляционных кристаллов LYSO. Обсуждаются вопросы применения подобного детектора в экспериментах по исследованию малонуклонных реакций.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ № 16-32-00743 мол\_а.

Литература:

1. Зуев С.В., Каспаров А.А. и др. // Изв. РАН. Сер. физ. 2016. Т. 80. № 3. С. 254.

**НЕЙТРОННЫЕ ПОТОКИ И РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-К ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ УХН**

*Шарапов Э.И.<sup>1</sup>, Лычагин Е.В.<sup>1</sup>, Молдагалиева А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Объединенный институт ядерных исследований, Лаборатория нейтронной физики им. И.М. Франка, Дубна 141980, Россия;

<sup>2</sup> Государственное бюджетное учреждение высшего образования Московской области «Университет «Дубна», Дубна 141980, Россия oijanka@mail.ru

Использование ультрахолодных нейтронов (УХН) в физических экспериментах привлекательно благодаря возможности их длительного удержания в замкнутом объеме - ловушке. Впервые это явление было обнаружено в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ группой экспериментаторов под руководством Ф.Л. Шапиро. Однако достигнутые плотности нейтронного газа и поныне оставляют желать лучшего. Поэтому в различных научных центрах ведутся работы по улучшению существующих или созданию новых интенсивных источников УХН для развития экспериментов по изучению свойств нейтрона и повышению точности результатов.

Казахстанский ядерный исследовательский реактор ВВР-К (г. Алматы) после модернизации, завершённой в 2016 г, стал работать с тепловыделяющими элементами 19%-го обогащения по урану-235 и для него формируется обновленная программа научных и прикладных исследований. Одним из направлений этой программы могли бы стать исследования с УХН при условии создания интенсивного источника УХН, например, по схеме, предложенной в ЛНФ им. Франка ОИЯИ, со сверхтекучим гелием на выведенном из реактора пучке тепловых нейтронов [1].

В работе предлагается математическое моделирование величины и спектра нейтронных потоков и радиационного нагрева материалов в каналах реактора ВВР-К для источников УХН. Рабочий инструмент моделирования – американская Монте-Карло MCNP программа транспорта нейтронов и гамма квантов. Первоначальный этап работы состоял в расчете активной зоны реактора и построении детальной геометрии экспериментальных каналов в качестве входных данных для запуска программы MCNP. Была выбрана упрощённая (гомогенная) модель активной зоны реактора как источника нейтронов для расчетов характеристик нейтронных полей лишь вне активной зоны. Правильность такого выбора была проверена посредством моделирования прежнего реактора 36%-го обогащения и его пучков. Сравнение с экспериментальными данными 70-х годов, полученных в работах с УХН на этом реакторе, тестирует расчетную модель реактора.

Успешное тестирование и выполненные затем расчеты для ныне работающего реактора ВВР-К с твэлами 19%-го обогащения дает нам уверенность в реалистичности полученных результатов для:

- спектров нейтронов в активной зоне и в центре сквозного касательного канала (дефлектор);
- плотностей потоков на входе и выходе в радиальный канал №1 (ГРК-1), на выходе сквозного касательного канала;
- распределения плотности потока нейтронов по длине радиального канала ГРК-1;
- радиационного нагрева в различных материалах дефлектора;
- спектра нейтронов на выходе сквозного касательного канала.

Несомненно, эти результаты будут востребованы исследователями, планирующими работу на реакторе ВВР-К. В частности показано, что ввиду сокращения размеров активной зоны модернизированного реактора, необходимо включить бериллиевый отражатель в состав зоны, чтобы сохранить прежние потоки нейтронов во внешних относительно зоны каналах. Важно так же, что обсуждаемый источник ультрахолодных нейтронов на обновленном реакторе ВВР-К может быть сравнимым по темпу производства УХН с действующим источником УХН на мощном реакторе в ILL (Гренобль, Франция).

1 E.V. Lychagin, V.A. Mityukhlyayev, A.Yu. Muzychka, G.V. Nekhaev, V.V. Nesvizhevsky, M.S. Onegin, E.I. Sharapov, A.V. Strelkov UCN sources at external beams of thermal neutrons. An example of PIK reactor // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A 823 (2016) p. 47–55.

RADIATIVE CAPTURE  ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$  AT LOW ENERGIES

Burkova N.A. <sup>1</sup>, Dubovichenko S.B. <sup>2</sup>, Tkachenko A.S. <sup>1,2</sup>, Mukaeva A.R. <sup>1,2</sup>, Beisenov B.U. <sup>1,2</sup>

1 - al-Farabi Kazakh National University, Almaty, the Republic of Kazakhstan

2 – V.G. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, the Republic of Kazakhstan

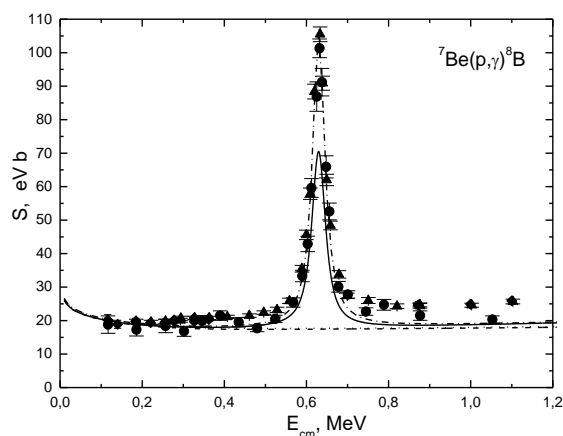
The radiative capture reaction  $p+{}^7\text{Be}\rightarrow{}^8\text{B}+\gamma$  at astrophysical energies with the formation of an unstable  ${}^8\text{B}$  nucleus, which due to the weak process decays  ${}^8\text{B}\rightarrow{}^8\text{Be}+e^++\nu$  with a further breakdown of  ${}^8\text{Be}$  into two  $\alpha$  - particles  ${}^8\text{Be}\rightarrow{}^4\text{He}+{}^4\text{He}$  is one of the final reactions of the *proton-proton cycle*, which causes the main energy output of our Sun and, apparently, most of the stars of our Universe.

High-energy neutrinos from the decay process of  ${}^8\text{B}$  in solar reactions are registered by detectors on the Earth and make it possible to judge the course of some thermonuclear processes on the Sun. Therefore, a detailed study of this reaction, in particular, the shape and dependence on the energy of the astrophysical *S*-factor and the reaction rate, is of considerable interest for nuclear astrophysics. Such results will contribute to a better understanding of the mechanisms of thermonuclear processes occurring in various synthesis reactions.

So, that is the reason for the detailed experimental study by the Seattle – TRIUMF collaboration [1, 2].

Present calculations have been done within the Modified Potential Cluster Model[3]. Potentials of cluster-nucleon interactions coordinated with the spectra of the  ${}^8\text{B}$  for the scattering channel and the main bound  ${}^3P_2$  state in the cluster  $p{}^7\text{Be}$  channel are constructed. In the modified potential cluster model, the possibility of describing the astrophysical *S*-factor of the radiative  $p{}^7\text{Be}\rightarrow{}^8\text{B}\gamma$  capture to the ground state of the  ${}^8\text{B}$  at the energies up to 1 MeV is considered.

The resonance at an energy of 0.722 MeV due to the *M1* transition from the resonance  ${}^3P_1$ -scattering wave is revealed. The results for the calculated *S*-factor are given in the Figure. The obtained value 26.6 (1.5) eV · b for the *S*-factor at 10 keV is in reasonable coincidence with the available experimental data and *ab initio* theoretical calculations [4 - 6].



The total cross sections and the reaction rate for the  $p{}^7\text{Be}\rightarrow{}^8\text{B}\gamma$  capture in the temperature range from 0.01 to 5 T<sub>9</sub> have been calculated.

References:

1. Snover K.A., Junghans A.R. et al. The  ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$  astrophysical *S*-factor // Nucl. Phys. – 2005 – Vol. A758. – P. 687c -688c.
2. Cyburt R.H., Davids B., Jennings D.K. The  ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$  reaction and its future // Nucl. Phys. – 2005 – Vol. A758. – P. 693c -696c.
3. Dubovichenko S.B. Thermonuclear processes in Stars and Universe. Second English edition, revised and expanded. Germany, Saarbrücken: Scholar's Press, 2015, 332 p.
4. Navrátil P., Bertulani C. A., and Caurier E.  ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$  *S* Factor from *ab initio* No-Core Shell Model Wave Functions // Phys Rev. C, 2006. – V. 73. – P. 065801.
5. Navrátil P., Roth R., Quaglioni S. *Ab initio* many body calculations of the  ${}^7\text{Be}(p,\gamma){}^8\text{B}$  radiative capture // Phys. Lett. 2011. V. 704B. – P. 379.
6. Zang. X., Nollett K.M., Phillips D.R. Marrying *ab initio* calculations and Halo EFT: the case of  ${}^7\text{Be} + p\rightarrow{}^8\text{B} + \gamma$  // arXiv: 1401.4482v1 [nucl-th]. 2017. – 5p.

**STUDY OF ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF DEUTERONS FROM  $^9\text{Be}$  NUCLEI**

<sup>1</sup> *Burtebayev N.*, <sup>1</sup> *Kerimkulov Zh.K.*, <sup>1</sup> *Burtebayeva J.*, <sup>1</sup> *Mukhamejanov Y.S.*, <sup>1</sup> *Alimov D.K.*, <sup>1</sup> *Talpakova K.A.*, <sup>1,2</sup> *Nassurlla Maulen*, <sup>1</sup> *Khojayev R.A.*, <sup>3</sup> *Sakuta S.B.*, <sup>4</sup> *Saduyev N.O.*, <sup>5</sup> *Galanina L.I.*

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>National Research Center "Kurchatov Institute", Moscow, Russia

<sup>4</sup>Institute of Experimental and Theoretical Physics, Almaty Kazakhstan

<sup>5</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

The experimental angular distributions of elastic and inelastic scattering of deuterons from  $^9\text{Be}$  nuclei were measured at the extracted beam from isochronous cyclotron U-150M at the Institute of Nuclear Physics (INP, Almaty, Kazakhstan) at  $E_d=14.5$  MeV. Nuclear reactions products were registered and identified using standard  $\Delta E$ -E method realized on the basis of PC/AT personal computer. In the "E- $\Delta E$ " telescope of detectors,  $\Delta E$ -detector is a surface-barrier silicon detector (manufactured by company ORTEC with an active layer of thickness of 30 to 200  $\mu\text{m}$  and thin inlet ( $\sim 40\mu\text{g}/\text{cm}^2$  Au) and outlet ( $\sim 40\mu\text{g}/\text{cm}^2$  Al) windows. The complete absorption E detector is used as a stop detector - company ORTEC high-purity silicon; thickness of 2 mm. The thin metallic foils made of beryllium-9 isotope were used as targets. Target thickness was determined at UKP-2-1 linear accelerator of INP. For this purpose  $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{S}$  reaction yield curves in the region of  $E_p = 992$  keV resonance [1] were measured using aluminum foil and sputtered target. The shift of the resonance in  $^{27}\text{Al}(p,\gamma)^{28}\text{S}$  reaction, caused by the protons energy loss as passing through beryllium film, was 62,2 keV that corresponds to target thickness of 320  $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ . The solid angle was  $4 \times 10^{-5}$  sr. The energy resolution at small angles is in the range of 200-250 keV and at large - in the range of 250-300 keV and determined mainly by the energy spread in the beam and the thickness of the target. Theoretical calculations were carried out using FRESKO [2] and ECIS88 [3] computer codes.

The data on elastic scattering were analyzed within the framework of the standard optical model of the nucleus, where the influence of inelastic channels is taken into account by introducing a phenomenological imaginary absorptive part in the interaction potential between the colliding nuclei. In this model the elastic scattering is described by a complex interaction potential with a radial dependence in the form of Woods-Saxon. Parameters of optical potential were selected to achieve the best agreement between theoretical and experimental angular distributions. In addition to our experimental data for  $d+^9\text{Be}$  at energy 14.5 MeV, we also analyzed the experimental data for this nuclear system at other energies: 19.5 MeV [4] and 27.7 MeV [5].

The theoretical calculations of the angular distributions for the  $5/2^-$  (2.43 MeV) and  $5/2^+$  (3.05 MeV) excited states were performed using the coupled channel method implemented in code FRESKO using potentials obtained in the analysis of elastic scattering.

This work is supported by grant of MES of the Republic of Kazakhstan #1460 GF4.

References:

1. Bulter J.W. Table of (p, $\gamma$ ) resonances by proton energy:  $E = 0.163 - 3.0$  MeV // U.S. Naval Research Laboratory. NRL Report. – 1959. – P.5282-5299.
2. J. Raynal, ECIS—88, NEA 0850.
3. Thompson I.J. Coupled reaction channels calculations in nuclear physics. // Comput. Phys. Rep. – 1988. – Vol.7. – P.167-212.
4. С. М. Лукьянов, М. А. Науменко, В. Бурьян, В. Глаголев, А. С. Деникин, В. Крога, К. Кутербеков, К. Мендибаев, Я. Мразек, Ю. Э. Пенионжкевич, С. Пискорж, Н. К. Скобелев, Ю. Г. Соколов, В. Тржаска, Ю. Тулеушев, Г. Тюрин, С. В. Хлебников, Б. А. Уразбеков. Кластерная структура  $^9\text{Be}$  и ее влияние на механизм передачи нуклонов. Препринт – P7-2016-92. ОИЯИ, 2016. – 17 с.
5. Slobodrian R.J. Scattering of 27.7 MeV deuterons on beryllium and boron // Nuclear Physics. – 1962. – Vol.32. – P.684-694.



**КОМБИНИРОВАННЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РЕКАТОРЕ ИБР-2**

*Ананьев В.Д., Мухин К.А., Рогов А.Д.*

Объединенный институт ядерных исследований г. Дубна

Реактор ИБР-2 является высокопоточным источником нейтронов. Мировые тенденции исследований в области физики конденсированного состояния, ядерной физики, исследования биологических объектов и т.д. требуют различные спектры нейтронов. Учитывая потребность экспериментаторов в использовании нейтронов различных энергий, в 2006 году при модернизации реактора были учтены пожелание пользователей и началось создание источника холодных нейтронов.

Источник холодных нейтронов представляет собой 3 комбинированных замедлителя окружающей активную зону реактора. Конфигурация головной части каждого замедлителя учитывает направление исследований каждого экспериментального пучка ориентированного на ту или иную часть поверхности замедлителя. В то же время конфигурация головной части замедлителя имеет криогенную камеру (для получения спектра тепловых нейтронов), криогенную камеру (для получения спектра холодных нейтронов), а так же и специальные отверстия для получения высокоэнергичных нейтронов. Таким образом, такие замедлители позволяют получить экспериментатору именно тот спектр нейтронного потока, который необходим в конкретном исследовании.

В работе будут показаны результаты (данные спектра, проблемы деградации и вязкости вещества замедлителя) опытной эксплуатации замедлителя КЗ 202, работающего с 2012 года в режим опытной эксплуатации. После получения и уточнения эксплуатационных и нейтронно-физических параметров работы замедлителя было принято решение о продолжении работы и создании следующего замедлителя КЗ 201 «центрального направления». На примере ведущейся работы будут представлены этапы создания комбинированного замедлителя, начиная со сравнительных нейтронно-физических расчётов (методом Мотне-Карло) различных вариантов головной части до разработки рабочих чертежей и подготовки инфраструктуры. Будет показан выбранный вариант, учитывающий технологическую возможность изготовления в сочетании с оптимальными нейтронно-физическими свойствами. Будет дан краткий обзор применяемого технологического и криогенного оборудования комплекса.

**ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОННЫХ СЕЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОНЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ-8-5**

*Мордовской М.В., Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Мицук В.В., Суркова И.В., Скоркин В.М.*

Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

В ИЯИ РАН проводятся работы по созданию установки для нейтронных исследований на базе серийного промышленного ускорителя электронов ЛУЭ-8-5. Электроны ускорителя ЛУЭ-8-5 с перестраиваемой энергией от 4 до 9 МэВ попадают на вольфрамовый конвертер и образуют в нем поток тормозных гамма-квантов, которые, попадая на бериллиевую мишень, рождают фотонейтроны. Полиэтиленовый блок-замедлитель позволяет внутри рабочей камеры фотонейтронного источника получить тепловые нейтроны с плотностью потока порядка  $10^7$ - $10^8$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>. В тоже время наличие выходного канала и возможность изменения геометрии бериллиевой нейтронообразующей мишени позволяет получать выведенный поток быстрых нейтронов.

Согласно подходу предложенному в [1], на ускорителе ЛУЭ-8-5 применена методика “квазимоноэнергетизации” тормозного спектра фотонов. Измерения при двух или более близких значениях энергии электронов и использование специальной процедуры позволяет получить квазимоноэнергетический “пучок” фотонов с энергией близкой к верхней границе тормозного спектра. Облучение таким “пучком” фотонов бериллиевой мишени (<sup>9</sup>Be) позволяет получить также квазимоноэнергетический “пучок” быстрых нейтронов. Моделирование показало, что при условии получения “пучка” фотонов с энергией  $5.5 \pm 0.5$  МэВ можно получить квазимоноэнергетический “пучок” нейтронов с энергией  $3.4 \pm 0.4$  МэВ. Поскольку возможный интервал энергий электронов на ускорителе ЛУЭ-8-5 составляет 4 – 9 МэВ, нейтроны могут быть получены в интервале энергий 2 – 7 МэВ.

Для проверки результатов моделирования проведены измерения потоков быстрых нейтронов в выведенном канале нейтронного источника. Предполагается использование данной установки для проведения измерений нейтронных сечений (полных сечений, сечений упругого и неупругого рассеяния нейтронов, силовых функций и т.д.) при энергии нейтронов в области 2-7 МэВ.

1. Van Camp E., et.al. Phys.Rev C, V. 24, P. 2499, 1981.

ALPHA CLUSTERING IN N≠Z NUCLEI

Nauruzbayev D.K. <sup>1\*,5</sup>, Goldberg V.Z. <sup>2</sup>, Nurmukhanbetova A.K. <sup>1</sup>, Golovkov M.S. <sup>3</sup>, Volya A. <sup>4</sup>, Rogachev G.V. <sup>2</sup>, Zherebchevsky V.I. <sup>5</sup>, Torilov S.Yu. <sup>5</sup>, Tikhonov A. <sup>6</sup>, Kaikanov M. <sup>1</sup>, Ivanov I. <sup>7</sup>, Koloberdin M. <sup>7</sup> and Kozin S. <sup>7</sup>.

<sup>1</sup> National Laboratory Astana, Nazarbayev University, Astana, 010000, Kazakhstan,

<sup>2</sup> Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, Texas, USA

<sup>3</sup> Joint Institute of Nuclear Research, Dubna, Russian

<sup>4</sup> Department of Physics, Florida State University, Tallahassee, Florida 32306, USA

<sup>5</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>6</sup> School Science and Technology, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

<sup>7</sup> Insitute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

There are various arguments [1,2] indicating that new insight in the problem of alpha clustering can be obtained through experimental studies of the  $\alpha$ -cluster states in N≠Z nuclei. In N≠Z nuclei, the nucleon decay threshold are close to that for  $\alpha$  particle, and the penetrability factors do not inhibit the nucleon decay from the states in question. Therefore data on the properties of the  $\alpha$ -cluster states in N≠Z nuclei might give insight in the relation between the single particle and cluster degrees of freedom.

There are mirror nuclei with Z>N for the all N>Z nuclei. Therefore powerful ideas and methods of charge symmetry, analog states can be useful in these studies. These studies are also strongly motivated by astrophysics [3]

The data on the properties of the  $\alpha$ -cluster states in N≠Z nuclei (unlike information on N=Z selfconjugate nuclei (<sup>8</sup>Be, <sup>12</sup>C, <sup>16</sup>O..)) are very scarce due to the experimental and analysis difficulties.

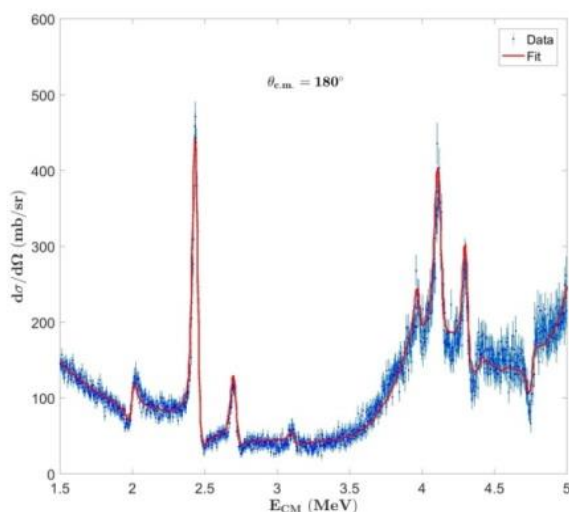


Fig.1 The 180° excitation function for the <sup>16</sup>O+  $\alpha$  resonance elastic scattering together with R matrix fit[8]

fruitful field.

We applied Thick Target Inverse Kinematic (TTIK) method[4] to study resonance reactions with hydrogen and helium targets at Heavy Ion Accelerator DC-60 [5] (Astana, Kazakhstan). An incorporation of time off light measurements in the TTIK method enables us to develop the studies to a broader set of nuclei with a broader range of their excitation energies. The original measurements were made to study resonance interaction of <sup>13</sup>C, <sup>15</sup>N, <sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O with targets of pure hydrogen and helium. An analysis of the experimental data was made using multilevel multichannel R matrix code [6]. Obtained results are compared with predictions of cluster-nucleon configuration interaction model (CNCIM)[7]. Fig. 1 presents an example of the experimental data and the R-matrix analysis for <sup>16</sup>O+alpha resonance scattering at 180° c.m.

In my talk I'll give a detailed review of the studies in question. I'll also review a general status of the relevant problems and perspectives in this new and

- [1] V.Z.Goldberg, G.V.Rogachev, W.H. Trzaska et al., Phys.Rev. C 69, 024602 (2004)
- [2] V.Z.Goldberg, G.V.Rogachev AIP Conf.Proc.1491 (2012) 212
- [3] E. Sugarbaker, R. N. Boyd, D. Elmore, and H. E. Gove, Nuclear Physics A 351, 481 (1981).
- [4] K. Artemov, O.P. Belyanin, A.L. Vetoshkin, R. Wolski, M.S. Golovkov, V.Z. Goldberg, M. Madeja, V.V. Pankratov, I.N. Serikov, V.A. Timofeev, Sov. J. Nucl.Phys. 52, 408 (1990).
- [5] A. K. Nurmukhanbetova, V. Z. Goldberg, D. K. Nauruzbayev, G. V. Rogachev, M. S. Golovkov, N. A. Mynbayev, S. Artemov, A. Karakhodjaev, K. Kuterbekov, A. Rakhymzhanov, Z. Berdibek, I. Ivanov, A. Tikhonov, V. I. Zherebchevsky, S. Y. Torilov, and R. E. Tribble, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 847, 125 (2017).
- [6] E. D. Johnson, The Cluster Structure of Oxygen Isotopes, The Florida State University, 2008.
- [7] A.Volya and Y. M. Tchuvilsky, Physical Review C 91, 44319 (2015).
- [8] D. K. Nauruzbayev, V. Z. Goldberg, A. K. Nurmukhanbetova, M. S. Golovkov, A. Volya, G. V. Rogachev, and R. E. Tribble, (2017), PRC in print.

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АМПЛИТУДЫ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ АТОМОВ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ ПО ДАННЫМ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ

Партиев А.С., Рахманов С.Дж.

Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, Улугбек,  
100214, Ташкент, 100214, Узбекистан, e-mail: [khidirov@inp.uz](mailto:khidirov@inp.uz)

Амплитуда тепловых колебаний атомов  $\overline{u^2}$  в кристалле наряду с кристаллической решеткой является одной из самых важных его фундаментальных свойств. С амплитудой колебаний атомов в твердом теле неразрывно связаны его механические, теплофизические и электрофизические свойства. Поэтому для объяснения явлений связанных с этими свойствами и для прогнозирования этих свойств необходимо знание о амплитуде тепловых колебаний атомов в твердом теле. Цель данной работы – показать наилучший метод экспериментального определения  $\overline{u^2}$ .

Амплитуду тепловых колебаний атомов в твердых телах часто определяют через температуру Дебая, которая определяется из значений теплоемкостей, измеренных при низких температурах, из измерений скорости распространения акустических волн, через упругие постоянные. Однако иногда между этими значениями  $\theta_d$  обнаруживается разительное расхождение. По-видимому, это обусловлено с использованием различных приближений при этих методах и их точностями. Хороший результат можно получить из эффекта Мессбаура и по фононным спектрам, определенным упругим рассеянием нейтронов.

Одним из самых простых и дающих достоверных результатов методов определения  $\overline{u^2}$  в кубических кристаллах является дифракционный метод. Рентгенографический метод определения  $\overline{u^2}$  гораздо сложнее благодаря зависимости структурного форм-фактора от угла Вульфа-Брэгга, экстинкции и поглощению X-лучей в кристаллах. В нейтронной дифракции влияние этих факторов практически сводятся к нулю. Это обстоятельство гораздо упрощает определение  $\overline{u^2}$  методом дифракции нейтронов. При этом  $\overline{u^2}$  определяют непосредственно из эксперимента без всяких вспомогательных расчетов и приближений. Будучи ядерным методом нейтронная дифракция является одним из мощных прецизионных методов исследования конденсированных сред. Де-Бройлевская длина волны  $\lambda$  тепловых нейтронов с энергией порядка  $\sim 0.1$  эВ имеет порядок межатомного расстояния. Энергия тепловых нейтронов того же порядка, что и энергия тепловых колебаний атомов в кристаллах. Это позволяет измерять  $\overline{u^2}$  в кристаллах по неупругому рассеянию нейтронов с высокой точностью. Потому что когерентное упругое рассеяние тепловых нейтронов определяется динамикой всех частиц кристалла. При столкновении тепловых нейтронов с коллективными тепловыми колебаниями решетки – фононами энергия и импульс сталкивающихся частиц (нейтронов и фононов) сохраняются.

Амплитуда тепловых колебаний атомов в кристаллах приводит к ослаблению экспериментально наблюдаемой интенсивности нейтронодифракционных максимумов  $I_{эксп}$  по следующей закономерности [1]:

$$I_{эксп} = KI_0 \exp\left(-\frac{16\pi^2 \overline{u_\Sigma^2}}{3} \times \frac{\sin^2 \theta}{\lambda^2}\right) \quad (1)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от геометрии прибора и образца;  $I_0$  - интенсивность решетки с неподвижными атомами в узлах;  $\lambda$  – длина волны нейтронов;  $\theta$  – угол Брэгга;  $\overline{u_\Sigma^2}$  – полное среднеквадратичное смещение (динамическое + статическое) атомов в кубическом кристалле.

На примере кубических (пространственная группа  $Fm\overline{3}m$ , структура типа NaCl) карбонитридах титана  $TiC_xN_y$  ряда составов показано, что значения амплитуды тепловых колебаний атомов в кубических кристаллах можно определить по нейтронодифракционным данным как методом наименьших квадратов [1], так и методом полнопрофильного анализа дифрактограммы [2]. Показано, что результаты, полученные по нейтронодифракционным данным методом наименьших квадратов и методом полнопрофильного анализ дифрактограммы практически совпадают. Такое совпадение может являться критерием достоверности определения значения  $\overline{u^2}$  атомов в кубическом кристалле, полученного по нейтронодифракционным данным.

Литература

1. Хидиров И. Нейтроннографическое исследование систем Ti-C, Ti-N, Ti-C-N и Ti-N-H., Saarbrucken (Германия): LAP LAMBERT Academic Publishing. 2014. 286 с.
2. Кржижановская М. Г., Фирсова В. А., Бубнова Р. С. Применение метода Ритвельда для решения задач порошковой дифрактометрии. Санкт-Петербургский университет. 2016. 67 с.

**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТЕЙ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ**

*Петровский А.М., Рудак Э.А., Корбут Т.Н.*

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований – Сосны» Национальной академии наук Беларуси  
Республика Беларусь, Минск, [andy@cgm.ru](mailto:andy@cgm.ru)

В работах [1–3] предложено предложен математический аппарат, позволяющей производить вычисление удельных активностей продуктов деления в активных зонах реакторов типа ВВЭР-1000, ВВЭР-440, РБМК-1000. Показано, что точность оценок лежит в пределах 1-2% по сравнению с более точными численными вычислениями. В работе [1] описана методика определения активностей сложно определяемых радионуклидов, по активностям легко определяемых с применением корреляционных соотношений.

В настоящей работе произведены аналитические вычисления активностей продуктов деления в реакторе ВВЭР-1200, представляющие наибольшую практическую значимость. Вычислены и представлены в виде простых аналитических выражений в зависимости от времени значения корреляционных коэффициентов между сложно и легко определяемыми активностями. Произведен сравнительный анализ состава отработавшего топлива ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200.

**Литература**

1. Ячник О.И., Статистический анализ отношений активностей радионуклидов в ядерном топливе в аварийных реакторных выпадениях. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физ.-мат. наук, Минск, 2010, 147 с.
2. Бурак А.О., Наполеау П.А.М., Рудак Э.А., Расчет масс и активностей нуклидов в активной зоне реактора РБМК: феноменологическая теория наработки масс и активностей продуктов активации ядер топлива. Минск, 2001. (Препринт ИФ НАН Б № 732, с. 14).
3. Бурак А.О., Еремина А.Н., Рудак Э.А.Б., Аппроксимация зависимостей концентраций нуклидов от времени простыми аналитическими функциями. //Атомная энергия, т.94, вып.6, 2003. – с. 432-438.

**PROTON-INDUCED FISSION OF  $^{232}\text{Th}$  AT LOW AND INTERMEDIATE ENERGIES**

*Pan A.N. <sup>1\*</sup>, Kozulin E.M. <sup>1</sup>, Itkis I.M. <sup>1</sup>, Itkis M. G. <sup>1</sup> Knyazheva G.N. <sup>1</sup>, Gikal K.B. <sup>1</sup>, Novikov K.V. <sup>1</sup>, Kvochkina T.N. <sup>2</sup>, Burtabayev N.T. <sup>2</sup>, Covalchuk K.V. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, 141980 Dubna, Russia

<sup>2</sup>Laboratory of Fission Physics, Institute of Nuclear Physics, 050032 Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [sofvillain1993@gmail.com](mailto:sofvillain1993@gmail.com)

**Abstract.** To investigate the influence of shell effects on the formation of fission fragments in dependence on the incident energy the mass-energy distributions of proton-induced fission fragments of  $^{232}\text{Th}$  were measured in wide proton energy range of 7-55 MeV. The experiments were carried out using the proton beam of the K-130 cyclotron of the JYFL Accelerator Laboratory of the University of Jyväskylä and U-150m cyclotron of the Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan. The binary fragments were detected in coincidence by the double-arm time-of-flight spectrometer CORSET. The measurements at the lowest proton energies were performed by the double-energy spectrometer.

The contribution of the symmetric component in mass-energy distribution grows up with increasing proton incident energy, although even at the highest proton energy the asymmetric fission peaks are still visible. Therefore, the shell structure effects were observed in fission fragment mass distributions even at high excitation energy. At the lowest proton energy  $E_p = 7$  MeV (6 MeV below the Coulomb barrier) in mass distribution within 35% error some indication on presence of the superasymmetric mode connected with the proton shell  $Z=28$  was observed.

**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЦЕНТРА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ РФЯЦ-ВНИИЭФ ПО КОМПИЛЯЦИИ  
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ БИБЛИОТЕКИ EXFOR  
ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС EXFOR-EDITOR**

*Пикулина Г.Н., Таова С.М.*

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

В Институте Ядерно-Радиационной Физики РФЯЦ-ВНИИЭФ, начиная с 1973 г., ведутся работы по компиляции экспериментальных данных, получаемых в реакциях взаимодействия заряженных частиц с лёгкими ядрами. В настоящее время этой деятельностью занимаются сотрудники Центра Ядерно-Физических Данных, созданного в 1997 г. [1].

В докладе представлены основные направления деятельности ЦЯФД, выделен вклад Центра в развитие международной библиотеки экспериментальных ядерных данных EXFOR. Большой объём компиляции был выполнен по результатам работ, проведённых на экспериментальных установках Института ядерной физики Казахстана. Приведено подробное описание программного комплекса EXFOR-Editor, предназначенного для ввода, редактирования и записи в формате EXFOR данных по ядерным реакциям [2].

Литература

1. Таова С.М., Пикулина Г.Н. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2011. т. 75. №7. с. 1073.
2. Г. Н. Пикулина, С. М. Таова, С. А. Дунаева // Вестн. Нац. Иссл. Яд. Унив. "МИФИ", 2013, т. 2, №1, с.125.

**РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ**

*Пикулина Г.Н., Овчинников М.А., Юхневич В.А., Кошелев А.С., Дроздов Ю.М., Распопов Н.В., Пискорский И.М.*

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

В течение последних лет во ВНИИЭФ разработан ряд программно-управляемых комплексов, предназначенных для мониторинга физических характеристик излучения исследовательских ядерных реакторов. Среди разработок есть универсальные многофункциональные системы [1], которые регистрируют первичные показания детекторов нейтронного и гамма излучений, преобразуя их в физические параметры ионизирующего излучения, и позволяют судить о характере происходящих в реакторе процессов. Также широкое распространение получили специализированные программно-аппаратные комплексы [2], предназначенные для измерения отдельных физических характеристик или привязанные к специфической конфигурации эксперимента. При необходимости комплексы могут выполнять и контролирующие функции с выработкой аварийных, предупредительных и информационных сигналов, которые используются для управления реактором.

Аппаратная часть комплексов представляет собой набор аттестованных счетных и токовых измерительных каналов, число которых обусловлено конкретной областью применения и решаемыми задачами. Диапазон измерения силы тока от детекторов – от  $1,0 \cdot 10^{-11}$  до  $2,5 \cdot 10^{-3}$  А; диапазон измерения скорости счета от детекторов – от 0 до  $1 \cdot 10^5$  имп./с. Функциональное назначение комплексов определяется управляющим программным обеспечением.

В докладе рассматриваются подходы к проектированию программно-управляемых комплексов, предназначенных для мониторинга физических характеристик излучения исследовательских ядерных реакторов, как совокупности программных и технических средств с использованием наработанных во ВНИИЭФ методик, анализируются особенности использования промышленных ионизирующих камер в качестве детекторов в составе измерительных каналов комплексов [3,4], приводятся примеры конкретных реализаций аппаратно-программных систем с описанием их функциональных возможностей.

1. A.S.Koshelev, K.N.Kovshov, M.A.Ovchinnikov, G.N.Pikulina, A.B.Sokolov // Physics of Atomic Nuclei, 2016, Vol. 79, No. 8, pp. 117–124.
2. A.S.Koshelev, A.V.Arapov, M.A.Ovchinnikov // Physics of Atomic Nuclei, 2016, Vol. 79, No. 8, pp. 108–116.
3. А. С. Кошелев, В. Х. Хоружий, М. А. Овчинников, Г. Н. Пикулина // Ядерная Физика и Инжиниринг, 2013, т. 4, № 11–12, с. 1009–1015.
4. А. С. Кошелев, В. Х. Хоружий, М. А. Овчинников, Г. Н. Пикулина // ВАНТ, Физика ядерных реакторов, 2012, Вып. 3, с. 51–59.

**ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ИЗОТОПАХ СТРОНЦИЯ И МОЛИБДЕНА**

<sup>2</sup>Бельшев С.С., <sup>1,2</sup>Ишханов Б.С., <sup>1</sup>Кузнецов А.А., <sup>1</sup>Орлин В.Н., <sup>2</sup>Попова М.В., <sup>1</sup>Стопани К.А., <sup>1</sup>Ханкин В.В.

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2

<sup>2</sup>Физический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991, ГСП-1, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2  
E-mail: mm.popova@physics.msu.ru

По современным представлениям, большинство стабильных ядер тяжелее железа образовались в результате s- и r-процессов в звездном нуклеосинтезе, т. е. последовательного захвата нейтронов с последующим  $\beta$ -распадом. Однако среди всех этих ядер существуют группа нейтронодефицитных стабильных ядер (например  $^{84}\text{Sr}$  и  $^{92}\text{Mo}$ ), называемых обойденными, механизм образования которых до сих пор не выяснен. Одна из гипотез, призванная объяснить их происхождение, – цепочка последовательных фотоядерных реакций на изотопах, образовавшихся по s- или r-процессу. Однако моделирование не позволяет получить наблюдаемой распространенности обойденных ядер. Причина может лежать в неверной оценке сечений, особенно для реакций с вылетом протонов, вносящей основной вклад в разрушение этих ядер. Большинство сечений фотонуклонных реакций на средних (в частности, на изотопах стронция и молибдена) и тяжелых ядрах были получены с помощью прямого измерения вылетающих частиц, потенциально приводящей к большим систематическим ошибкам. Активационная методика, использованная нами для проведения эксперимента, призванного оценить достоверность полученных сечений, лишена этих недостатков.

В результате работы было проведено облучение естественных изотопных смесей стронция и молибдена тормозным излучением с верхней границей  $E_{\gamma}^{\text{max}} = 55.6$  МэВ, измерение и расшифровка  $\gamma$ -спектров остаточной активности, расчеты экспериментальных и теоретических выходов продуктов фотоядерных реакций на основе различных моделей и экспериментальных сечений и их сравнение для реакций на натуральных изотопных смесях стронция и молибдена, причем выходы некоторых были измерены впервые. Полученные результаты сравнивались с результатами расчета на основе модели TALYS [1] с применением стандартных параметров и с включением в расчеты изоспинового расщепления, а также по комбинированной модели фотонуклонных реакций [2] и с имеющимися экспериментальными сечениями. Некоторые из полученных результатов представлены в таблице 1. В работе показана необходимость учета изоспинового расщепления для правильного описания сечений фотоядерных реакций с вылетом протонов и реакций с вылетом двух нейтронов. В основном различие между моделями проявляется для компоненты  $T_{>}$ , имеющей большую энергию возбуждения. Но, как показали наши экспериментальные данные, стандартная программа TALYS может неверно описывать фотопротонное сечение и для компоненты  $T_{<}$ .

Таблица 1. Выходы фотоядерных реакций на обойденных ядрах  $^{84}\text{Sr}$  и  $^{92}\text{Mo}$

Изотоп	Осн. реакция	$Y_{\text{exp}}$	$Y_{\text{TALYS}}$	$Y_{\text{TALYS+ISO}}$	$Y_{\text{КМФР}}$
$^{90}\text{Mo}$	$^{92}\text{Mo}(\gamma, 2n)^{90}\text{Mo}$	$(1.79 \pm 0.11) \cdot 10^{-7}$	$2.54 \cdot 10^{-7}$	$1.73 \cdot 10^{-7}$	$2.43 \cdot 10^{-7}$
$^{91}\text{Mo}$	$^{92}\text{Mo}(\gamma, n)^{91}\text{Mo}$	$(4.17 \pm 0.19) \cdot 10^{-6}$	$4.72 \cdot 10^{-6}$	$4.72 \cdot 10^{-6}$	$5.89 \cdot 10^{-6}$
$^{90}\text{Nb}$	$^{92}\text{Mo}(\gamma, pn)^{90}\text{Nb}$	$(2.62 \pm 0.12) \cdot 10^{-7}$	$3.19 \cdot 10^{-7}$	$2.74 \cdot 10^{-7}$	$2.72 \cdot 10^{-7}$
$^{91m}\text{Nb}$	$^{92}\text{Mo}(\gamma, p)^{91m}\text{Nb}$	$(1.20 \pm 0.02) \cdot 10^{-6}$	$4.64 \cdot 10^{-6}$	$5.56 \cdot 10^{-6}$	-
$^{83}\text{Sr}$	$^{84}\text{Sr}(\gamma, n)^{83}\text{Sr}$	$(8.82 \pm 0.21) \cdot 10^{-8}$	$8.61 \cdot 10^{-8}$	$8.6 \cdot 10^{-8}$	$7.99 \cdot 10^{-8}$
$^{83}\text{Rb}$	$^{84}\text{Sr}(\gamma, p)^{83}\text{Rb}$	$(3.04 \pm 0.24) \cdot 10^{-8}$	$1.48 \cdot 10^{-8}$	$2.18 \cdot 10^{-8}$	$3.04 \cdot 10^{-8}$
$^{82m}\text{Rb}$	$^{84}\text{Sr}(\gamma, pn)^{82m}\text{Rb}$	$(8.31 \pm 0.38) \cdot 10^{-10}$	$5.87 \cdot 10^{-10}$	$5.00 \cdot 10^{-10}$	-

[1] Capote R. et al. Belgua T., Bersillon O. Iaea-tecdoc-1506, 2006.

[2] Орлин В.Н. Ишханов Б.С. Ядерная физика, 78(7-8):601, 2015.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФОТОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ

Поподько А.И., Черняев А.П.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

В современной лучевой терапии при облучении пациента фотонами добиться хорошего пространственного распределения высокой дозы близкого к облучаемому объему можно различными методами. Но порой, даже с их помощью не удастся достичь приемлемого распределения дозы и покрытия объема, что естественно наталкивает на исследования возможности применения более продвинутых приемов, например, такого как применение градиента магнитного поля [1–2]. Для моделирования таких систем большое значение имеют распределения вторичных электронов, позитронов и гамма-квантов по их кинетическим энергиям и энергии, поглощаемые веществом в результате вторичных процессов.

Взаимодействие пучков фотонов с энергиями 5, 10, 20, 50, 70 МэВ в водном фантоме с веществом моделировалось с помощью программного комплекса GEANT4 для  $10^6$  частиц в случаях, когда пороговая энергия вторичных электронов составляет 1 кэВ и 10 кэВ, а размеры фантомов –  $40 \times 40 \times 40$  см<sup>3</sup> и  $20 \times 20 \times 20$  см<sup>3</sup>. Из множества процессов взаимодействия гамма-излучения с веществом в данном энергетическом интервале преобладают комптон-эффект и образование электрон – позитронных пар.

В результате исследования было показано, что количество вторичных электронов с пороговой энергией  $E_c > 10$  кэВ меньше на 10-13 %, чем с  $E_c > 1$  кэВ, при этом кинетическая энергия и переданная энергия веществу отличаются на 2 – 3 %, вследствие уменьшения числа фотонов взаимодействующих с третьим электроном. Следовательно, возможно увеличение пороговой энергии для повышения скорости расчета без значительного ухудшения качественной картины. Более значительное влияние оказывает изменение объема фантома, с  $40 \times 40 \times 40$  см<sup>3</sup> до  $20 \times 20 \times 20$  см<sup>3</sup>, при котором количество вторичных комптоновских электронов уменьшается в ~ 3 раза, позитронов и электронов в результате образования пар в ~ 1.7 раза, а суммарная энергия, переданная вторичным частицам в ~ 1.6 раза в результате увеличения числа первичных фотонов в ~ 1.2 раза, слишком рано покидающих объем и уносящих в ~ 1.3 раза больше энергии. Кроме того, сравнивались значения переданной вторичным частицам энергии и энергии, поглощенной средой в результате взаимодействия с этими частицами. Для комптон-эффекта разница энергий невелика и составила от 1 % для энергии 5 МэВ до 4 % для 70 МэВ. В то время как для процесса рождения электрон – позитронных пар разница намного больше - от 1 % для 5 МэВ до 15 % для 70 МэВ, что происходит с увеличением числа аннигиляционных и тормозных фотонов, покидающих объем, в среднем от 2.52 частиц для 5 МэВ до 5.44 частиц для 70 МэВ.

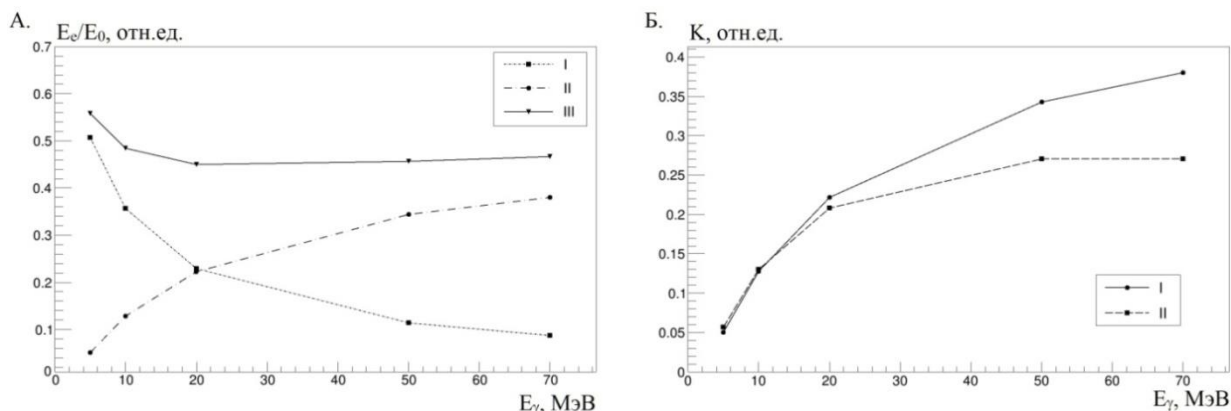


Рис.1. Для пучков фотонов различных энергий доля энергии вторичных электронов (относительно энергии частиц первичного пучка) в фантоме  $40 \times 40 \times 40$  см<sup>3</sup> в результате действия механизмов: I – комптон-эффект, II – процесс образования пар, III – суммарный вклад механизмов I – II – А. Отношение к энергии пучка первичных фотонов энергии переданной вторичным электронам и позитронам (I) и поглощенной ими (II), образующихся в результате действия механизма рождения пар – Б.

1. A.V. Belousov, A.P. Chernyaev, S.M. Varzar // Bull. Russ. Acad. Sci., Phys. 2007. V.71. №6. P.841.
2. B.M. Oborn, P.E. Metcalfe, M. J. Butson // Med. Phys. 2009. V.36. №8. P.3549.

**АНАЛИЗ ДАННЫХ, ИЗМЕРЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ БОРА – 10 И СЧЕТЧИКА С ГЕЛИЕМ-3 НА ФОТОНЕЙТРОННОМ ИСТОЧНИКЕ НЕЙТРОНОВ ИЯИ РАН**

Поташев С.И. <sup>1</sup>, Зуев С.В. <sup>1</sup>, Мешков И.В. <sup>2</sup>, Бурмистров Ю.М. <sup>1</sup>, Конобеевский Е.С. <sup>1</sup>, Караевский С.Х. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук (ФИАН), Москва, Россия

Анализируются данные, полученные на фотонейтронном источнике нейтронов ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН с различной энергией электронов с одновременным использованием позиционно-чувствительного детектора нейтронов с активным слоем из <sup>10</sup>B и <sup>3</sup>He-счетчика СММ-18 с целью измерения вклада тепловых и оценки вклада нейтронов с более высокой энергией. Эффективность регистрации <sup>10</sup>B-детектора относительно эффективности счетчика составляет от 1 до 4% для различных экспериментальных условий. Использование встроенной многофункциональной высокоскоростной платы АЦП/ЦАП L-CARD L-783 с сигнальным процессором с частотой дискретизации до 0.3 мкс позволяет регистрировать осциллограмму импульсов с выхода усилителя <sup>3</sup>He-счетчика. Регистрация наведенного электромагнитного сигнала от сброса ускорителя и импульсов от нейтронов позволяет измерять не только количество тепловых нейтронов, но и определять временной спектр тепловых нейтронов.

Использование маски со щелями из кадмия и очень малой чувствительности позиционно-чувствительного детектора к электромагнитным помехам и фону гамма-квантов менее  $10^{-7}$  позволяет не только исследовать координатное разрешение <sup>10</sup>B-детектора, но и оценить вклад нейтронов различных энергий. В этом случае <sup>3</sup>He-счетчик служит монитором тепловых нейтронов. Газовый позиционно-чувствительный детектор с активным слоем из <sup>10</sup>B продемонстрировал стабильную работу в течение года эксплуатации в наполняемом режиме.

**EXCITATION OF ISOMERIC STATES IN REACTIONS  $(\gamma, n)$  AND  $(n, 2n)$  ON <sup>198,200</sup>Hg NUCLEI**

*Palvanov S.R., Rustamova X.*

Department of Physics, National University of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: [satimbay@yandex.ru](mailto:satimbay@yandex.ru), [Palvanov1960@gmail.com](mailto:Palvanov1960@gmail.com)

The measurement and interpretation of isomeric ratios have provided information about the energy levels structure of nuclear systems and the angular momentum and reaction mechanism effects involved in the production of isomeric states in nuclei.

In the present work results of investigation of the isomeric yield ratios and cross-section ratios of the  $(\gamma, n)$  and  $(n, 2n)$  reactions on nuclei <sup>198,200</sup>Hg are presented. The isomeric yield ratios were measured by the induced radioactivity method.

Samples have been irradiated in the bremsstrahlung beam of the betatron in the energy range of 10-35 MeV with energy step of 1 MeV. For 14 MeV neutron irradiation we used the NG-150 neutron generator. The gamma spectra reactions products were measured with a spectroscopic system consisting of HPGe detector CANBERRA with energy resolution of 1,8 keV at 1332 keV gamma ray of <sup>60</sup>Co, amplifier 2022 and multichannel analyzer 8192 connected to computer for data processing. The filling of the isomeric and ground levels was identified according to their  $\gamma$  lines. In the range 26-35 MeV the isomeric yield ratios  $Y_m/Y_g$  of the reaction  $(\gamma, n)$  on <sup>198</sup>Hg are obtained at first. Using the isomer yield ratio and the total cross section of the  $(\gamma, n)$  reaction on <sup>198,200</sup>Hg [1] we estimated the cross sections of  $(\gamma, n)^m$  and  $(\gamma, n)^g$  reactions. The cross section isomeric ratios at  $E_\gamma = E_m$  are estimated.

The experimental results have been discussed, compared with those of other authors as well as considered by the statistical model [2]. Theoretical values of the isomeric yield ratios have been calculated by using code TALYS-1.8.

1. A.V. Varlamov et al. Atlas of GDR. INDS(NDS)-394.// Vienna: IAEA, 1999.
2. V.M. Mazur // Physics of elementary particles and atomic nuclei.2000. V.31. P.1043.



**МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕЙТРОНОВ В РЕАКЦИЯХ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ**

*Гуров Ю.Б., Жеан-Короткова Л.Ю., Ланушкин С.В., Леонова Т.И., Притула Р.В., Чернышев Б.А., Щуренкова Т.Д.*

Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ” Москва, Россия

Представлены результаты исследования спектров и выходов дейтронов, образующихся в реакции поглощения остановившихся отрицательных пионов ядрами. Работа основана на результатах эксперимента, выполненного на синхротронном циклотроне ПИЯФ РАН с использованием полупроводникового спектрометра [1]. Получен уникальный набор данных по образованию заряженных частиц на семнадцати мишенях в диапазоне массовых чисел  $6 < A < 209$ . Для анализа данных была разработана модель [2, 3], позволившая удовлетворительно описать спектры заряженных частиц.

Модель применяется для описания первичной и предравновесной составляющих выходов дейтронов. Достигнуто удовлетворительное (на уровне 20%) согласие с экспериментальными результатами. Для предравновесной составляющей в рамках модели определяются вклады процессов выбивания и подхвата. Оценен вклад поглощения пионов на альфа-кластерах в образование первичных дейтронов.

Список литературы

1. Gornov M.G. et. al. // Nucl. Inst. and Meth in Phys.Res. A. 2000. Т. 446. С. 461.
2. Короткова Л.Ю. и др. // Известия РАН: Серия физическая 2012. Т. 76. С. 446.
3. Гуров Ю.Б. и др. // Известия РАН: Серия физическая 2013. Т. 77. С. 415.

**TO THE PROBLEM OF VERIFICATION OF COLLINEAR CLUSTER TRI-PARTITION (CCT)**

*<sup>1,2</sup>Pyatkov Yu.V., <sup>2</sup>Kamanin D.V., <sup>2</sup>Alexandrov A.A., <sup>2</sup>Alexandrova I.A., <sup>2</sup>Goryainova Z.I., <sup>3</sup>Malaza V., <sup>3</sup>Mkaza N., <sup>2</sup>Kuznetsova E.A., <sup>2</sup>Stekalovsky A.O., <sup>2</sup>Stekalovsky O.V., and <sup>2</sup>Zhuchko V.E.*

<sup>1</sup>National Nuclear Research University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

<sup>2</sup>Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia

<sup>3</sup>University of Stellenbosch, Faculty of Military Science, Military Academy, Saldanha 7395, South Africa

In a series of the experiments at different time-of-flight spectrometers of heavy ions, we have observed manifestations of the new at least ternary decay channel of low excited heavy nuclei. Due to specific features of the effect, it was called the collinear cluster tri-partition (CCT) [1,2]. Additional experimental information regarding the energies of the CCT partners, and a proposed model of the process, respond to criticisms concerning the kinematics constrains and stability of collinearity in the CCT. The octupole deformed system formed after first scission is oriented along the fission axis and its rupture occurs predominantly after full acceleration. Non-collinear true ternary fission and far asymmetric binary fission observed earlier seem to be special cases of the decay of the precession configuration leading to the CCT.

References

- [1] Yu. V. Pyatkov et al., Eur. Phys. J. A 45, 29 (2010).
- [2] Yu. V. Pyatkov et al., Eur. Phys. J. A 48, 94 (2012).
- [3] D. V. Kamanin, Yu. V. Pyatkov "Clusters in Nuclei – Vol. 3" ed. by C. Beck, Lecture Notes in Physics 875, pp. 183-246 (2013).

AB INITIO STUDY OF RESONANT AND WEAKLY-BOUND STATES OF LIGHT NUCLEI WITH SINGLE-NUCLEON HALO

Rodkin D.M. <sup>1</sup>, Tchuvil'sky Yu.M. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Dukhov Research Institute for Automatics, 127055, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Skobel'syn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, Moscow 119991, Russia

A basis of translationally-invariant wave functions suited to describe (A+1)-nucleon states with weakly-bound or resonance nucleon using realistic NN- and NNN-potentials is built up. We develop a formalism and construct a code suitable to transform these functions to a superposition of conventional shell-model wave functions. In calculations of the properties of halo states the approach allows one to use a basis which is significantly smaller in size compare to the typical shell-model one. The wave functions of the proposed basis are easily involved to multi-channel calculations taking into account excited-core channels. This basis can be completed by conventional shell-model wave functions. The approach may be adapted without significant changes for describing cluster states of light nuclei. Thus our approach is a step on the road of solution the general problem formulated in [1] – to build a unified theory of the nucleus and nuclear reactions.

1. K. Wildermuth and Y. C. Tang, *A Unified Theory of the Nucleus* (Veiweg, Braunschweig, 1977).

THE CURRENTS MECHANISMS OF THE WEAK LEPTONIC PROCESSES

Romanov Yu.I.

Moscow State University of Design and Technology, Moscow, Russia

E-mail: [romanov.yu.i@mail.ru](mailto:romanov.yu.i@mail.ru)

In the present work, a development of [1], the weak leptonic processes are studied. Among the presented results are the following.

1. The description of all known leptonic families using the “charge” ( $L_{ch}$ ) and “neutral” ( $L_n$ ) quantum numbers are introduced.

Leptons	$e, \mu, \tau$	$\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau$
$L_{ch}$	1	0
$L_n$	0	1

Within this scheme the reactions caused by nondiagonal neutral currents ( $\bar{l}e$ ) and ( $\bar{\nu}_l \nu_e$ ), where  $l=e, \mu, \tau$ , changing the flavor of leptons are discussed.

2. The structure of the diagonal neutral  $\bar{\nu}_l \gamma_\alpha (1+h_e \gamma_5) e_l$ ,  $h_e = g_A^e/g_V^e$  and charge  $\bar{e} \gamma_\alpha (1+h \gamma_5) \nu$ ,  $h=g_A/g_V$  currents, where the constants  $g_A$  and  $g_V$  can be either real and complex or pure imaginary, is investigated using the total NC- and CC cross sections of elastic (anti)neutrino-electron scattering.

Connection of the ratio  $R = \sigma(\nu_e e) / \sigma(\bar{\nu}_e e)$  with the constants  $h_e$  and  $h$  is determined by following expressions:

$$R = \frac{1 + \lambda_\varepsilon}{1 - \lambda_\varepsilon}, \lambda_\varepsilon = \frac{Re h_e}{1 + |h_e|^2},$$

$$R = 2(1 + 2\lambda^2), \lambda = \frac{Re h}{1 + |h|^2}.$$

The real positive values of  $h_e$  and  $h$  are described as

$$h_e = \frac{1}{2(R-1)} [(R+1) \pm \sqrt{10R - 3R^2 - 3}],$$

$$h = \frac{1 \pm \sqrt{3-R}}{\sqrt{R-2}}.$$

In (V-A) approximation  $R_1=3$ ,  $h_e=h=1$ . Within the standard electroweak model  $R_1=2.39$ ,  $h_e=1.91$  for  $\sin^2\theta_w=0.23$ . The model in[2], according to which for  $\nu_e e(\bar{\nu}_e e)$ -scattering  $g_V=1$ ,  $g_A=(1 \pm i\varepsilon)$ ,  $\varepsilon=\sqrt{0.4}$ , predicts the values  $R_1=2.41$  и  $h_e=1.95$ .

1. Romanov Yu.I.//Bull Russ. Acad. Sci. Phys. 2013. Vol. 77. No. 4. P. 476.
2. Ramanathan R // Nuovo Cimento. 1977. Vol. A37. No. 3. P. 233.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ОТНОШЕНИЙ  $^{95m,g}\text{Nb}$  И  $^{133m,g}\text{Xe}$  ПРИ ФОТОДЕЛЕНИИ  $^{238}\text{U}$**

<sup>1</sup> Желтоножский В.А., <sup>1</sup> Вишневецкий И.Н., <sup>1</sup> Давидовская О.И., <sup>1</sup> Саврасов А.Н., <sup>2</sup> Солодовник Е.Н., <sup>2</sup> Плюйко В.А., <sup>2</sup> Горбаченко А.Н.

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований НАН Украины, Киев

<sup>2</sup> Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев

Измерены изомерные отношения выходов  $Y_{(9/2)}/Y_{(1/2)}$  для  $^{95m,g}\text{Nb}$  и  $Y_{(11/2)}/Y_{(3/2)}$  для  $^{133m,g}\text{Xe}$  при фотоделении  $^{238}\text{U}$  тормозными гамма-квантами с граничной величиной энергии 12.5 МэВ. Облучение проводилось на ускорителе М-30 Ужгородского института электронной физики. Набор  $\gamma$ -спектров осуществлялся с помощью спектрометров собранных на базе сверхчистых германиевых детекторов. При энергии 12.5 МэВ деление происходит только по каналу ( $\gamma, f$ ).

Измерения выполнялись активационным методом посредством определения соотношения активностей ядер  $^{95}\text{Zr}$  ( $T_{1/2}=64$  дня),  $^{95m}\text{Nb}$  ( $T_{1/2}=86.6$  ч.) и  $^{95g}\text{Nb}$  ( $T_{1/2}=35$  д.) и  $^{133}\text{I}$  ( $T_{1/2}=20.8$  ч.),  $^{133m}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}=2.19$  д.) и  $^{133g}\text{Xe}$  ( $T_{1/2}=5.24$  дня). Спектры фотоделения записывались с различными временными интервалами. Для анализа использовались экспозиции близкие к соответствующим периодам полураспада.

В результате проведенных измерений, впервые получены величины изомерных отношений для  $^{95m,g}\text{Nb}$ :  $Y_{(9/2)}/Y_{(1/2)}=0.66\pm 0.04$  и  $Y_{(11/2)}/Y_{(3/2)}=0.34\pm 0.06$  для  $^{133m,g}\text{Xe}$ . Проводится обсуждение полученных данных.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЖДЕНИЯ П-МЕЗОНОВ В U+U  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 192 ГЭВ**

*Бердников Я.А., Бердников А.Я., Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В.*

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Изучение свойств сильновзаимодействующей кварк-глюонной плазмы (сКГП), состояния ядерной материи в условиях высокой температуры и барионной плотности и обладающей партонными степенями свободы, является одной из задач современной физики. Считается, что в таком же состоянии находилась Вселенная через микросекунды после Большого взрыва. [1].

В лабораторных условиях сКГП впервые была получена в столкновениях тяжелых ядер на Релятивистском коллайдере тяжелых ионов (RHIC, BNL) [2]. Одним из признаков сКГП является эффект гашения адронных струй, наблюдаемый в виде подавления мезонных выходов в области больших поперечных импульсов в центральных столкновениях ультрарелятивистских тяжелых ядер по сравнению с мезонным выходом в элементарных  $p+p$  столкновениях. Подобный эффект является эффектом конечного состояния взаимодействия тяжелых ядер, и связан с потерями энергии партонных в горячей и плотной среде.

Измерение инвариантных выходов нейтральных пионов является одним из лучших инструментов для изучения процессов потерь энергии партонных, поскольку нейтральные пионы могут быть измерены в широком интервале поперечного импульса с относительно небольшими статистическими и систематическими ошибками.

Замечательной особенностью RHIC является возможность изучения свойств сКГП в разных сталкивающихся системах при разных энергиях столкновения. Это позволяет изучать свойства сКГП, в том числе и потери энергии партонных в ней, в зависимости от энергетической плотности и средней длины свободного пробега, реализуемых в центральных столкновениях тяжелых ядер. В 2012 году на эксперименте PHENIX были получены первые данные в цикле столкновений ядер урана при энергии 192 ГэВ, в которых реализуется самая большая плотность энергии, доступная для анализа. Поэтому изучение особенностей рождения мезонов в системе U+U столкновений позволит получить дополнительное ограничение на параметры теоретических моделей и измерить свойства сКГП с более высокой точностью.

Эксперимент PHENIX [3] измерил инвариантные дифференциальные спектры рождения нейтральных пи-мезонов по поперечному импульсу, а также факторы ядерной модификации нейтральных пи мезонов в пяти классах центральности U+U столкновений при энергии 192 ГэВ. В центральных U+U столкновениях подавление пионных выходов имеет такой же характер, как и подавление нейтральных пионов в Au+Au столкновениях [4] при близких значениях чисел участников.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.1498.2017/4.6.

1. E. V. Shuryak, Phys. Rept. 61:71, 1980.
2. M. Harrison, T. Ludlam, S. Ozaki, Nucl.Instrum.Meth. A499:235, 2003.
3. K. Adcox et al. (PHENIX Collaboration), Nucl.Instrum.Meth. A499:469, 2003.
4. A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), Phys.Rev.Lett. 101:232301, 2008.

INVESTIGATION OF DOUBLE BETA DECAY OF  $^{58}\text{Ni}$

Brudanin V.B.<sup>1</sup>, Klimenko A.A.<sup>1</sup>, Piquemal F.<sup>2</sup>, Rukhadze E.<sup>3</sup>, Rukhadze N.I.<sup>1</sup>, Shitov Yu.A.<sup>1</sup>, Štekl I.<sup>3</sup>, Warot G.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Join Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia;

<sup>2</sup> Laboratoire Souterrain de Modane, Modane, France;

<sup>3</sup> Institute of Experimental and Applied Physics, CTU in Prague, Prague, Czech Republic

E-mail: rukhadze@jinr.ru

Investigation of double beta decay processes ( $\beta^+\text{EC}$ ,  $\text{EC}/\text{EC}$ ) of  $^{58}\text{Ni}$  was performed at the Modane underground laboratory (LSM, France, 4800 m w.e.) using ultra low-background HPGe detector OBELIX with sensitive volume of 600 cm<sup>3</sup> [1]. The objects of analysis were  $\gamma$ -rays with energies of 511, 811, 864, 1675 keV. The  $\beta^+\text{EC}$  decay of  $^{58}\text{Ni}$  will be accompanied by emission of positron, which creates two correlated annihilation  $\gamma$ -quanta with energies of 511 keV. The  $\beta^+\text{EC}$  decay of  $^{58}\text{Ni}$  to the first  $2^+_{1,811}$  keV excited state of  $^{58}\text{Fe}$  will be accompanied by emitting of additional  $\gamma$ -quantum with energy of 811 keV.  $\text{EC}/\text{EC}$  decay of  $^{58}\text{Ni}$  to the first  $2^+_{1,811}$  keV and second  $2^+_{2,1675}$  keV excited states of  $^{58}\text{Fe}$  will be accompanied by  $\gamma$ -rays with energies of 811 keV and 1675 keV, or 811+864 keV respectively. All these  $\gamma$ -quanta can be detected by the OBELIX detector with high efficiency.

A sample of natural nickel, containing ~68% of  $^{58}\text{Ni}$ , was prepared in a shape of a Marinelli beaker in 2014. It looks like a cylinder with an external diameter of 192 mm and a height of 130 mm having an internal hole with a diameter of 126 mm and a depth of 106 mm. The total mass of the sample is ~21.7 kg. Test measurements of the sample in 2014 and 2015 showed increased level of short-living cosmogenic isotopes. To decrease the level of this activity the sample was stored underground till 2017. The main measurement was started in April 2017 and is in progress. Basing on preliminary calculation of the data accumulated during 43.5 days of current measurement new experimental limits on  $\beta^+\text{EC}$  decay of  $^{58}\text{Ni}$  to the ground  $0^+$  and  $2^+_{1,811}$  keV excited state of  $^{58}\text{Fe}$ , and  $\text{EC}/\text{EC}$  decay of  $^{58}\text{Ni}$  to  $2^+_{1,811}$  keV and  $2^+_{2,1675}$  keV excited states of  $^{58}\text{Fe}$  were obtained. They are  $T_{1/2}(\beta^+\text{EC}, 0^+ \rightarrow 0^+) > 9.7 \times 10^{21}$  y;  $T_{1/2}(\beta^+\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{1,811}) > 1.2 \times 10^{22}$  y,  $T_{1/2}(\text{EC}/\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{1,811}) > 1.6 \times 10^{22}$  y,  $T_{1/2}(\text{EC}/\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{2,1675}) > 8.3 \times 10^{21}$  y. All limits are at 90% CL. Previous experimental limits for these decay modes were  $T_{1/2}(\beta^+\text{EC}, 0^+ \rightarrow 0^+) > 7.0 \times 10^{20}$  y (68% CL) [2],  $T_{1/2}(\beta^+\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{1,811}) > 4.0 \times 10^{20}$  y (68% CL) [2],  $T_{1/2}(\text{EC}/\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{1,811}) > 4.0 \times 10^{19}$  y (90% CL) [3] and  $T_{1/2}(\text{EC}/\text{EC}, 0^+ \rightarrow 2^+_{2,1675}) > 4.0 \times 10^{19}$  y (90% CL) [3]. For resonant neutrino-less radiative  $\text{EC}/\text{EC}$  decay with energy of 1918.3 keV a new experimental limit of  $T_{1/2}(0\nu\text{EC}/\text{EC}\text{-res}, 1918 \text{ keV}) > 5.1 \times 10^{22}$  y (90% CL) was also obtained.

1. N.I.Rukhadze *et al.* // Izvestia RAN, ser. phys. 2013. V.77. P.424.
2. S.I.Vasil'ev *et al.* // JETP Lett. 1993. V.57. P. 631.
3. E.Belotti *et al.* // Lett. Nuovo Cim. 1982. V.33. P. 273

АВТОИОНИЗАЦИЯ АТОМОВ ТА ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ЗАХВАТЕ  $^{181}\text{W}$

Желтоножский В.А., Саєрасов А.Н., Стрильчук Н.В., Хоменков В.П.

Институт ядерных исследований НАН Украины

Проведено исследование автоионизации атомов  $^{181}\text{Ta}$  при электронном захвате  $^{181}\text{W}$  ( $T_{1/2} = 121$  сут.). Ядра  $^{181}\text{W}$  нарабатывались в (n,  $\gamma$ )-реакции на реакторе ВВР ИЯИ НАНУ при облучении мишени из естественного вольфрама. При электронном захвате  $^{181}\text{W}$  с вероятностью 99,9% распад идет в основное и первое возбужденное состояние с энергией 6 кэВ,  $Q_{\text{EC}} = 188$  кэВ. С учетом такой схемы распада была использована методика суммирования совпадающих К $\alpha$ -квантов. Вероятность автоионизации К-оболочки при электронном захвате, как правило, меньше  $10^{-4}$  от вероятности распада, поэтому необходимо проводить исследования с большими потоками К $\alpha$ -излучения. Большие потоки К $\alpha$ -квантов приводят к образованию случайных совпадений, на порядок превышающих ожидаемый эффект от автоионизации. Для учета вклада случайных совпадений измерения проводились со смешанными источниками  $^{181}\text{W} + ^{241}\text{Am}$   $^{181}\text{W} + ^{109}\text{Cd}$ . Измерения проводились на Ge-спектрометре с энергетическим разрешением 500 эВ на К $\alpha$  Та, это позволило разделить К $\alpha_1$  и К $\alpha_2$  пики, что существенно повысило точность обработки пиков суммирования.

В результате проведенных исследований измерена вероятность автоионизации Та при электронном захвате  $^{181}\text{W}$  и она оказалась равной  $P_{\text{KK}} = (2.2 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$ .

Проводится обсуждение полученных данных.

**FUSION REACTIONS WITH LIGHT NEUTRON-REACH NUCLEI: PATHWAY TO SYNTHESIZE OF NEW HEAVY NUCLEI**

<sup>1</sup> *Rachkov V.A.,<sup>1</sup> Karpov A.V., Saiko V.V.*

<sup>1</sup>Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, 141980 Dubna, Russia,  
E-mail: rachkov@jinr.ru

During recent years, significant progress has been achieved in the experimental and theoretical investigations of the region of heavy and superheavy nuclei. Note that for elements with  $Z > 100$ , only neutron-deficient isotopes (located to the left of the stability line) have been synthesized so far, while the unexplored area of heavy neutron-rich nuclides (located on the stability line and to the right of it) is extremely important for nuclear astrophysics investigations and, in particular, for the understanding of the r-process of astrophysical nucleogenesis (a sequence of neutron capture and  $\beta$ -decay processes). Fusion reactions of stable nuclei do not allow one to explore this area. The developments of the modern powerful accelerators and creation of radioactive ion-beam facilities provide the possibility to receive the high intensity radioactive ion beams (RIB). It may help to synthesize new isotopes of heavy and superheavy elements up to  $Z = 108$  [1].

In this work the formation of heavy and superheavy nuclei in the fusion of radioactive projectiles with actinide targets are discussed. The corresponding predictions of the fusion cross section for several combinations of colliding nuclei have been made with the use of Web knowledge base on low energy nuclear physics, NRV [2]. These results may be useful for planning and data analysis of the corresponding experiments.

[1] V. Zagrebaev and Walter Greiner, Phys. Rev. C, **78**, 034610 (2008).

[2] <http://nrv.jinr.ru>

**INVESTIGATION OF THERMAL NEUTRON FLUX FROM VVR-K REACTOR (INP) USING THE DEVELOPED PROGRAM-TECHNICAL COMPLEX**

*Oskomov V.V., Sedov A.N., Burtabayev N.T., Saduyev N.O., Kalikulov O.A., Kenzhina I.E., Utey Sh.B., Shinbulatov S.K., Zhumabaev A.I., Mukhamejanov Ye.S.*

<sup>1</sup>Institute of Experimental and Theoretical Physics of al-Farabi Kazakh National University, Almaty

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty

In this paper, a comparison is made between the intensity of thermal neutron fluxes when they pass various media recorded by SNM-15 proportional counter.

The main purpose of the experiment was to study the interaction of neutrons with matter and to determine the features of their absorption and reflection in various media using the developed program-technical complex.

The setup for recording neutron events consists of gas-filled proportional counter SNM-15 and materials for creating various media such as polyethylene, boron, graphite, beryllium, lead. The experiment was conducted at the Institute of Nuclear Physics with a constant neutron background of VVR-K reactor. Counters of this type are used to register neutrons generated in a <sup>6</sup>NM64 neutron supermonitor. Thermal neutrons are detected by nuclear reaction  $^{10}\text{B}(n, \alpha)^7\text{Li}$ . The BF<sub>3</sub> gas enriched with <sup>10</sup>B isotope is inserted into counters. The length of the counter is 2 m, the diameter is 15 cm.

Based on the results of the experiment, quantitative estimates of neutron flux intensity are obtained. Preliminary calculations have been carried out to study the interaction of neutrons with matter. The results of this study are the basis for optimizing the process of detecting neutrons generated in <sup>6</sup>NM64 neutron supermonitor.

This work was supported by grant #3838/GF4 of the Ministry of Education and Science of Kazakhstan.

## ФОРМИРОВАНИЕ ИНКЛЮЗИВНЫХ СПЕКТРОВ (p,xp), (p,xα) НА ЯДРЕ <sup>103</sup>Rh ПРИ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 30 МЭВ

Дуйсебаев Б.А. <sup>1</sup>, Жолдыбаев Т.К. <sup>1</sup>, Садыков Б.М. <sup>1</sup>, Нассурлла М. <sup>1</sup>, Исмаилов К.М. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан;

<sup>2</sup> Назарбаев Университет, Астана, Казахстан

В настоящее время остро стоит проблема производства ядерной энергии на установках с повышенными свойствами безопасности работающих в подкритическом режиме, т.е. неспособного самостоятельно поддерживать цепную реакцию. К таким установкам относятся так называемые электроядерные системы (Accelerator - Driven Systems – ADS) – подкритические системы с внешними источниками нейтронов. Помимо получения энергии, эта система позволяет проводить трансмутацию долгоживущих радиоактивных отходов ядерной энергетики. При создании таких устройств для корректного моделирования нейтронного потока необходимы данные о спектральном составе и угловых распределений вторичных протонов и легких заряженных частиц, произведенных первичным протонным пучком.

Экспериментальные данные по дважды-дифференциальным сечениям реакций (p,xp) и (p,xα) на ядре <sup>103</sup>Rh при энергии падающих протонов 30 МэВ получены на выведенном пучке изохронного циклотрона У-150М Института ядерной физики. Измерения выполнены в угловом диапазоне от 30° до 135° с шагом 15°. В качестве мишени использовалась самоподдерживающаяся фольга с содержанием <sup>103</sup>Rh порядка 98%. Толщина определялась по изменению потерь энергии α-частицами от радиоактивного источника <sup>226</sup>Ra при прохождении через мишень и составила 3 мкм. Для измерения сечений ядерных реакций (p,xp) использовался телескоп, состоящий из пролетного кремниевого детектора с толщиной 100 мкм и детектора полного поглощения на основе сцинтиллятора CsI(Tl) толщиной 2,5 см. Для измерения реакций (p,xα), телескоп состоял из пролетного кремниевого детектора толщиной 25 мкм, и кремниевого детектора полного поглощения толщиной 1 мм. Энергетическая калибровка спектрометра проводилась по наблюдаемым уровням конечных ядер в исследуемых реакциях, а также из данных по рассеянию и реакциям на углеродной и полиэтиленовой мишенях.

Из дважды-дифференциальных сечений  $d^2\sigma/dE d\Omega$  получены интегральные спектры  $d\sigma/dE$  с последующим определением полных парциальных сечений исследуемых реакций. Экспериментальные результаты проанализированы в рамках модифицированной версии экситонной модели Гриффина [1] предравновесного распада ядер в рамках расчетного кода PRECO-2006 [2]. Получено удовлетворительное согласие экспериментальных и расчетных значений в области энергий, соответствующих предравновесному механизму.

Установлено, что интегральные сечения в реакциях (p,xp) и (p,xα) на ядре <sup>103</sup>Rh в низкоэнергетической области формируются механизмом распада из составного ядра. Высокоэнергетическая область в случае реакции (p,xp) формируется преимущественно предравновесным способом. В случае реакции (p,xα) основной вклад в сечение дают одноступенчатые прямые процессы.

1. Griffin J. J. // Phys. Rev. Lett. 1966. №9. P.478.

2. Kalbach C. PRECO-2006: Exiton model preequilibrium nuclear reaction code with direct reaction. Durham NC 27708-0308, 2007.

### ОПИСАНИЕ ПРЯМЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ДИСКРЕТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ

Сайлаубек Д.А. <sup>1,2</sup>, Рубцова О.А. <sup>1</sup>, Кукулин В.И. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> НИИЯФ МГУ им. Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

<sup>2</sup> Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Предлагается новый метод решения задач рассеяния на основе дискретизации континуума, который может быть использован для описания прямых ядерных реакций. Метод позволяет находить  $T$ -матрицу в задаче рассеяния, используя спектральное разложение полной резольвенты системы по базису стационарных волновых пакетов, являющихся нормированными аналогами функций непрерывного спектра полного гамильтониана [1]. В практических расчетах такие пакетные состояния можно аппроксимировать псевдосостояниями полного гамильтониана, полученными на основе диагонализации матрицы гамильтониана в некотором  $L_2$  базисе.

В качестве такого базиса используется так называемый комплексный гауссов базис [2], функции которого определяются через гауссоиды с комплексными параметрами:

$$\varphi_n^l(r) = \frac{1}{2} r^l \left[ e^{-(1+ib)\alpha_n r^2} + e^{-(1-ib)\alpha_n r^2} \right], \quad n = 1, 2, \dots, N. \quad (1)$$

В отличие от обычных «вещественных» гауссоид, функции (1) осциллируют в координатном представлении и поэтому являются хорошими аппроксимациями для функций рассеяния и стационарных волновых пакетов (см. Рис.1). Таким образом, в развиваемом подходе, амплитуды упругого рассеяния для широкого диапазона энергий могут быть найдены из однократной диагонализации матрицы полного гамильтониана в комплексном гауссовом базисе. При этом не возникает никаких дополнительных трудностей при учете дальнедействующего кулоновского взаимодействия или сложных нелокальных потенциалов. Метод может быть обобщен и использован для вычисления амплитуд неупругого рассеяния и развала при рассеянии слабосвязанных и нестабильных ядер.

В качестве иллюстрации вычисляются парциальные фазовые сдвиги упругого рассеяния в системах  $N-\alpha$  и  $d-\alpha$ , которые хорошо согласуются с результатами других подходов и с экспериментальными данными.

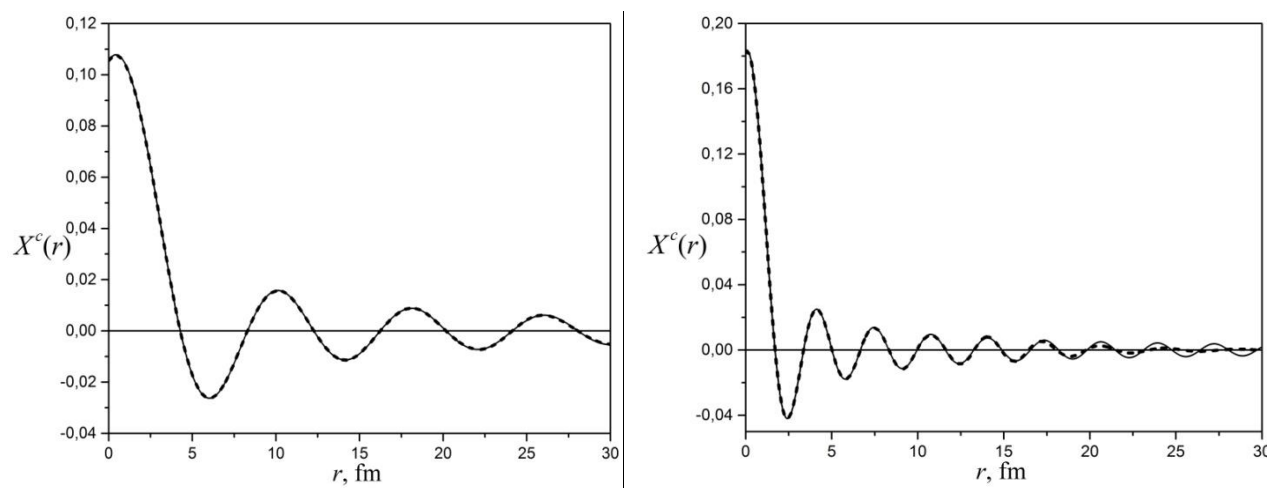


Рис.1 Точные кулоновские волновые пакеты, отвечающие асимптотической части гамильтониана системы  $d-\alpha$  (сплошная кривая) и их аппроксимация в комплексном гауссовом базисе (штриховая кривая) при энергии  $E = 9.99$  (а) и  $56.90$  (б) МэВ.

Список литературы:

1. H. Müther, O.A. Rubtsova, V.I. Kukulin, V.N. Pomerantsev, Phys. Rev. C 94, 024328 (2016).
2. T. Matsumoto, T. Kamizato, K. Ogata, Y. Izeri, E. Hiyama, M. Kamimura, M. Yahiro, Phys. Rev. C 68 064607 (2003).

### МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СОСТОЯНИЯ 6.13 ( $3^-$ ) МэВ ЯДРА $^{16}\text{O}$ В НЕУПРУГОМ РАССЕЯНИИ $\alpha$ -ЧАСТИЦ И $^3\text{He}$ ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОКОЛО 50 МэВ

Сакута С.Б.<sup>1</sup>, Буртебаев Н.<sup>2</sup>, Дуйсебаев А.<sup>2</sup>, Дуйсебаев Б.А.<sup>2</sup>, Буртебаева Д.Т.<sup>2</sup>, Жолдыбаев Т.К.<sup>2</sup>, Насуррла М.<sup>2</sup>, Садуев Н.<sup>2</sup>, Новацкий Б.Г.<sup>1</sup>, Степанов Д.Н.<sup>1</sup>, Садыков Т.Х.<sup>2</sup>

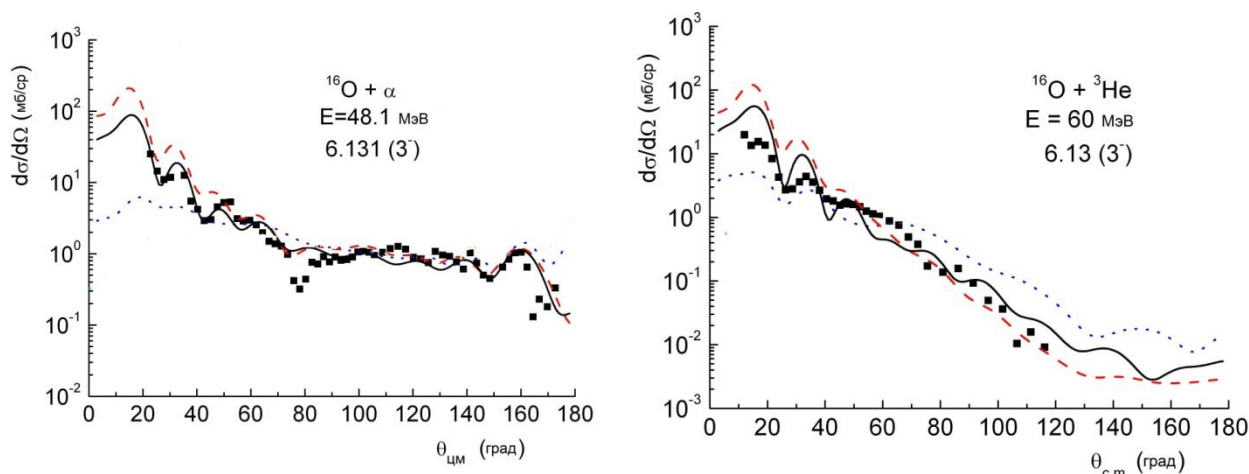
<sup>1</sup>Национальный Исследовательский Центр «Курчатовский институт», Москва, Россия;

<sup>2</sup>Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

В работе [1] на изохронном циклотроне У-150М Института Ядерной Физики (Алматы, Казахстан) при энергии  $\alpha$ -частиц 48.1 МэВ и  $^3\text{He}$  60 МэВ были измерены и проанализированы упругое и неупругое рассеяние на ядрах  $^{16}\text{O}$  с возбуждением состояния 6.13 ( $3^-$ ) МэВ. В случае рассеяния  $\alpha$ -частиц коллективная модель дает достаточно хорошее описание неупругого рассеяния, за исключением области углов менее  $30^\circ$ , в то время как для  $^3\text{He}$  расчетные сечения за углом более  $80^\circ$  идут значительно выше экспериментальных (соответствующие расчетные сечения показаны на рисунке точечными кривыми).

Учитывая выраженную  $\alpha$ -кластерную структуру ядра  $^{16}\text{O}$ , нами были выполнены расчеты неупругого рассеяния с переходом в состояние 6.13 ( $3^-$ ) МэВ методом связанных каналов в рамках кластерной модели. Расчеты проводились по программе FRESKO [2]. Использовались две модели, в которых ядро  $^{16}\text{O}$  представлялось состоящим из двух инертных кластеров  $^{12}\text{C} + \alpha$  или  $^{15}\text{O} + n$ . Соответствующие параметры оптических потенциалов были взяты из работы [3], значения спектроскопических амплитуд для систем  $^{12}\text{C} + \alpha$  или  $^{15}\text{O} + n$  полагались равными  $SA = 1.0$  и  $1.5$ , соответственно. Результаты расчетов показаны на рисунке сплошными ( $\alpha$ -

кластерная модель) и штриховыми ( $n$ -кластерная модель) кривыми. Видно, что  $\alpha$ -кластерная модель дает наилучшее описание экспериментальных данных, в то время как другая модель, в которой ядро  $^{16}\text{O}$  представляется в виде структуры  $n + ^{15}\text{O}$ , несколько завышает сечения под малыми углами.



1. N. Burtebayev, A. Duisebayev, B.A. Duisebayev et al., International Journal of Modern Physics E, 26 (2017) 1750018
2. I.J. Thompson, Comput. Phys. Rep. 7 (1988) 167.
3. C.M. Perey, F.G. Perey, Compilation of Phenomenological Optical-Model Parameters. Atomic and Nuclear Data Tables. 13 (1974) 293.

### ДИНАМИКА ОКОЛОБАРЬЕРНЫХ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ, ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР

Саiko В.В.<sup>1</sup>, Карпов А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Лаборатория Ядерных Реакций им. Г.Н. Флёрва, ОИЯИ, Дубна, Россия

При энергиях вблизи кулоновского барьера основными каналами реакции с тяжелыми ионами являются глубоко-неупругое рассеяние и квазиделение, в то время как вероятность слияния чрезвычайно мала. Именно процесс квазиделения подавляет слияние на несколько порядков по сечению. Чтобы оценить такую малую величину, в первую очередь необходимо уметь хорошо описывать основные каналы реакции, а именно глубоко-неупругое рассеяние и квазиделение. Более того, процессы квазиделения очень часто неотделимы от глубоко-неупругого рассеяния и деления, которое является основным каналом распада возбужденного тяжелого составного ядра.

Сильная диссипация полной кинетической энергии сталкивающихся ядер и нуклонный обмен между ними являются характерными особенностями глубоко-неупругих столкновений. Недавно возобновился интерес к глубоко-неупругим процессам (ГНП), в частности, благодаря предсказанной возможности синтеза неизвестных нейтроноизбыточных изотопов тяжелых и сверхтяжелых элементов с достаточно большими сечениями [1,2]. Полуклассические динамические подходы являются мощными и информативными средствами для анализа низкоэнергетических ядро-ядерных столкновений. В настоящей работе представляется новая модель ядро-ядерных столкновений, основанная на уравнениях Ланжевена [3]. Систематический анализ ГНП, выполненный для ряда комбинаций снаряд-мишень, показывает хорошее согласие с соответствующими экспериментальными данными. Это позволило зафиксировать параметры модели и сделать некоторые выводы относительно сечений образования экзотических ядер в околобарьерных ядро-ядерных столкновениях.

- [1] V. Zagrebaev and W. Greiner, J. Phys. G 34, 1 (2007).
- [2] V. Zagrebaev and W. Greiner, J. Phys. G 35, 125103 (2008).
- [3] A. V. Karpov and V. V. Saiko, Phys. Part. Nucl. Lett. (2016) to be published.



NEAR-BARRIER PROTON TRANSFER IN REACTIONS WITH  $^3\text{He}$

Samarin V.V. <sup>1,2</sup>, Penionzhkevich Yu.E. <sup>1,3</sup>, Naumenko M.A. <sup>1</sup>, Skobelev N.K. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, Dubna, Russia;

<sup>2</sup> Dubna State University, 141982 Dubna, Russia;

<sup>3</sup> National Research Nuclear University "MEPhI", Moscow, Russia.

Experimental cross sections for production of isotopes  $^{197,198}\text{Hg}$ ,  $^{194,195}\text{Au}$  in reactions  $^3\text{He}+^{197}\text{Au}$ ,  $^3\text{He}+^{194}\text{Pt}$  [1] and isotopes  $^{45,46}\text{Ti}$  in reaction  $^3\text{He}+^{45}\text{Sc}$  [2] have been analyzed. To calculate the probabilities of proton and neutron transfer as well as transfer cross sections the time-dependent Schrödinger equation (TDSE) [3, 4] has been solved numerically (Fig. 1). Fusion-evaporation was taken into account using the code of the NRV knowledge base [5]. Results of calculation demonstrate overall satisfactory agreement with the experimental data. The used TDSE approach may also be applied to calculation of reactions with nuclei having proton halo, e.g.,  $^8\text{B}$ .

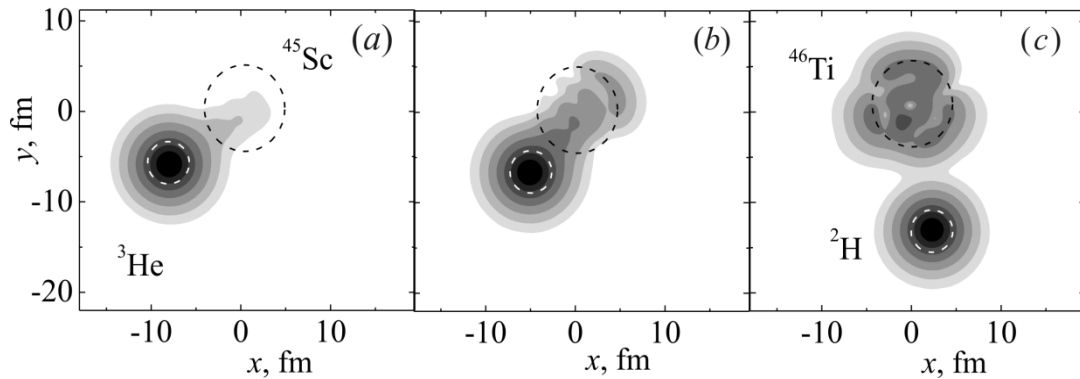


Fig. 1. Example of the time evolution of the probability density for the protons of  $^3\text{He}$  in the collision with  $^{45}\text{Sc}$  at  $E_{\text{cm}} = 10$  MeV and impact parameter  $b = 5$  fm. Radii of circumferences equal the effective radii of nuclei. The course of time corresponds to the panel locations (a,b,c).

This work was supported by Russian Science Foundation (RSF), research project 17-12-01170.

1. N.K. Skobelev *et al.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2014. V. 11. P. 114.
2. N.K. Skobelev *et al.* // Phys. Part. Nucl. Lett. 2013. V. 10. P. 410.
3. V.V. Samarin // Phys. At. Nucl. 2015. V. 78. P. 128.
4. M.A. Naumenko, V.V. Samarin // Bull. Russ. Acad. Sci. Phys. 2016. V. 76. P. 450.
5. V.I. Zagrebaev *et al.* NRV web knowledge base on low-energy nuclear physics. URL: <http://nrv.jinr.ru/>.

TIME-DEPENDENT DESCRIPTION OF INCOMPLETE FUSION, CLUSTER AND NEUTRON TRANSFER REACTIONS

Samarin V.V. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, JINR, 141982, Dubna, Russia;

<sup>2</sup> Dubna State University, 141982, Dubna, Russia

The numerical solution of the time-dependent Schrödinger equation [1, 2] provides the possibility of intuitive study of dynamics of complete and incomplete fusion, cluster, single, pair, and multi-nucleon transfer processes in nucleus-nucleus collisions. The evolution of the  $\alpha$ -cluster wave function of  $^{12}\text{C}$  in the reaction  $^{12}\text{C}+^{51}\text{V}$  [3] (Fig. 1) was used for calculation of incomplete fusion cross sections. The theoretical cross sections show satisfactory agreement with the experimental data [3] for  $(^{12}\text{C},\alpha)$  and  $(^{12}\text{C},2\alpha)$  channels at energies near and above the Coulomb barrier. The single, pair and multi-nucleon transfer channels in reactions  $^{40}\text{Ca}+^{96}\text{Zr}$  [4] and  $^{40}\text{Ca}+^{124}\text{Sn}$  [5] were analyzed using the evolution of wave functions for all nucleons.

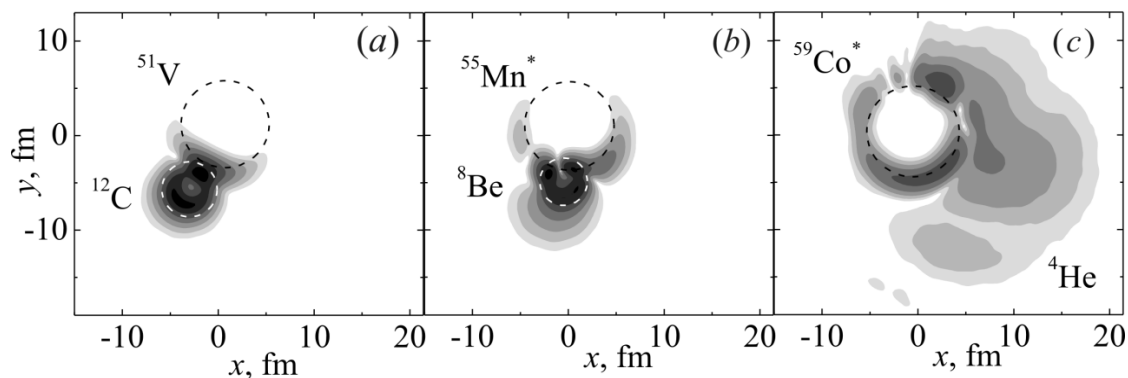


Fig. 1. The probability density for the  $\alpha$ -cluster of  $^{12}\text{C}$  in the collision with  $^{51}\text{V}$  at  $E_{\text{lab}} = 51$  MeV and impact parameter of the collision  $b = 5.5$  fm; radii of circumferences equal the radii of nuclei. The course of time corresponds to the panel locations (a,b,c).

1. V.I. Zagrebaev, V.V. Samarin and W. Greiner // Phys. Rev. C. 2007. V. 75. 035809.
2. V.V. Samarin // Phys. At. Nucl. 2015. V. 78. P. 128.
3. D.J. Parker, J. Asher, T.W. Conlon and I. Naqib, // Phys. Rev. C. 1984. V. 30. P. 143.
4. L. Corradi, S. Szilner, G. Pollarolo *et al.* // Phys. Rev. C. 2011. V. 30. 034603.
5. L. Corradi, J.H. He, D. Ackermann *et al.*, Phys. Rev. C. 1996. V. 54. P. 201.
6. V.I. Zagrebaev *et al.*, NRV web knowledge base on low-energy nuclear physics, URL: <http://nrv.jinr.ru>.

## АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НУКЛОННЫХ СИСТЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПРАВИЛ СУПЕРОТБОРА ПО ИЗОСПИНУ

Кириллов М.И., Никитин А.С., Ситдииков А.С.

ФГБОУ ВО КГЭУ, г. Казань, Российская федерация

В теории квантовых систем наряду с пространственно-временными симметриями большую роль играют также и симметрии внутренних степеней свободы частиц в абстрактном внутреннем пространстве. Такие симметрии принято называть внутренними, и они связаны с характером взаимодействия частиц, которые порождают динамические правила суперотбора по заряду. Внутренние симметрии описываются с помощью компактных групп глобальных калибровочных преобразований и в абелевом случае это могут быть электрический, барионный, лептонный и пр. заряды, а в неабелевом случае – изоспин, цвет и др. «неабелевы заряды». Представления компактной группы калибровочных преобразований образуют моноидальную тензорную симметрическую  $C^*$ -категорию, которая согласно известной теореме Танаки-Крейна оказывается дуальным объектом исходной группы. С физической точки зрения такая категория описывает зарядовую структуру системы. Это позволяет построить дуальное описание теории, основываясь на наблюдаемых величинах и зарядовой структуре.

В настоящей работе дана формулировка простой алгебраической модели с правилами суперотбора по изоспину, которая апробирована в малонуклонных системах. Построены изометрические операторы, являющиеся переносчиками изотопического заряда и сплетающие вакуумный сектор с зарядовыми секторами. Проекторы, составленные из этих изометрических операторов, являются проектирующими операторами на симметрические подпространства и принадлежат центру алгебры наблюдаемых. Также показано, что физически реализуемые состояния, соответствующие связанным состояниям, можно получить с помощью специального изометрического оператора.

**ON THE SCATTERING OF POLARIZED ELECTRONS BY LIGHT NUCLEI OF HALF-INTEGER SPIN**

Safin M. Ya.

Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia  
misafin@gmail.com

In the papers [1, 2] we considered several polarization asymmetries in the elastic scattering of longitudinally polarized ( $\zeta = \pm 1$ ) electrons on polarized ( $\vec{s}$ ) proton target with an aim to clarify possibilities to detect violation of the  $P$ - and  $T$ -invariances due to electroweak interference with account of anapole and electric dipole form factors of the proton.

In recent years, interest is intensified in double polarization experiments, in particular, the experiments on the scattering of polarized electrons and photons on the polarized target [3, 4]. Such studies can provide additional information about the electroweak form factors of the proton and neutron, including form factors of anapole  $G_1$  and electric dipole  $G_2$  moments, connected with violation of the spatial  $P$ -, charge  $C$ -, and combined  $CP$ -symmetry.

Here we study the spin asymmetries in the elastic scattering of electrons by nuclei of half-integer spin, described in the framework of the Rarita-Schwinger formalism by invariant form factors of the electromagnetic and weak vertex functions ( $n = 1, 2, \dots, j+1, j = J - 1/2$ )

$$\Gamma_{em;n}^\mu = \gamma_\alpha \left( F_M^{(n)} + \frac{q^2}{M^2} G_1^{(n)} \gamma_5 \right) - \frac{P_\alpha}{2M} \left( F_2^{(n)} - i G_2^{(n)} \gamma_5 \right), \quad \Gamma_{weak;n}^\mu = \gamma^\mu \left( g_M^{(n)} + g_A^{(n)} \gamma_5 \right) - \frac{P^\mu}{2M} f_V^{(n)}.$$

In the case of nuclei with spin  $J = 1/2$  we calculate analytical expressions for differential cross section of the scattering process with account of arbitrary spins of incident and scattered electrons, and target polarization. Then we obtain and discuss expressions for the right-left asymmetry  $A_{RL}(\vec{s})$  (longitudinally polarized incident and unpolarized scattered electrons), degree of longitudinal polarization  $P_{RL}(\vec{s})$  of outgoing electrons for unpolarized incident electrons, and degree of longitudinal polarization  $P_{RL}(\zeta, \vec{s})$  of scattered electrons for incident electrons with helicity  $\zeta$  and target polarization  $\vec{s}$ . General correlational structure for these asymmetries is similar to that of

$$P_{RL}(\zeta, \vec{s}) = a(\zeta) + b(\zeta)(\vec{s}\vec{n}) + c(\zeta)(\vec{s}\vec{m}) + d(\zeta)(\vec{s}[\vec{n}\vec{m}]),$$

where  $\vec{n}$  and  $\vec{m}$  are unit vectors in the direction of incident and scattered electrons respectively. The last term, proportional to triple correlation  $(\vec{s}[\vec{n}\vec{m}])$ , stands for the time reversal violation due to electric dipole moment  $G_2$  of the target.

In the case of scattering on unpolarized half-integer spin target, we discuss along with these right-left asymmetries also the spin correlation of transversely polarized incident and scattered electrons. We show, that this scattering is helicity conserving, and right-left asymmetry contains contribution from anapole moment  $G_1$  of the target, whereas transverse correlations arise only with simultaneous polarization of incident and scattered electrons.

References

1. Safin M. Ya. Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2015, Vol. 79, No. 7, p. 940.
2. Safin M. Ya. Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., Physics, 2016, Vol. 80, No. 5, p. 603.
3. Douglas, H.K., et al., Annu. Rev. Nucl. Part. Sci., 2011, vol. 61, p. 409.
4. Gurevich, G.M., Phys. Part. Nucl. Lett., 2014, vol. 11, no. 1, p. 31.

**ТЕОРИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ С НЕСКОЛЬКИМИ ФОТОДЕТЕКТОРАМИ**

Самедов В.В.

Национальный Исследовательский Ядерный университет «МИФИ», Москва, Российская Федерация

Получены выражения для производящей функции вероятности, описывающей статистические процессы, происходящие в сцинтилляционном спектрометре с несколькими фотодетекторами, выражения для среднего значения и дисперсии амплитуды на выходе спектрометра и выражение для относительной дисперсии, характеризующей энергетическое разрешение спектрометра. Обсуждается целесообразность введения факторов Фано для сцинтилляционных фотонов и для фотоэлектронов, предложенных в работе [1].

1. Bora V., et al. Estimation of Fano factor in inorganic scintillators, *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. A.*, 2016, 805, 72–86.

**ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ  
ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

<sup>1</sup> Свирихин А.И., <sup>1</sup> Еремин А.В., <sup>1</sup> Попеко А.Г., <sup>1</sup> Малышев О.Н., <sup>1</sup> Чепигин В.И., <sup>1</sup> Исаев А.В., <sup>1</sup> Челноков М.Л., <sup>1</sup> Сокол Е.А., <sup>1</sup> Андреев А.В., <sup>1</sup> Шнейдман Т.М., <sup>1</sup> Попов Ю.А.

<sup>1</sup> - ОИЯИ, Дубна, Россия

Рассмотрена проблема изучения характеристик спонтанного деления ядер, лежащих в экзотической области короткоживущих нейтронно-дефицитных изотопов с  $Z \geq 100$ . Для решения поставленной задачи в фокальной плоскости сепаратора SHELS (модернизированный сепаратор ВАСИЛИСА) используется комбинированная детектирующая система, основной частью которой является нейтронный детектор, позволяющий в «он-лайн» режиме измерять выходы нейтронов спонтанного деления ядер, получаемых в реакциях полного слияния на пучках тяжелых ионов. Ранее, в рамках проделанной работы получены данные об эмиссии нейтронов спонтанного деления короткоживущих изотопов  $^{244,246}\text{Fm}$  и уточнены ранее полученные данные по  $^{252}\text{No}$ . В работе описывается серия экспериментов, проведенных в 2014-2017 г. с использованием сепаратора SHELS и пучка многозарядных ионов ускорителя У-400 ЛЯР ОИЯИ. Приводятся данные эксперимента по изучению свойств спонтанного деления короткоживущих нейтронно-дефицитных ядер, синтезированных в реакции полного слияния  $^{48}\text{Ca} + ^{204}\text{Pb} = ^{252}\text{No}^*$ . В этом эксперименте зарегистрированы две спонтанно-делящиеся активности, относящиеся к основному и изомерному состояниям ядра  $^{250}\text{No}$ . Для полученных короткоживущих ядер измерены периоды полураспада, полные кинетические энергии осколков деления и нейтронные множественности. Среднее число нейтронов на деление для активности с  $t_{1/2} = 5.1 \pm 0.3$  мкс составило величину  $\bar{\nu} = 4.38 \pm 0.13$ , для ядер с периодом полураспада  $t_{1/2} = 36 \pm 3$  мкс эта величина составила  $\bar{\nu} = 3.90 \pm 0.20$ . Кроме того, в реакции  $^{48}\text{Ca} + ^{208}\text{Pb} = ^{256}\text{No}^*$  синтезировались ядра  $^{254}\text{No}$ , данные о нейтронной множественности для деления этого изотопа также приводятся впервые.

В рамках подготовки большой программы экспериментов с использованием пучка многозарядных ионов  $^{50}\text{Ti}$  ускорителя У-400 ЛЯР, проведен эксперимент по изучению свойств спонтанного деления короткоживущего нейтронно-дефицитного ядра  $^{256}\text{Rf}$ , получаемого в реакции полного слияния  $^{50}\text{Ti} + ^{208}\text{Pb} = ^{256}\text{Rf} + 2n$ . Для изотопа  $^{256}\text{Rf}$  измерены период полураспада и вероятность распада через спонтанное деление. Впервые измерялось среднее число нейтронов на одно спонтанное деление  $^{256}\text{Rf}$  ( $\bar{\nu} = 4.47 \pm 0.09$ ).

В заключительной части работы обсуждаются полученные результаты, а так же приводятся планы развития программы изучения спонтанного деления в ЛЯР ОИЯИ.

**ПОИСК ЭФФЕКТОВ НАРУШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В РЕАКЦИЯХ  
ХОЛОДНЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ С ЛЕГЧАЙШИМИ ЯДРАМИ**

<sup>1</sup> Гледенов Ю.М., <sup>1</sup> Седышев П. В., <sup>2</sup> Весна В.А., <sup>2</sup> Шульгина Е.В., <sup>3</sup> Несвижевский В.В., <sup>3</sup> Петухов А.К., <sup>3</sup> Солднер Т., <sup>3</sup> Циммер О., <sup>4</sup> Шаланьский П.

Лаборатория нейтронной физики им. И. М. Франка, ОИЯИ, Дубна, Россия.

С.-Петербургский институт ядерной физики РАН, Гатчина, Россия.

Институт Лауэ-Ланжевена, Гренобль, Франция.

Лодзинский университет, Лодзь, Польша.

Представляемые работы посвящены исследованию слабых нуклон-нуклонных (NN) взаимодействий при низких энергиях. В этой области существует ряд фундаментальных проблем, связанных как с изучением слабого взаимодействия, так и сильного взаимодействия в низкоэнергетическом, непertурбативном пределе квантовой хромодинамики. Основной практической целью экспериментов было определение величины слабой  $\pi$ -мезонной константы обмена  $f_\pi$ , связанной с нейтральным током в NN-взаимодействии, согласно описанию в рамках модели одномезонного обмена электрослабых NN-взаимодействий при низких энергиях. Константа  $f_\pi$  полностью определяется нейтральными токами. Полученные из экспериментов по протон-протонному рассеянию значения констант связи, соответствующих заряженным токам, находятся в хорошем согласии с теоретическими предсказаниями модели одномезонного обмена, в то время как значение  $f_\pi$ , полученное в нескольких других экспериментах варьируется в широких пределах. Для решения проблемы необходимы дополнительные эксперименты. С точки зрения теоретической интерпретации наиболее подходящей системой для исследований является реакция  $pn \rightarrow d\gamma$ , где пространственно нечетные эффекты (P-нечетные) полностью обусловлены  $\pi$ -мезонным обменом. Однако, как из-за малости ожидаемого эффекта, так и по ряду технических проблем, этот эксперимент весьма труден в реализации. В то же время существует несколько теоретических работ, где авторы, используя кластерное рассмотрение легких ядер, рассчитали P-нечетные эффекты в модели одномезонного обмена для реакций этих ядер с медленными поляризованными нейтронами. В связи с этим, нами было принято решение реализовать программу поиска P-нечетных эффектов на легчайших ядрах.

К настоящему времени выполнены измерения:

P-нечетной асимметрии углового распределения эмиссии тритонов относительно спина нейтрона в реакции  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ ;  $\alpha'_{PNC} = (8.6 \pm 2.0) \cdot 10^{-8}$  ;

P-нечетной асимметрии углового распределения эмиссии  $\gamma$ -квантов относительно спина нейтрона в реакции  ${}^{10}\text{B}(n,\alpha_1){}^7\text{Li}^* \rightarrow \gamma \rightarrow {}^7\text{Li}(\text{o.c.})$ ;  $\alpha'_{PNC} = (0.0 \pm 2.8) \cdot 10^{-8}$ ;

P-нечетной асимметрии углового распределения эмиссии  $\alpha$ -частиц относительно спина нейтрона в реакции  ${}^{10}\text{B}(n,\alpha){}^7\text{Li}$ ;  $\alpha'_{PNC} = -(11.2 \pm 3.4) \cdot 10^{-8}$ .

Первые эксперименты нами были проведены на вертикальном канале реактора ВВР-М ПИЯФ в Гатчине. Затем исследования были продолжены на пучке поляризованных нейтронов инструмента PF1B высокопоточного реактора ИЛЛ в Гренобле (Франция). Эксперименты проводились на холодных ( $\langle \lambda_n \rangle = 4.7 \text{ \AA}$ ) поляризованных (94%) нейтронах с интегральной интенсивностью на образце  $(4 - 5) \cdot 10^{10} \text{ c}^{-1}$ . Для регистрации заряженных частиц применялась многосекционная ионизационная камера. Гамма-кванты регистрировались двумя детекторами NaI(Tl) диаметром 200 мм и толщиной 100 мм. Практически все падающие нейтроны поглощались образцами и мишенями, обеспечивая загрузку детекторов  $\sim 10^{10} \text{ s}^{-1}$ . В экспериментах применялась специальная методика измерений малых P-нечетных эффектов, позволяющая использовать высокоинтенсивные пучки нейтронов. Основу методики составляют: токовый метод регистрации событий, применение двухдетекторной системы, техника компенсации флуктуаций мощности реактора, периодическое переключение направления ведущего нейтронный спин магнитного поля и проведение нулевого эксперимента. Более подробно эксперименты будут описаны в докладе.

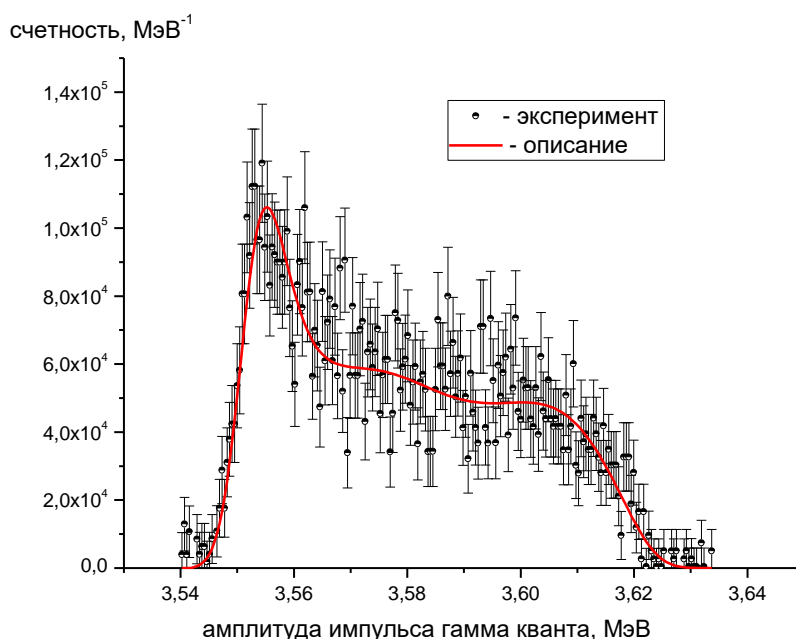
Из экспериментальных данных были получены оценки констант связи. Их сравнение с теоретическими предсказаниями и результатами других экспериментов будет представлено в докладе.

**ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ  ${}^9\text{Be}(p,\alpha){}^6\text{Li}^*$  (3.563 МэВ) ИЗ ДОПЛЕРОВСКОГО УШИРЕНИЯ  $\gamma$ -ЛИНИИ. R-МАТРИЧНЫЙ АНАЛИЗ**

Генералов Л.Н., Селянкина С.М., Романихин В.П.

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

При энергии протонов  $E_p = 2.4-4.5$  МэВ получены дифференциальные сечения (по углу) реакции  ${}^9\text{Be}(p,\alpha){}^6\text{Li}^*$  (3.563 МэВ). Они определены из описания доплеровской формы  $\gamma$ -линии [1], [2], обусловленной разрядкой движущегося возбужденного ядра  ${}^6\text{Li}$ . Использовались данные измерений [3], в которых  $\gamma$  – кванты регистрировались под углом  $0^\circ$  относительно направления движения протонного пучка ускорителя. На рисунке представлено описание формы  $\gamma$ -линии для  $E_p = 2.377$  МэВ. В связи с применением бериллия [4] в строящемся токамаке ИТЕР эта реакция может быть диагностической. Для этой цели необходимо иметь дифференциальные сечения.



С целью уточнения резонансных параметров в области  $E_p = 2.56$  МэВ проведен R-матричный анализ полученных дифференциальных сечений. Использовался R-матричный код AZURE [5].

Литература

1. Tryti S., Holtebekk T., Rekstad J. // Nucl. Phys. 1973. Vol. A 201. P. 135-144.
2. Kiss A et al. // Nucl. Phys. 1977. Vol. A 282. P. 44-52.
3. Генералов Л.Н., Абрамович С.Н., Звенигородский А.Г. и др. // Изв. РАН. Сер. Физ. 2003. Т. 67. №10. С. 1462.
4. Nieswand C., Born M., Haemann J. // Plasma Phys. and Contr. Fus. 1990. Vol. 32. №. 3. P. 12-19.
5. Azuma R.E., Uberseder E., Simpson E.C., et al. // Phys. Rev. C. 2010. Vol. 81. 045805.

**СПАРИВАНИЕ НЕЙТРОНОВ И ПРОТОНОВ В ЯДРАХ С  $N = Z$**

Ишханов Б.С.<sup>1,2)</sup>, Сидоров С.В.<sup>1)</sup>, Третьякова Т.Ю.<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Физический факультет,

<sup>2)</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, 119991 Москва, Россия.

Спаривание нуклонов оказывает значительное влияние на структуру атомных ядер. Особый интерес представляет изучение парного взаимодействия нейтронов и протонов ( $np$ -спаривания). Так, остаются нерешенными вопросы конкуренции изоскалярного ( $T=0$ ) и изовекторного ( $T=1$ ) спаривания, а также наличия четырех-нуклонного взаимодействия в ядрах. Трудности в разрешении этих и иных проблем сопряжены с меньшим количеством экспериментальных данных, а также большей плотностью ядерных спектров в нечетно-нечетных ядрах, где  $np$ -спаривание проявляется наиболее ярко [1]. Выделить возбужденные состояния нечетно-нечетных ядер, отвечающие изовекторному  $np$ -спариванию, можно из сравнения спектров соседних ядер-изобар, в которых спаривание тождественных нуклонов приводит к формированию мультиплетов основного состояния (GSM, ground state multiplet). Как было показано в работах [2, 3], расщепление GSM в случае тождественных нуклонов может быть определено на основе массовых соотношений для четно-нечетного эффекта.

В настоящей работе описание взаимодействия нейтронов и протонов в случае  $T=1$  проведено по аналогии со спариванием тождественных нуклонов в четно-четных ядрах: структура GSM рассчитана в приближении дельта-взаимодействия, для оценки расщепления GSM использованы различные варианты массовых соотношений:

- Из разности между энергией отделения пары  $np$  и протона и нейтрона по отдельности [4, 5]:

$$\Delta_{np}^{(4)}(N, Z) = B_{np}(N, Z) - B_n(N, Z - 1) - B_p(N - 1, Z) \quad (1)$$

- через массы семи соседних ядер:

$$\Delta_{np}^{(7)}(N, Z) = \frac{1}{2} [\Delta_{np}^{(4)}(N, Z) + \Delta_{np}^{(4)}(N + 1, Z + 1)] \quad (2)$$

- через массы тринадцати соседних ядер:

$$\Delta_{np}^{(13)}(N, Z) = \frac{1}{2} [\Delta_{nn}^{(5)}(N, Z) + \Delta_{pp}^{(5)}(N, Z)] + \delta_{np} \quad (3)$$

- через парное взаимодействие тождественных нуклонов в соседних изобарах [6]:

$$\Delta_{np}^*(N, Z) = \frac{1}{2} [\Delta_{nn}^{(5)}(N + 1, Z - 1) + \Delta_{pp}^{(5)}(N - 1, Z + 1)] \quad (4)$$

Спектры мультиплета основного состояния были найдены в рамках различных оценок величины  $\Delta_{np}$  в нечетно-нечетных ядрах  $N = Z$  с валентными нуклонами на подболочке  $1f_{7/2}$  ( $^{42}\text{Sc}$ ,  $^{46}\text{V}$ ,  $^{50}\text{Mn}$ ,  $^{54}\text{Co}$ ) и  $1d_{5/2}$  ( $^{18}\text{F}$ ,  $^{22}\text{Na}$ ,  $^{26}\text{Al}$ ). Сравнение результатов расчета и экспериментальных спектров ядер с  $N=Z$  показывает, что изовекторное спаривание в рассматриваемых ядрах с нуклонами на одной подболочке может быть наиболее точно описано в рамках метода усреднения по энергии спаривания изобар-аналогов, а также метода расчета по энергии связи тринадцати ядер.

- [1] S. Frauendorf, A.O. Macchiavelli // *Prog. in Part. and Nucl. Phys.* **78**, 24 (2014)  
 [2] L. T. Imasheva, B. S. Ishkhanov, M. E. Stepanov, T. Yu. Tretyakova // *Bull.of.RAS: Physics.* **79**, 521 (2015)  
 [3] L. T. Imasheva, B. S. Ishkhanov, S. V. Sidorov et al // arXiv:1704.06895  
 [4] L. T. Imasheva, B. S. Ishkhanov, M. E. Stepanov, T. Yu. Tretyakova // *Phys. of At. Nucl.* **78**, 1463 (2015)  
 [5] C. Qi, R. Wyss // *Phys. Scr.* **91**. 013009 (2016)  
 [6] D.G. Madland, J.R. Nix // *Nucl. Phys.* **A476**. P. 1. (1988)

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА  $^{156}\text{Ho} \rightarrow ^{156}\text{Dy}$

Изосимов И.Н., Солнышкин А.А., Хушвактов Ж.Х.

Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980 Дубна, Россия

E-mail: [soln@jinr.ru](mailto:soln@jinr.ru)

В наших экспериментах для наработки радиоактивного препарата  $^{156}\text{Ho}$  (56 мин) мы использовали реакцию глубокого расщепления ядер тантала при взаимодействии с высокоэнергичными протонами от Фазотрона ЛЯП ОИЯИ. Для этого с помощью специального устройства без нарушения вакуума в камеру фазотрона устанавливалась мишень массой 5 граммов, приготовленная из металлического тантала. Затем проводилось облучение указанной мишени пучком протонов. В наших экспериментах время облучения варьировалось от нескольких десятков минут до нескольких часов. При этом во всех сериях облучения энергия протонов составляла  $E_p = 660$  МэВ, а интенсивность  $I_p = 2$  мкА. После облучения мишень извлекалась из камеры ускорителя и доставлялась в радиохимическую лабораторию, где хроматографическим методом [1] выделялась фракция Ho. При этом время, отчитанное от момента снятия мишени до конца выделения фракции Ho, в общей сложности, не превышало двух часов. Затем фракция Ho транспортировалась к электромагнитному масс-сепаратору комплекса ЯСНАПП-2 [2], где помещалась в специальную ампулу источника ионов и подвергалась разделению на отдельные изотопы Ho. В специальном устройстве сбора моноизотопы в виде ионов с энергией 50 кэВ высаживались (каждый в своем месте) на алюминиевую ленту. Лента извлекалась из устройства, из которой затем вырезались отдельные фрагменты размером порядка  $1 \text{ см}^2$ , содержащие тот или иной моноизотоп. Впоследствии эти фрагменты использовались в качестве р/а-источников для измерений на наших полупроводниковых спектрометрах, в том числе и моноизотоп  $^{156}\text{Ho}$ . Весь процесс разделения до начала измерений занимал не более одного часа. Таким образом, суммарное время от конца облучения до начала измерений составляло около трех часов. За это время восьмиминутный ( $9^+$ ) изомер  $^{156m}\text{Ho}$ , практически, полностью распался и мы измеряли гамма спектры от распада ( $4^-$ ) основного состояния  $^{156g}\text{Ho}$  (56 мин).

Измерения проводились с помощью спектрометров на основе стандартных HpGe – детекторов фирм ORTEC и CANBERRA. Измерялись спектры как  $\gamma$ -лучей, так и  $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде  $^{156g}\text{Ho}$  (56 мин).

Ниже указаны характеристики конкретных детекторов, используемых нами в наших измерениях.

Эффективность:	Разрешение:
HpGe (19%):	$\Delta E_\gamma = 1.8$ кэВ ( $^{60}\text{Co}$ )
HpGe (28%):	$\Delta E_\gamma = 1.9$ кэВ ( $^{60}\text{Co}$ )
HpGe (50%):	$\Delta E_\gamma = 2.0$ кэВ ( $^{60}\text{Co}$ )
HpGe ( $2 \text{ см}^3$ ):	$\Delta E_\gamma = 580$ эВ на $\gamma 120$ кэВ

В 2002 году была опубликована работа [3], где авторы провели  $\gamma$ -спектроскопию цепочки распада  $^{156}\text{Er} \rightarrow ^{156}\text{Ho} \rightarrow ^{156}\text{Dy}$  с помощью Clover HPGe детектора. Источник  $^{156}\text{Er}$  нарабатывался в реакции  $^{148}\text{Sm}(^{12}\text{C}, 4n)^{156}\text{Er}$  на пучке  $^{12}\text{C}$  с энергией 73 МэВ. Полученные нами сведения о  $\gamma$ -лучах (энергиях и интенсивностях) и  $\gamma\gamma$ -совпадений при распаде  $^{156g}\text{Ho}$  (56 мин) в пределах ошибок хорошо согласуются с данными работы [3]. Исключение составляет  $\gamma$ -переход 137.8 кэВ с  $2^+_{11}$  на основное состояние  $0^+_{11}$   $^{156}\text{Dy}$ . По нашим данным его интенсивность в относительных единицах составляет  $I_\gamma = 115.0 \pm 3.0$ . В [3] она несколько занижена  $I_\gamma = 100 \pm 7$ .

В настоящей работе, используя наши данные и данные работы [3] нам удалось построить достаточно полную схему распада  $^{156g}\text{Ho} \rightarrow ^{156}\text{Dy}$  (при этом нами были размещены практически все наблюдаемые  $\gamma$ -переходы и установлены 43 ранее неизвестных возбужденных состояний), выполнить баланс интенсивностей, определить заселенности возбужденных уровней  $^{156}\text{Dy}$  непосредственно из  $\epsilon + \beta^+$ -распада  $^{156g}\text{Ho}$  и вычислить приведенные вероятности  $\log ft$ .

1. Ф. Молнар, В.А.Халкин, Э.Херрман // ЭЧАЯ, 1973, Т. 4, № 4, С. 1077-1155.
2. V.G.Kalinnikov, K.Ya.Gromov, M.Janicki, Yu.V.Yushkevich, A.W.Potempa, V.G.Egorov, V.A.Bystrov, N.Yu.Kotovskiy, S.V.Evtisov // Nucl. Instr. and Meth., 1992, V. B70, P. 62-68.
3. M.A.Caprio, N.V.Zamfir, R.F.Casten, C.J.Barton, C.W.Beausang, J.R.Cooper, A.A.Hecht, R.Krucken, H.Newman, J.R.Novak, N.Pietralla, A.Wolf, and K.E.Zyromski // Physical Review. 2002, C 66, 054310.



## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ STRAW-ТРУБОК

*Бердников Я.А., Бердников А.Я., Мосолова Е.О., Соловьёв В.Н.*

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Во многих экспериментах в области физики высоких энергий требуются детектирующие системы (например, спектрометрические трекаеры), способные восстанавливать пространственную координату частицы с высокой точностью.

Спектрометрический трекаер обычно состоит из дипольного магнита с большой апертурой и нескольких трековых телескопов, которые конструируются из нескольких трековых станций. Станции должны обладать высоким пространственным разрешением и минимальным вкладом в многократное рассеяние регистрируемых частиц. Часто трековые станции создают с использованием straw-трубок, собранных в трекаерные панели. Такие спектрометрические трекаеры уже были использованы в экспериментах NA62 и PANDA, и других [1,2].

Straw-трубки - пропорциональные счетчики, представляющие собой цилиндр (поверхность которого является катодом), заполненный газовой смесью, с чувствительной проволокой, натянутой по оси цилиндра (анод). Используя время дрейфа, можно определить расстояние от трека до анода, то есть в одной трубке информация о координате собирается по принципу «цилиндр наибольшего сближения» - из полученного времени дрейфа определяется радиус наименьшего цилиндра.

В процессе разработки трекаера необходимо подобрать параметры straw-трубок, такие как тип газа, давление, напряжение, диаметр, длина и другие. От этих параметров напрямую будет зависеть разрешение детектора. Зачастую, после выбора параметров трубок, пространственное разрешение определяется для всей установки (трекаера) в целом. Но для оптимизации трекаера полезно рассмотреть зависимость разрешения от параметров на примере отдельно взятой straw-трубки еще на этапе планирования.

Для определения пространственного разрешения straw-трубок необходимо преобразование времени дрейфа в минимальное расстояние от трека до проволоки. Это означает, что координата в трубке может быть определена только косвенно, а значит и пространственное разрешение напрямую зависит от временного.

На практике, пространственным разрешением называют ошибку, с которой будет измерено положение трека в трубке.

В данной работе предлагается (с помощью моделирования с использованием пакета GARFIELD и фреймворка ROOT [3,4]) методика оценки пространственного разрешения straw-трубки.

Сначала необходимо определить зависимость пространственной координаты трека (минимальное расстояние от трека до анода) от времени дрейфа:

- пространственную координату можно найти с помощью системы независимых детекторов (путем интерполяции координаты на положение трубки);

- далее строится график зависимости временного сигнала со straw-трубки от интерполированной координаты, и определяется функция зависимости и ее параметры (например, с помощью фитирования).

По полученной функциональной зависимости определяется координата трека в трубке (с помощью обратной функции) и ее отклонение от интерполированной координаты. Ширина распределения отклонений будет служить оценкой общей ошибки измерения координаты. Тогда, с учетом ошибки интерполяции (которое зависит от разрешения независимых детекторов), можно получить оценку пространственного разрешения straw-трубки.

Методика имеет ряд сложных моментов, в числе которых:

- обратная функция может оказаться не определяемой при некоторых значениях аргумента;
- оценка разрешения сильно зависит от разрешения независимых детекторов, так как пространственно-временное соотношение построено на измерениях независимой системы.

Однако, методика позволяет сделать оценку пространственного разрешения отдельно взятой трубки, что в свою очередь дает возможность сравнить несколько различных конфигураций трубок с целью оптимизации работы конструируемой системы.

Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.1498.2017/4.6

Используемые источники

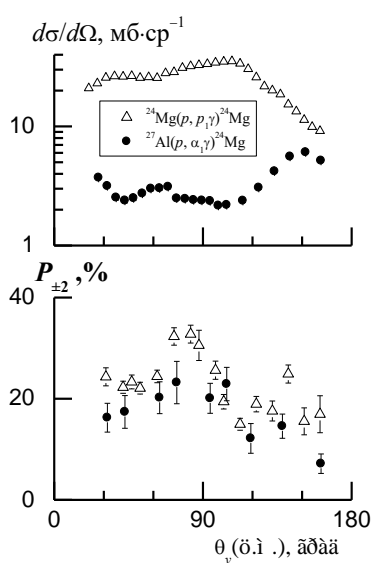
1. Technical Design Report for the: PANDA Straw Tube Tracker, [https://panda-wiki.gsi.de/pub/Tracking/WebHome/panda\\_tdr\\_trk.pdf](https://panda-wiki.gsi.de/pub/Tracking/WebHome/panda_tdr_trk.pdf)
2. NA62 Technical Design Document, [https://na62.web.cern.ch/na62/Documents/TD\\_Full\\_doc\\_v10.pdf](https://na62.web.cern.ch/na62/Documents/TD_Full_doc_v10.pdf)
3. ROOT Framework (<https://root.cern.ch/>)
4. GARFIELD (<http://garfield.web.cern.ch/garfield/>).

ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДРА  $^{24}\text{Mg}(2^+, 1.37 \text{ МэВ})$  В РЕАКЦИИ  $^{27}\text{Al}(p, \alpha_1)^{24}\text{Mg}$

Галанина Л. И., Зеленская Н. С., Лебедев В. М., Орлова Н. В., Спасский А. В.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,  
 Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына, Москва, Россия

На 120-см циклотроне НИИЯФ МГУ при энергии протонов 7.4 МэВ измерены двойные дифференциальные сечения  $W(\theta_\gamma, \varphi_\gamma; \theta_\alpha)$  реакции  $^{27}\text{Al}(p, \alpha_1\gamma)^{24}\text{Mg}$  в области углов вылета  $\alpha$ -частиц ( $\theta_{\text{лаб.}} = 30 - 160^\circ$ ). Для каждого угла  $\theta_\alpha$  функции угловой  $\alpha\gamma$ -корреляции  $W(\theta_\gamma, \varphi_\gamma; \theta_\alpha)$  измерялись в трех плоскостях  $\varphi_\gamma$  регистрации  $\gamma$ -квантов в интервале  $\theta_\gamma = 20 - 150^\circ$ . Это позволило восстановить угловые зависимости всех 9 четных компонент спин-тензоров матрицы плотности конечного выстроенного ядра  $^{24}\text{Mg}$  в состоянии  $2^+$  (1.37 МэВ). На базе этих компонент определены его ориентационные характеристики – заселенности  $P_{\pm M}(\theta_\alpha)$  магнитных подуровней с проекцией  $M = 0, \pm 1, \pm 2$  спина  $2^+$  изучаемого состояния конечного ядра и тензоры ориентации мультипольных моментов  $t_{kk}(\theta_\alpha)$  ранга  $k$  относительно импульса ядра отдачи.



Угловые распределения  $d\sigma/d\Omega$  и заселенности  $P_{\pm M}$  в реакциях, указанных на рисунке

Экспериментальные результаты сравниваются с расчетами для механизма подхвата тритона в методе связанных каналов (МСК) и в модели составного ядра в статистическом пределе (СЯ). В работе использованы расчеты и модельные параметры из нашей ранней публикации [1], в которой были приведены результаты измерений только для трех значений угла  $\theta_\alpha$ . Сравнение этих расчетов с более полными настоящими экспериментальными результатами подтвердило основные выводы, сделанные в [1]: преимущественный вклад прямого механизма подхвата тритона в исследованной реакции, удовлетворительное описание заселенности  $P_{\pm M}(\theta_\alpha)$  и лишь качественное согласие при анализе угловых зависимостей  $t_{kk}(\theta_\alpha)$ . Очевидно, что в изучаемой реакции при такой низкой энергии протонов (7.4 МэВ) возможен существенный вклад резонансных процессов, которые здесь не учитывались.

Проведено сравнение экспериментальных угловых зависимостей заселенности  $P_{\pm M}(\theta_\alpha)$ , полученных в исследованной реакции и в реакции  $^{24}\text{Mg}(p, p_1\gamma)^{24}\text{Mg}$  при  $E_p = 7.4 \text{ МэВ}$  с образованием того же состояния ядра  $^{24}\text{Mg}$  [2] (см. пример для  $M = 2$  на рис.). В отличие от [1], обнаружено заметное сходство заселенностей с проекциями  $M = 0$  и  $M = 2$ , тогда как угловые распределения дифференциального сечения реакций отличаются по форме. Такое относительное подобие может быть обусловлено определяющим влиянием структуры и свойств выстроенного конечного ядра  $^{24}\text{Mg}$  на величину заселенностей, поскольку основные механизмы этих двух реакций различаются, по-видимому, существенно [1-2].

1. Л.И. Галанина, Н.С. Зеленская, В.М. Лебедев, Н.В. Орлова, А.В. Спасский // Известия РАН, Сер. физ., 2016, Т. 80, №3, с. 338.
2. Л.И. Галанина, Н.С. Зеленская, В.М. Лебедев, Н.В. Орлова, А.В. Спасский, С.В. Артемов // Известия РАН, Сер. физ., 2015, Т. 79, №4, с. 557.

**МНОГОЧАСТИЧНЫЕ ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ОБОЙДЕННЫХ ЯДРАХ В ОБЛАСТИ  $A=100-110$  В Р-ПРОЦЕССЕ НУКЛЕОСИНТЕЗА**

<sup>1</sup> Бельшев С.С., <sup>2</sup> Кузнецов А.А., <sup>2</sup> Стопани К.А., <sup>2</sup> Ханкин В.В.

<sup>1</sup>Физический факультет Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991 Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, 119991 Москва, Российская Федерация  
E-mail: hatta@depni.sinp.msu.ru

Описание процесса рождения обойденных ядер в ходе звездного нуклеосинтеза является одной из актуальных проблем ядерной астрофизики. В соответствии с современными представлениями главным механизмом образования ядер из этой группы является так называемый р-процесс, представляющий собой цепочки ядерных реакций и распадов, основную роль в которых играют фотоядерные реакции, происходящие при температурах около 3 ГК в момент гравитационного коллапса при взрыве сверхновой II типа [1]. Теоретический расчет наработки ядер в р-процессе не позволяет воспроизвести распространенности ряда обойденных ядер в веществе Солнечной системы, что принято связывать с отсутствием надежных теоретических моделей и экспериментальных данных по фотоядерным сечениям вблизи порога реакции. В настоящая работа посвящена расчету траекторий р-процесса и итоговых концентраций обойденных ядер в области массовых чисел 100—110 в сверхновой 25M<sub>0</sub> с использованием скоростей протекания астрофизических реакций из библиотеки REACLIB [2], скорректированных на основе данных эксперимента в тормозном пучке ускорителя электронов РТМ-55 [3]. Рассматривается вклад многочастичных фотоядерных реакций, протекающих с вылетом более, чем одного нуклона.

[1] M. Arnould and S. Goriely, *Phys. Rep.* 384, 1-84, (2003).

[2] Cyburt et al., *ApJS* 189, 240 (2010).

[3] A. I. Karev et al., «55 MeV Special Purpose Race-track Microtron Commissioning,» in *XXII Russian Particle Accelerator Conference RuPAC-2010, Protvino, Russia, RuPAC-2010, Contributions to the Proceedings*, p. 316.

**MANIFESTATION OF CLUSTERING IN LOW ENERGY FISSION: NEW RESULTS**

*Kamanin D.V.*<sup>1</sup>, *Pyatkov Yu.V.*<sup>2,1</sup>, *Strekalovsky A.O.*<sup>1</sup>, *Alexandrov A.A.*<sup>1</sup>, *Alexandrova I.A.*<sup>1</sup>, *Goryainova Z.I.*<sup>1</sup>,  
*Mkaza N.*<sup>3</sup>, *Kuznetsova E.A.*<sup>1</sup>, *Malaza V.*<sup>3</sup>, *Strekalovsky O.V.*<sup>1</sup>, *Zhuchko V.E.*<sup>1</sup>,

<sup>1</sup> Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Russia;

<sup>2</sup> National Nuclear Research University “MEPHI”, Moscow, Russia;

<sup>3</sup> University of Stellenbosch, Faculty of Military Science, Military Academy, South Africa

In our previous publications [1, 2] we discussed the manifestations of a new original effect appeared at crossing of the metal foils by fission fragments. We have observed significant mass deficit in the total mass  $M_s$  of the fission fragments detected in coincidence with ions knocked out from the foil. In the light of the results obtained, a fission fragment is supposed to be born in the shape isomer state that looks like di-nuclear system consisting of the magic core and lighter cluster. New information concerning the effect under study was obtained in our recent experiments to be discussed in the report.

References

1. Yu.V.Pyatkov et al., International Symposium on Exotic Nuclei "EXON-2014", Kalaningrad, Russia, 08–13 September 2014. Conference proceedings, Editors: Yu.E.Penionzhkevich, and Yu.G.Sobolev. Published by World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2015. p. 383.
2. Yu.V.Pyatkov et al., *Physics Procedia* 74, 67 (2015).

**ОЦЕНЁННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИИ  ${}^3\text{H}(t,2n){}^4\text{He}$  В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНОЙ ОБЛАСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С УЧЁТОМ ЭЛЕКТРОННОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ**

Таова С.М., Генералов Л.Н., Жеребцов В.А.

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

В библиотеке оценённых и экспериментальных ядерных данных SaBa (РФЯЦ-ВНИИЭФ) [1] создана подбиблиотека Screening, содержащая оценённые значения интегральных сечений основных термоядерных реакций в области низких энергий, полученных с учётом электронного экранирования. В настоящее время вопросу электронного экранирования уделяется большое внимание как в отечественных, так и зарубежных литературных источниках [2,3].

В работе представлены результаты анализа экспериментальных данных по реакции  ${}^3\text{H}(t,2n){}^4\text{He}$ , протекающей в газовой среде [4-7]. Приведён алгоритм описания экспериментальных данных в низкоэнергетической области. Предварительный анализ показал, что потенциал электронного экранирования составляет около 120 эВ. Это значение в несколько раз выше потенциала 40 эВ, указанного в публикации [8]. С полученным потенциалом электронного экранирования рассчитаны значения сечений реакции  ${}^3\text{H}(t,2n){}^4\text{He}$ , начиная с энергий налетающих частиц 100 эВ. По рассчитанным значениям сечений в низкоэнергетической области вычислены скорости реакции. Определены коэффициенты усиления для сечений и скоростей реакций.

Литература

1. Zvenigorodskij A.G., Zherebtsov V.A., Lazarev L.M. et al The Library of Evaluated and Experimental Data on Charged Particles for Fusion Application // Report IAEA-NDS-191, Vienna, 1999.
2. Быстрицкий В.М., Быстрицкий Вит.М., Дудкин Г.Н. и др. // ЖЭТФ. 2014. Т. 146. Вып. 1 (7). С. 65.
3. Spitaleri C., Typel S., Pizzone R.G., et al. // Phys. Rev. C. 2001. V.63. P. 055801.
4. Серов В.И., С.Н. Абрамович С.Н., Моркин Л.А.// Атомн. Энерг. 1977. Т.42. С. 59.
5. Agnew H.M., Lenard W.T., Argo H.V., et al. // Phys. Rev. 1951. V.84. P. 862.
6. Brown R.E., Jarmie N.// Radiat. Eff. 1986. V. 92. P.45.
7. Говоров А.М., Ен Л.Г., Осетинский Г.М. и др. //Отчёт, JINR-P-764, 1961, Zh. Eksp. Teor. Fiz. 42. 383. 62.
8. Typel S., Bliige G., Langanke K., et al. // Z. Phys. A - Hadrons and Nuclei. 1991. V.339. P. 249.

**NUCLEAR REACTION  ${}^{41}\text{K}(\alpha,n){}^{44\text{m}}\text{gSc}$  AND ISOMERIC CROSS SECTION RATIOS**

Chuvilskaya T.V.

Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

The calculations of the excitation functions of high-spin and low-spin isomeric States production in one and the same nucleus as well as the respective isomeric cross section ratios (ICSR) were carried out for reaction  ${}^{41}\text{K}(\alpha,n){}^{44\text{m}}\text{gSc}$ . Measurements of ICSR allow one to obtain reliable information on angular momentum dynamics of a preceding reaction and spin dependence of nuclear level density. This dynamics depends on the properties of a target, projectile and emitted particles. Experimental studies of ICSR produced by reaction  ${}^{41}\text{K}(\alpha,n){}^{44\text{m}}\text{gSc}$  in the  $\alpha$ -particle energy ranges 14–32 MeV were carried out by us earlier using off-beam measurements of induced activity of members of the isomeric pair. Calculations of ICSR for the indicated reaction are performed using the codes EMPIRE-3 and TALYS. For the discussed conditions the values of ICSR calculated by EMPIRE-3 are in disagreement with experimental ones being 20–30 % greater. At higher energies of  $\alpha$ -particles calculated values of isomeric ratios significantly exceed experimental ones. As for the data obtained by use of TALYS code they turn to be in a good agreement with experimental ones over all measured region except the expressive experimental maximum of ICSR at energy 26 MeV.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМИНУКЛОННОЙ СИСТЕМЫ  ${}^6\text{Li} + p$  С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ВЕРСИИ МОДЕЛИ РЕЗОНИРУЮЩИХ ГРУПП**

*Соловьев А.С.<sup>1,2</sup>, Игашов С.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики имени Н.Л. Духова, Москва, Россия;

<sup>2</sup> Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Россия

E-mail: alexander.solovyev@mail.ru

Семиунолонная ядренная система  ${}^6\text{Li} + p$  представляет значительный интерес для ядерной астрофизики. Этот интерес обусловлен тем, что в данной системе протекает реакция  ${}^6\text{Li}(p, \alpha){}^3\text{He}$ , которая при низких астрофизических энергиях ответственна за сторание ядер  ${}^6\text{Li}$  в ходе первичного и звездного нуклеосинтезов. Знание сечения реакции  ${}^6\text{Li}(p, \alpha){}^3\text{He}$  служит одним из источников информации, необходимой для решения ряда астрофизических проблем, включая так называемую проблему “истощения” лития в звездах. Экспериментальное исследование данной реакции при астрофизически важных энергиях оказывается проблематичным из-за наличия кулоновского барьера в системе  ${}^6\text{Li} + p$ . В связи с этим теоретические исследования приобретают особую значимость.

В данной работе система  ${}^6\text{Li} + p$  рассмотрена в рамках микроскопического подхода [1], основанного на алгебраической версии модели резонирующих групп [2]. Вычислено сечение реакции  ${}^6\text{Li}(p, \alpha){}^3\text{He}$  при низких подбарьерных энергиях. Для описания ядерного взаимодействия нуклонов использовался модифицированный потенциал Хазегавы–Нагаты [3], включающий нецентральные спин-орбитальные и тензорные компоненты. Проведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными (см. ссылки в работе [4]) и другими теоретическими расчетами [5, 6].

1. А.С. Соловьев, С.Ю. Игашов, *Сборник тезисов докладов 66-ой международной конференции “Ядро-2016”*, Саратов, Россия, 2016, с. 98.
2. Г.Ф. Филиппов, И.П. Охрименко, *ЯФ* 32, 932 (1980).
3. H. Kanada, T. Kaneko, S. Nagata, and M. Nomoto, *Prog. Theor. Phys.* 61, 1327 (1979).
4. Y. Xu, K. Takahashi, S. Goriely *et al.*, *Nucl. Phys. A* 918, 61 (2013).
5. K. Arai, D. Baye, P. Descouvemont, *Nucl. Phys. A* 699, 963 (2002).
6. V.S. Vasilevsky, F. Arickx, J. Broeckhove and T.P. Kovalenko, *Nucl. Phys. A* 824, 37 (2009).

**ИЗУЧЕНИЕ УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ  
КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА УСТАНОВКЕ «АДРОН-44»**

*<sup>1</sup> Буртебаев Н., <sup>2</sup> Новолодская О.А., <sup>2</sup> Садыков Т.Х., Таут Е.М.*

<sup>1</sup> Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

В работе представлены результаты исследования двухчастичной корреляционной функции в применении к экспериментальным данным, полученным на комплексной установке «АДРОН-44», включающей в себя ионизационный калориметр, рентгеноэмульсионную камеру (РЭК) и сменную мишень. Полученные данные сравниваются с результатами протон-протонных столкновений полученных детектором CMS по широкому диапазону псевдобыстроты  $\Delta\eta$  и азимутального угла  $\Delta\phi$  в эксперименте LHC, CERN. При астрофизических энергиях была сделана попытка сравнить экспериментальные данные с простой кварковой моделью (ПКМ).

Статистика экспериментальных данных, полученных на установке за 2016 год была увеличена и включена в общую базу данных. Таким образом в качестве исходных экспериментальных данных для установки «АДРОН-44» были взяты 13208 событий из которых было отобрано и оцифровано 3411 событий, которые провзаимодействовали в мишени. Далее при отборе семейства гамма-квантов с множественностью  $n \geq 4$  было отобрано 673 события. Семейства гамма-квантов с короткими лавинами в ионизационном калориметре в дальнейший анализ не включались.

На основе ранее разработанного алгоритма, в работе были проведены вычисления псевдобыстрот и азимутальных углов из данных по регистрации частиц космического излучения с плотной мишенью на установке «АДРОН-44». Для обработки зарегистрированных событий, используется написанная подпрограмма ADRON\_44 для построения корреляций в шкале  $\Delta\phi, \Delta\eta$ .

По результатам исследования построено распределение угловых корреляций с использованием двумерных корреляционных функций  $\Delta\eta - \Delta\phi$ . В распределении наблюдаются сложная двумерная структура корреляций с

двумя четко выраженными пиками с размерами по азимуту от  $-0,5$  до  $+2$  и по квазибыстроте – первый пик размером от  $4,6$  до  $2,4$ , второй от  $2,0$  до  $-0,4$ .

Методы исследования, применяемые в данной работе, являются новыми и используются на Большом Адронном Коллайдере (ЛHC, CERN) для определения угловых корреляций, которые обладают множественными характеристиками. Экспериментальные данные, полученные в процессе проведенной работы, могут быть полезны при объяснении физической природы, впервые полученного явления протяженной структуры. Поэтому, исследования проводимые, в этом направлении актуальны и могут внести свой вклад в изучение механизма адронизации и возможных коллективных эффектов, вследствие большой плотности частиц.

Для выяснения ситуации с плотностью частиц на единицу быстроты мы привлекли к анализу все зарегистрированные в РЭК семейства независимо от их сопоставления с калориметром. Всего было отобрано 673 событий с  ${}^{\text{A}}\text{Eg}^{34}$  ТЭВ и  $\text{Ng}^{34}$ .

Из корреляционных данных зависимости  $\text{DN}/\text{Dумах}$  от  $\text{Dумах}$  следует, что повышенная плотность частиц в основном наблюдается в таких семействах, в которых гамма-кванты разлетаются под близкими углами, то есть коллимированным пучком. Поэтому рост плотности частиц обусловлен не столько увеличением числа гамма-квантов в семействе сколько уменьшением наблюдаемого интервала быстрот  $\text{Dумах}$ . Наличие высокого энергетического порога регистрации гамма-квантов в РЭК неизбежно ведет к потере фотонов, вылетающих под большими углами, что в свою очередь искусственно сжимает интервал быстрот семейства  $\text{Dумах}$  и увеличивает значение плотности частиц на интервал быстроты  $\text{DN}/\text{Dумах}$ .

Кроме того, из той же корреляционной зависимости  $\text{DN}/\text{Dумах}$  от  $\text{Dумах}$  следует, что распределение  $\text{DN}/\text{Dу}$  имеет монотонный характер без выделенных групп событий, то есть не подтверждает гипотезы авторов о существовании SH-квантов.

## ПОИСК РЕДКИХ КАНАЛОВ РЕАКЦИИ С ИСПАРЕНИЕМ ПРОТОНОВ

*Тезекбаева М.С., Еремин А.В.*

Объединенный институт ядерных исследований, Государственный университет «Дубна»,  
г. Дубна, Российская Федерация

Более 20 лет в лаборатории ядерных реакций проводятся эксперименты по синтезу и изучению свойств радиоактивного распада изотопов сверхтяжелых элементов ( $Z \geq 110$ ). В основном используются реакции полного слияния ускоренного пучка  ${}^{48}\text{Ca}$  с мишенями тяжелее урана. Изотопы сверхтяжелых элементов (СТЭ) синтезируются в реакциях полного слияния тяжелых ионов с ядрами мишени с последующим испарением нейтронов из возбужденного составного ядра. Реакции полного слияния с испарением нейтронов могут использоваться для синтеза небольшого числа изотопов СТЭ, что обусловливается наличием ограниченного количества изотопов трансурановых элементов, используемых в качестве мишени. Для получения более нейтронно-избыточных изотопов сверхтяжелых элементов необходимо использовать экзотические реакции с испарением протонов и нескольких нейтронов. Например, в реакции  ${}^{48}\text{Ca}+{}^{248}\text{Cm}$  через  $\text{p}3\text{n}$  канал получается  ${}^{292}\text{Mc}_{115}$ , тогда как в прямой реакции  ${}^{48}\text{Ca}+{}^{243}\text{Am}$  возможно получить только изотопы  ${}^{288}\text{Mc}_{115}$ ,  ${}^{289}\text{Mc}_{115}$ .

Из литературы известен только один эксперимент, где проводился поиск  $\text{p}3\text{n}$  канала с регистрацией  ${}^{256}\text{Md}$ , полученного из реакции  ${}^{242}\text{Pu}+{}^{18}\text{O} \rightarrow {}^{260}\text{Md}^*$ . На сепараторе ВАСИЛИСА с использованием циклотрона У400 ЛЯР ОИЯИ был проведен ряд экспериментов в области более легких ядер с использованием реакции  ${}^{22}\text{Ne}+{}^{194,196,198}\text{Pt} \rightarrow {}^{216,218,220}\text{Ra}^*$  [1], где в  $\text{xп}$  канале синтезировались изотопы Ra, а в  $\text{рхп}$  канале – изотопы Rn.

В последнее время, с использованием пучков  ${}^{50}\text{Ti}$  и мишени  ${}^{164}\text{Dy}$  исследовалось сечение образования изотопов в  $\text{p}3\text{n}, \text{p}4\text{n}$  канале, соотношение сечений между каналами  $\text{xп}$  и  $\text{рхп}$  в зависимости от энергии пучка составляет порядка  $10/20/30$ . В этом году в области трансфермиевых ядер был проведен первый эксперимент по поиску каналов с испарением протонов. В реакции полного слияния  ${}^{50}\text{Ti}+{}^{209}\text{Bi} \rightarrow {}^{259}\text{Db}^*$  при энергии возбуждения соответствующей испарению двух нейтронов был обнаружен  $\text{p}0\text{n}$  канал, соотношение сечений порядка 500.

В ноябре 2016 года, в ЛЯР ОИЯИ, проводился эксперимент при энергии, соответствующей испарению четырех нейтронов или  $\text{p}2\text{n}$  каналов.

1. Андреев А.Н., Богданов Д.Д., Еремин А.В. и др. Ширины распада высоковозбужденных ядер Ra и возможности их описания в статистической модели возбуждения компаунд ядер // Краткие сообщения ОИЯИ. 1995, №4 [72] –95 стр. 43–62.

**ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ В РЕАКЦИЯХ АНТИПРОТОН-ПРОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ И В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕЗАРЯДКИ ПРОТОНОВ И АНТИПРОТОНОВ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 22.4 ГЭВ/С**

Боос Э.Г., Темурлиев Т.\*, Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А.

Физико-технический институт, г. Алматы, Казахстан  
\*temturt@mail.ru

В работе исследуется образование резонансов многочастичных систем с суммарным нулевым зарядом в реакциях антипротон-протонной аннигиляции и в реакциях перезарядки протонов и антипротонов для множественностей  $n=8, n \geq 10$  при импульсе антипротона 22.4 ГэВ/с.

Взаимодействия антипротонов с протонами регистрировались на двухметровой водородной пузырьковой камере «Людмила» ОИЯИ при экспонировании пучком антипротонов на Серпуховском ускорителе У-70 (Россия).

В процессах множественной генерации частиц основным методом обнаружения резонансов является анализ распределений по эффективной массе групп частиц. Эффективная масса  $n$  – частиц определяется выражением

$$M_{эфф} = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n E_i\right)^2 - \left(\sum_{i=1}^n \vec{p}_i\right)^2},$$

где  $\sum_{i=1}^n E_i$  и  $\sum_{i=1}^n \vec{p}_i$  – соответственно суммарная энергия и векторная сумма импульсов рассматриваемых частиц.

В распределении эффективных масс  $M(4\pi^+4\pi^-)$  наблюдаются нерегулярности в районе масс резонансов  $\psi$  (3686),  $\psi$  (3770),  $\psi$  (4040),  $\psi$  (4160),  $\psi$  (4415), а в распределениях эффективных масс  $M(5\pi^+5\pi^-)$  и  $M(6\pi^+6\pi^-)$  заметны пики в районе масс  $\psi$  (4160),  $\psi$  (4415), а также заметны нерегулярности при значениях  $M=4675$ ,  $M=4975$  и  $M=5275$  МэВ/с<sup>2</sup>.

В реакциях перезарядки протонов и антипротонов распределения эффективных масс  $M(4\pi^+4\pi^-)$  и  $M(5\pi^+5\pi^-)$  обрываются на значениях  $M_{эфф} \sim 3.5$  и  $M_{эфф} \sim 4.0$  ГэВ/с<sup>2</sup> соответственно, а в реакциях антипротон-протонной аннигиляции распределения  $M(4\pi^+4\pi^-)$  и  $M(5\pi^+5\pi^-)$  достигают максимально возможного значения  $M_{эфф} \sim 6.6$  ГэВ/с<sup>2</sup>. Такой результат, вероятно, связан с взаимодействиями всех валентных кварков с антикварками соударяющихся частиц. Можно высказывать гипотезу о том, что валентные кварки протона, взаимодействуя с валентными антикварками антипротона, адронизируются в систему пионов через образование тяжелых состояний типа  $J/\psi$ , распадающихся на нейтральную систему  $\pi$ -мезонов.

**ANALYSIS OF THE ONE-NUCLEON TRANSFER REACTIONS ON <sup>16</sup>O NUCLEUS AND ANC FOR THE MIRROR CONFIGURATIONS <sup>17</sup>F → <sup>16</sup>O + p AND <sup>17</sup>O → <sup>16</sup>O + n**

<sup>1</sup>Tojiboyev O.R., <sup>1</sup>Artemov S.V., <sup>1</sup>Kayumov M.A., <sup>1</sup>Karahodzhaev A.A., <sup>1</sup>Juraev O.Sh., <sup>1</sup>Ergashev F.Kh.,  
<sup>2</sup>Burtebayev N.

<sup>1</sup>Institute of Nuclear Physics, Uzbekistan Academy of Sciences,  
<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan.

The main goal of this work is to analyze the nucleon exchange processes between nucleus <sup>16</sup>O and nuclei <sup>17</sup>O, <sup>17</sup>F, and to compare the extracted values of ANC for single-particle configuration of nucleon from different reactions at different relative energies. For that we use combination of all available experimental data measured by us and literature data for neutron transferring <sup>16</sup>O(d,p)<sup>17</sup>O, <sup>17</sup>O(p,d)<sup>16</sup>O, <sup>17</sup>O(d,t)<sup>16</sup>O and proton transferring <sup>16</sup>O(d,n)<sup>17</sup>F, <sup>16</sup>O(<sup>3</sup>He,d)<sup>17</sup>F reactions. Choice of these reactions is conditioned by nuclear-astrophysical importance of obtaining ANC which can be used for calculation of the radiative proton capture <sup>16</sup>O(p,γ)<sup>17</sup>O. The interest also introduces A structure of the first excited state of nuclear <sup>17</sup>F is also of interest, which admittedly appears the proton halo-state [1,2]. Also it is interesting to check an existence of a strong correlation between the values of the ANCs of mirror nuclear states which is discussed last years [3,4] for <sup>17</sup>O → <sup>16</sup>O+n and <sup>17</sup>F → <sup>16</sup>O+p single-particle configurations.

The analysis of the reactions <sup>16</sup>O(d,n)<sup>17</sup>F, <sup>16</sup>O(<sup>3</sup>He,d)<sup>17</sup>F and <sup>16</sup>O(d,p)<sup>17</sup>O has been carried out in the framework of the modified of the distorted waves method (MDWBA) [5-7]. The spectroscopic factors and squares of ANC were obtained for the mirror ground states of <sup>17</sup>O - <sup>17</sup>F nuclei, as well as for the excited state ( $E^* = 0.495$  MeV,  $\frac{1}{2}^+$ ) of the <sup>17</sup>F nucleus. Therefore, the uncertainties connected with choice of the geometric parameters (parameter of radius  $r_0$  and

diffuseness  $a$ ) of the Woods-Saxon potential used for calculation of the bound state wave functions and ambiguities of the optical parameters are reduced, being within the errors for the experimental differential cross sections analyzed.

The value of ANC for  $^{17}\text{F}_{g.s.} \rightarrow ^{16}\text{O}+p$  ( $^{17}\text{F}_{exc.s.} \rightarrow ^{16}\text{O}+p$ ) obtained from analysis of reactions  $^{16}\text{O}(d,n)^{17}\text{F}$ ,  $^{16}\text{O}(^3\text{He},d)^{17}\text{F}$  is equal to  $0.85 \text{ fm}^{-1}$  ( $5950 \pm 390 \text{ fm}^{-1}$ ) and for  $^{17}\text{O}_{g.s.} \rightarrow ^{16}\text{O}+n$  from reaction  $^{16}\text{O}(d,p)^{17}\text{O}$  is equal to  $0.70 \text{ fm}^{-1}$ . Here is also shown that the relation  $b^2_n/b^2_p = C^2_n/C^2_p$  holds true for the obtained phenomenological values of the ANC squares for the ground states of the nuclei  $^{17}\text{O}$  -  $^{17}\text{F}$ .

1. Liu Zu-Hua, Zhang Xi-Zhen, Zhang Huan-Qiao. //Chin. Phys. Lett., 2003. vol. 20, # 7. p. 1017.
2. Yu-Jie Liang et al. // Chin. Phys. Lett., 2005. vol. 22. # 5. - p. 1086.
3. Nie G.K., Artemov S.V. // [Bull. Russ. Acad. of Sci.: Physics](#), 2007. vol. 71, Issue 12. p.1762.
4. Titus L.J., Capel P., Nunes F.M. // Phys. Rev. C, 2011. vol.84, Issue 3, id.035805.
5. R. Gulamov, A. M. Mukhamedzhanov, G. K. Nie, // Phys. At. Nucl. 1995, 58, 1689
6. A.M.Mukhamedzhanov, H.L. Clark, C.A. Gagliardi et al, // Phys. Rev. 1997, C 56, 1302.
7. С.В. Артемов, Э.А. Запаров, Г.К. Ни, // Изв. РАН, сер.физ., 2003, Т.67 №11 с.1577.

### УГЛОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В РЕАКЦИЯХ АНТИПРОТОН – ПРОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПРИ 32 ГЭВ/С

Боос Э.Г., Темиралиев Т. \*, Избасаров М., Жаутыков Б.О., Самойлов В.В., Покровский Н.С., Турсунов Р.А.

Физико-технический институт, Алматы, Казахстан

\* temturt@mail.ru

На большом адронном коллайдере (БАК) в экспериментах на вторичных пучках протонов и ядер наблюдались дальние корреляции пар частиц при одинаковых азимутальных углах, но резко отличающихся по величине квазибыстрот. В этой связи представляет интерес анализ экспериментальных данных с предельно большой множественностью ( $n=8, 10, \geq 12$ ) в антипротон – протонной аннигиляции при 32 ГэВ/с. Экспериментальные данные по взаимодействиям антипротонов с протонами получены в рамках Международного сотрудничества на французской водородной камере «Мирабель» при экспонировании пучков антипротонов на Серпуховском ускорителе У-70 (Россия).

Проведен анализ зависимости разности азимутальных углов  $\varphi_{ik} = \varphi_i - \varphi_k$  между  $i$ -той и  $k$ -ой частицами и быстротами  $\Delta y = y_i - y_k$  (где  $i = 1, 2, \dots, n, k = 1, 2, \dots, n; i \neq k$  при числе вторичных частиц  $n$ ). Азимутальный угол  $\varphi$  вторичной частицы определяется как угол между начальной плоскостью, содержащей поперечный импульс вторичных частиц и импульс первичной частицы с плоскостью, перпендикулярной направлению движения первичной частицы, а быстрота частицы вычисляется по формуле  $Y = \frac{1}{2} \ln \frac{E + P_{||}}{E - P_{||}}$ , где

$E, P$  – энергия и продольный импульс.

Анализ зависимости разности азимутального угла  $\Delta\varphi$  двух частиц от разности быстрот  $\Delta y$  этих частиц для множественностей  $n = 8, n = 10, n \geq 12$  показал, что наблюдаются корреляции пар частиц при  $\Delta\varphi = 0$ ,  $\Delta y = 0$ , но не наблюдаются дальние парные корреляции заряженных частиц в интервале  $\Delta y = 2 \div 4$ , обнаруженные в экспериментах БАК.

Распределение  $\Delta y$  описывается функцией Гаусса, а распределение  $\Delta\varphi$  имеет симметричный вид,

описывающийся линейной зависимостью вида  $\frac{\Delta N}{N\Delta\varphi} = a + b\varphi$ .



**ВЛИЯНИЕ WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ ВЫСТРОЕННЫХ ЯДЕР НА УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ИХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕЛЕНИЯ**

Титова Л.В. <sup>1</sup>, Кадменский С.Г. <sup>1</sup>, Бунаков В.Е. <sup>2</sup>

1 Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

2 Петербургский институт ядерной физики, Гатчина, Россия

E-mail: titova\_lv@phys.vsu.ru

Анизотропии в угловых распределениях фрагментов деления выстроенных ядер-мишеней резонансными нейтронами были экспериментально измерены в работах [1-2]. Теоретическое описание указанных анизотропий было основано на гипотезе О.Бора [3], что фрагменты деления вылетают строго по или против направления оси симметрии делящегося ядра, которая из-за принципа неопределенности квантовой механики приводит к возникновению бесконечно больших значений относительных орбитальных моментов фрагментов деления  $l$  и, следовательно, может реализоваться лишь приближенно. В работах [4-5] в рамках квантовой теории деления показано, что источником возникновения больших, но конечных значений орбитальных моментов  $l$  фрагментов низкоэнергетического деления ядер являются поперечные нулевые wriggling-колебания делящегося ядра вблизи его точки разрыва, проанализированные в работе [6]. При использовании представлений работ [1-2,4-5] угловое распределение фрагментов деления выстроенных ядер резонансными нейтронами при учете wriggling-колебаний может быть построено в виде:

$$W(\theta) = 1 + B_2 f_2 P_2(\cos \theta), \quad (1)$$

где  $f_2$  - параметр выстроенности ядер-мишеней [1-2],  $P_2(\cos \theta)$  - полином Лежандра, зависящий от угла  $\theta$  между направлением вылета фрагмента деления и осью ориентации делящегося ядра, а коэффициент анизотропии  $B_2$  имеет структуру  $B_2 = B_2^0 D_2(C_w)$ , где величина  $B_2^0$  определяется в работах [1-2], а коэффициент  $D_2(C_w)$ , учитывающий отклонение углового распределения (1) от аналогичного углового распределения [1-2], рассчитываемого при использовании гипотезы О.Бора [3], когда  $D_2^0(C_w) = 1$ , имеет вид

$$D_2(C_w) = \sum_{l,l'} \psi_l(C_w) \psi_{l'}(C_w) \sqrt{(2l+1)(2l'+1)} (C_w^{20})_{ll'00}^2 / 5. \quad (2)$$

В формуле (2)  $\psi_l(C_w)$  - нормированная амплитуда распределения относительных орбитальных моментов  $l$  фрагментов деления, связанная с wriggling-колебаниями и представляемая как  $\psi_l(C_w) = \sqrt{l/C_w} \exp(-l^2/(4C_w))$  [5], где величина  $C_w$  определяется через параметр жесткости  $K_w$  и массовый параметр  $M_w$  для wriggling-колебаний как  $C_w = \hbar \sqrt{K_w M_w}$  [6]. Коэффициент  $D_2(C_w)$  возрастает с ростом величины  $C_w$ , определенной в единицах  $\hbar^2$ , как  $D_2(10) = 0.835$ ,  $D_2(50) = 0.964$ ,  $D_2(100) = 0.982$ ,  $D_2(150) = 0.988$ , стремясь к пределу О.Бора  $D_2 = D_2^0 = 1$  при  $C_w \rightarrow \infty$ . Сравнение экспериментальных относительных погрешностей измеренных коэффициентов анизотропии  $B_2$  в интервале энергий нейтронов (0.735-2.840) эВ для ядра  $^{233}\text{U}$  [1] и в интервале (1.14 - 12.39) эВ для ядра  $^{235}\text{U}$  [2] с теоретическими значениями относительных отклонений указанных коэффициентов от предела О.Бора, позволяет оценить область значений параметра  $C_w \leq 75$  и  $C_w \leq 40$  для ядер  $^{233}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ , соответственно, для которых отклонения углового распределения (1) от аналогичного распределения, построенного с использованием гипотезы О.Бора, могут быть обнаружены при анализе экспериментальных угловых распределений. Отсюда следует вывод, что полученные в работе [5] при использовании методов работы [6] значение коэффициента  $C_w = 120$ , попадающих в область, где исчезает чувствительность к отклонениям от гипотезы О.Бора, согласуется с результатами анализа угловых распределений, проведенного в работах [1-2].

Работа поддержана грантом РФФИ (15-02-03402-а).

6. Kuiken R., Pattenden N.J., Postma H. // Nucl. Phys. A. 1972. V. 190. P. 401.
7. Kuiken R., Pattenden N.J., Postma H. // Nucl. Phys. A. 1972. V. 196. P. 389.
8. Bohr A. and Mottelson B., *Nuclear Structure* (W.A. Benjamin, NY, 1977) V. 2.
9. Кадменский С.Г., Любашевский Д.Е., Титова Л.В. // Изв. РАН, Сер. Физ. 2015. Т. 79. С. 975.
10. Кадменский С.Г., Бунаков В.Е., Любашевский Д.Е. принято к печати в ЯФ (2017).
11. Nix J.R., Swiatecki W.J. // Nucl. Phys. A. 1965. V. 71. P.1.

**Р-НЕЧЕТНЫЕ АСИММЕТРИИ В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ФРАГМЕНТОВ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ С УЧЕТОМ WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ЯДРА**

Кадменский С.Г., Титова Л.В., Кострюков П.В.

Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

E-mail: kadmensky@phys.vsu.ru

Теоретическое объяснение природы  $P$ -нечетных асимметрий, связанных с несохранением четности, в дифференциальных сечениях реакций двойного деления неполяризованных ядер-актинидов поляризованными тепловыми нейтронами [1-2] дано в работе [3], где учитывалась интерференция делительных амплитуд  $s$ -нейтронных резонансов и примешиваемых к ним слабым взаимодействием  $p$ -нечетных резонансов тем же спином. В этой же работе [3] использовалась гипотеза О.Бора [4], согласно которой фрагменты деления вылетают строго коллинеарно относительно направления оси симметрии делящегося ядра, что в силу принципа неопределенности квантовой механики приводит к возникновению бесконечно больших значений относительных орбитальных моментов  $l$  фрагментов деления. Поэтому гипотеза [4] может реализоваться в экспериментах лишь приближенно. Используя представление о том, что источником возникновения больших значений относительных орбитальных моментов фрагментов спонтанного и вынужденного низкоэнергетического деления ядер являются [5] поперечные нулевые wriggling-колебания делящегося ядра вблизи его точки разрыва, введенные в работе [6],  $P$ -нечетные асимметрии в дифференциальном сечении анализируемой реакции представляются в виде  $d\sigma_{nr}^{odd}/d\Omega = \alpha^{odd} P_1(\cos\theta)$ , где  $P_1(\cos\theta)$  - полином Лежандра, зависящий от угла  $\theta$  между направлением вылета легкого фрагмента деления и вектором поляризации нейтрона,  $\alpha^{odd} = D_1(C_w)\alpha_0^{odd}$ , причем  $\alpha_0^{odd}$  - коэффициент  $P$ -нечетной асимметрии, построенный при использовании гипотезы О. Бора [4], а коэффициент  $D_1(C_w)$  имеет вид

$$D_1(C_w) = \sum_{l'} \psi_l(C_w) \psi_{l'}(C_w) (C_{l'00}^{10})^2 \sqrt{(2l+1)(2l'+1)}/3. \quad (1)$$

В формуле (1)  $\psi_l(C_w)$  - нормированная амплитуда распределения относительных орбитальных моментов  $l$  фрагментов деления, связанная с wriggling-колебаниями и представляемая как  $\psi_l(C_w) = \sqrt{l/C_w} \exp(-l^2/(4C_w))$  [5], где величина  $C_w$  определяется через параметр жесткости  $K_w$  и массовый параметр  $M_w$  для wriggling-колебаний как  $C_w = \hbar\sqrt{K_w M_w}$  [6]. Из формулы (1) следует, что коэффициенты  $D_1(C_w) \leq 1$  для любых значений  $C_w$  (в единицах  $\hbar^2$ ) и меняются как  $D_1(10) = 0.953$ ,  $D_1(50) = 0.989$ ,  $D_2(100) = 0.994$ , стремясь в пределе О.Бора к значению  $D^0 = D_1(C_w \rightarrow \infty) = 1$ . Отклонения указанных коэффициентов  $D_1(C_w)$  от коэффициентов  $D_1^0$  для порядка поляризации  $Q=1$  составного ядра имеют меньшие значения, чем отклонения аналогичных коэффициентов  $D_2(C_w)$  от коэффициентов  $D^0$  для порядка выстроенности  $Q=2$ , используемых при анализе анизотропий в угловых распределениях фрагментов деления выстроенных ядер резонансными нейтронами. Сравнение относительных погрешностей экспериментальных измерений коэффициентов асимметрии  $\alpha^{odd} = (3.67 \pm 0.06)$  для ядра  $^{233}\text{U}$  [2] и  $\alpha^{odd} = (0.84 \pm 0.06)$  для ядра  $^{235}\text{U}$  [2] с теоретическими значениями относительных отклонений указанных коэффициентов от предела О.Бора  $\alpha_0^{odd}$ , позволили получить оценку областей значений параметра  $C_w \leq 30$  и  $C_w \leq 15$  для ядер  $^{233}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ , соответственно, для которых отклонения коэффициента асимметрии  $\alpha^{odd}$  от аналогичного коэффициента  $\alpha_0^{odd}$  могут быть обнаружены при анализе экспериментальных асимметрий в угловых распределениях. Работа поддержана грантом РФФИ (15-02-03402-а).

12. Данилян Г.В. и др. // Письма ЖЭТФ. 1977. Т. 26. С. 68.
13. Алфименков В.П. и др. // ЯФ. 1995. Т. 58. С. 799.
14. Сушков О.П., Фламбаум В.В. // УФН. 1982. Т. 136. вып. 1. С. 3.
15. Bohr A. and Mottelson B., *Nuclear Structure* (W.A. Benjamin, NY, 1977) V. 2.
16. Кадменский С.Г., Любашевский Д.Е., Титова Л.В. // Изв. РАН, Сер. Физ. 2015. Т. 79. С. 975.
17. Nix J.R., Swiatecki W.J. // Nucl. Phys. A. 1965. V. 71. P.1.

**ALGEBRAIC METHODS FOR DESCRIBING THE ELASTIC SCATTERING PROCESSES WITH HIGH-SPIN STATES**

Burkova N.A. <sup>1</sup>, Tkachenko A.S. <sup>1,2</sup>, Beisenov B.U. <sup>1,2</sup>, Mukaeva A.R. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup>V.G. Fesenkov Astrophysical Institute, Almaty, the Republic of Kazakhstan

For practical calculations of the differential cross sections of scattering processes in a wide energy range enough to consider elastic channels, that is, with good accuracy to take into account only the spin-orbital potential  $V_{ls}$ , neglecting *spin-spin* interaction. In this case, the matrix of the amplitude of transition  $M$  is written as follows [1]:

$$M_{svv'}(\theta) = \sqrt{\pi}k^{-1} [f_c(\theta)\delta_{vv'} + i \sum_{J\ell} (2\ell+1)^{1/2} C_{sv\ell 0}^{Jv} C_{sv'\ell m}^{Jv} \exp(2i\sigma_\ell) (1-U_{s\ell}^{J\pi}) Y_\ell^m(\theta, 0)]. \quad (1)$$

Differential cross section for elastic scattering in a system of two particles with spin structure  $\vec{1} + \vec{1}$  taking into account the spin-orbit interaction appears as:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(\theta) = \frac{3}{8} \frac{d\sigma_t}{d\Omega} + \frac{5}{8} \frac{d\sigma_q}{d\Omega}, \quad (2)$$

where the indices  $t$  and  $q$  belong to *triplet* and *quintet* states of scattering in the total spin channel  $S=1$  and  $S=2$ , respectively.

Let us present the *new version* for the matrix element (1) squared by modulus. As a first step the following compact expression is suggested:

$$M_{svv'}(\theta) = \sum_{J\ell m} C_{sv\ell 0}^{Jv} C_{sv'\ell m}^{Jv} A_{J\ell}^s Y_{\ell m}(\theta, 0), \quad (3)$$

$$A_{J\ell}^s = \frac{\sqrt{\pi}}{k} \begin{cases} f_c(\theta) + i(2\ell+1)^{1/2} \cdot e^{2i\sigma_\ell} (1-U_{s\ell}^J), & \text{if } v = v'; \\ i(2\ell+1)^{1/2} \cdot e^{2i\sigma_\ell} (1-U_{s\ell}^J), & \text{if } v \neq v'; \end{cases} \quad (4)$$

While using the recoupling scheme for the angular momentums [2], and introducing the *intermediate momentum*  $\kappa$  we arrived to the following result:

$$C_{sv\ell 0}^{Jv} C_{sv'\ell m}^{Jv} = \sum_{\kappa m} (-1)^{\kappa+J-v'} (2J+1) C_{svs-v'}^{\kappa m} C_{\ell 0 \ell m}^{\kappa m} \begin{Bmatrix} s & s & \kappa \\ \ell & \ell & J \end{Bmatrix}. \quad (5)$$

Now we may obtain the matrix element. Using (4) and (5) the new representation is of the form:

$$M_{svv'}(\theta) = \sum_{\kappa J \ell m} (-1)^{J+s} (2J+1) \sqrt{\frac{2\kappa+1}{2s+1}} C_{\kappa m s v'}^{\kappa m} C_{\ell 0 \ell m}^{\kappa m} \begin{Bmatrix} s & s & \kappa \\ \ell & \ell & J \end{Bmatrix} A_{J\ell}^s Y_{\ell m}(\theta, 0). \quad (6)$$

Let us turn now to the construction of the differential cross section basing on the  $M_{svv'}$  matrix. According the general quantum mechanical rules matrix  $M_{svv'}$  should be squared by modulus, then summing by  $s, v, v'$  quantum numbers should be done, and final expression should be averaged by the spin of particles in initial scattering channel. Final expression for the differential cross section has the following algebraic form:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{(2s_1+1)(2s_2+1)} \sum_{s\kappa} \left( \frac{2s+1}{2\kappa+1} \right)^2 \left| \sum_{J\ell m} (-1)^J \Pi_{JJ} C_{\ell 0 \ell m}^{\kappa m} \begin{Bmatrix} s & s & \kappa \\ \ell & \ell & J \end{Bmatrix} A_{J\ell}^s Y_{\ell m}(\theta, 0) \right|^2. \quad (7)$$

It should be noted, that this expression for the differential cross section is of the *universal* form, and may be applied for any elastic scattering processes. We see some advantage of obtained formula in case of direct programming. In addition we want to give the limiting conditions on the new introduced in (5) momentum  $\kappa: 0 \leq \kappa \leq 2s$  and  $0 \leq \kappa \leq 2\ell$ .

In particular case of declared channel spin structure  $\vec{s} = \vec{1} + \vec{1}$  we have the following variant for the differential cross section:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{4} \sum_{s\kappa} \frac{(2s+1)^2}{2\kappa+1} \left| \sum_{J\ell m} (-1)^{J+\ell} \Pi_{JJ} \Pi_\ell^{-1} C_{\ell 0 \kappa m}^{\ell m} \begin{Bmatrix} \ell & s & J \\ s & \ell & \kappa \end{Bmatrix} A_{J\ell}^s Y_{\ell m}(\theta, 0) \right|^2. \quad (8)$$

Present results would be applied for the phase shift analysis of elastic scattering data for the high channel spin states.

References:

1. Brown L., Stainer E., Arnold L.G. and Seyler R.G. Polarization and phase shifts in  ${}^7\text{Li}(p,p){}^7\text{Li}$  from 0.4 to 0.25 MeV and the structure of  ${}^8\text{Be}$ . – Nucl. Phys. – 1973. – Vol. A206. – P. 353-373.
2. Varshalovich D.A., Moskalev A.N., Khersonskii V.K. Quantum Theory of Angular Momentum. NY: Word Scientific, 1988. 524 p.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ S-ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$  В ДВУХЧАСТИЧНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Турсунов Э.М., Туракулов С.А., Кудратов Х.Н.

Институт ядерной физики АН РУз, 100214, Ташкент, Узбекистан

Реакции радиационного захвата  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$  играют важную роль в ядерной астрофизике [1,2]. Обе эти реакции важны для первичного нуклеосинтеза, в частности, для решения так называемой проблемы  ${}^6\text{Li}/{}^7\text{Li}$  [3]. Кроме этого, реакция  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  представляет интерес при изучении звездного нуклеосинтеза, включая процессы, происходящих в Солнце, поскольку она является отправной точкой для второй и третьей цепей рр-цикла водородного горения. По этим причинам экспериментальный интерес, возникший с середины прошлого века [4, 5], не уменьшается до сих пор [6, 7].

Более того, надо отметить, что экспериментальное измерение S-факторов реакций с заряженными частицами при низких энергиях оказывается затруднительным и весьма ненадежным из-за наличия кулоновского барьера. Это обуславливает важную роль теоретических моделей, позволяющих рассчитывать S-фактор в труднодоступной для эксперимента области энергий.

Цель настоящей работы – детальный теоретический анализ астрофизического S-фактора реакций радиационного захвата  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$  в модели двух тел на основе  $\alpha$ - ${}^3\text{He}$  и  $\alpha$ - ${}^3\text{H}$ -потенциалов простой гауссовой формы, правильно описывающих фазовые сдвиги в  $S_{1/2}, P_{1/2}, P_{3/2}, D_{3/2}, D_{5/2}, F_{5/2}, F_{7/2}$ -парциальных волнах, а также энергию связи и асимптотические нормировочные коэффициенты (АНК) основного  $P_{3/2}$  и первого возбужденного  $P_{1/2}$  (связанного) состояний  ${}^7\text{Be}$ . Мы исходим из эмпирических значений АНК из работы [8], которые были извлечены из анализа экспериментальных данных путем экстраполяции в область астрофизических энергий.

При вычислении астрофизического S-фактора использовалось известное выражение [9, 10]:

$$S(E) = \sigma(E)E \exp(2\pi\eta) \quad (1)$$

где  $\sigma$  - полное сечение процесса радиационного захвата;  $E$  - энергия частиц в системе центра масс входного канала. Полное сечение радиационного захвата  $\sigma(E)$  в потенциальной кластерной модели (ПКМ) выражается [9, 10]:

$$\sigma(E) = \sum_{J,\lambda} \sigma_{J,\lambda}(E),$$

$$\sigma_{J,\lambda}(E) = \frac{8\pi k_\gamma^{2\lambda+1}}{\hbar^2 q^3} \cdot \frac{\mu}{(2S_1+1)(2S_2+1)} \cdot \frac{(\lambda+1)}{\lambda[(2\lambda+1)!!]^2} C_S^2 \sum_{M_i, M_f} |\langle \Psi_f \| M_{\lambda m}(E) \| \Psi_i \rangle|^2. \quad (2)$$

Здесь  $q$ -волновое число относительного движения кластеров,  $\mu$  - приведенная масса,  $S_1, S_2$  - спины,  $k_\gamma$  - волновое число фотона,  $\lambda$  - мультипольность и она принимает значение  $\lambda=1$  или  $\lambda=2$  соответственно для  $E1, M1$  и  $E2$  переходов,  $\Psi_i$  и  $\Psi_f$  - волновые функции входного и выходного каналов. В приведенном выражении для сечения спектроскопический фактор  $C_S^2$  равен единице, как это принято в работе [9, 10].

Таблица 1. Параметры потенциалов  $V_D$  и  $V_M$  с рассчитанными энергиями связи и АНК.

${}^{2S+1}L_J$	$V_D$ [11]			
	$V_0$ , МэВ	$\alpha$ , фм <sup>-2</sup>	$\epsilon$ , МэВ	$C$ , фм <sup>-1/2</sup>
${}^2P_{3/2}$	-83.589554	0.15747	1.58495	4.34
${}^2P_{1/2}$	-81.815179	0.15747	1.16087	3.71
$V_M$				
${}^2P_{3/2}$	-75.346	0.1399	1.58664	4.80
${}^2P_{1/2}$	-76.910	0.1462	1.16075	3.94

В Таблице 1 приведены параметры общего исходного центрального Гауссового потенциала  $V(r) = V_0 \exp(-\alpha r^2)$  для систем  $\alpha$ - ${}^3\text{He}$  и  $\alpha$ - ${}^3\text{H}$  из работы [11] в парциальных волнах  $P_{1/2}, P_{3/2}$ . Как видно из таблицы, этот потенциал недооценивает эмпирические значения АНК  $C_{3/2} = 4.80$  фм<sup>-1/2</sup> и  $C_{1/2} = 3.94$  фм<sup>-1/2</sup>, для связанных состояний  ${}^7\text{Be}(3/2^-)$  и  ${}^7\text{Be}(1/2^-)$  соответственно [8], хотя правильно описывает энергии связи  $\epsilon$  и фазовые сдвиги.

В таблице также приведены параметры модифицированного потенциала  $V_M$  в каждой парциальной  $P$ -волне, который правильно описывает АНК в дополнение к энергии связи и фазовым сдвигам. Кулоновская часть потенциала выбрана как в работе [11].

При решении уравнения Шредингера использован алгоритм Нумерова, погрешность которого имеет порядок  $O(h^6)$ . Такая высокая точность позволяет получить волновые функции, которые прекрасно согласуются с известной асимптотикой в каждой парциальной волне. Включены вклады  $E1$ ,  $E2$  электрических переходов и  $M1$  магнитного перехода. Показано, что основной вклад при низких энергиях дает  $E1$ -переход,  $E2$ -переход отвечает за резонансную ( $7/2^-$ ) область энергии, а вклад  $M1$  магнитного перехода оказывается незначительным.

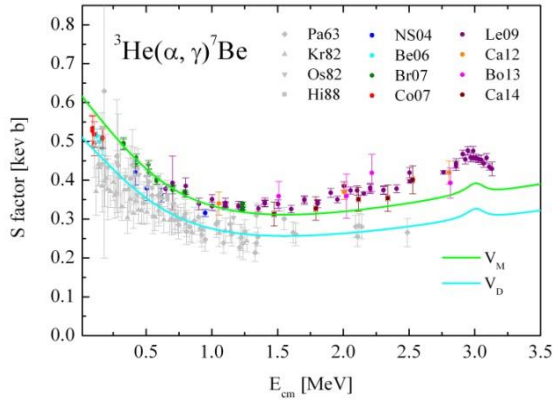


Рис. 1. Астрофизический  $S$ -фактор реакции захвата  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$ , рассчитанный с потенциалами  $V_D$  и  $V_M$ , в сравнении экспериментальными данными из работ [5-6,12-21]

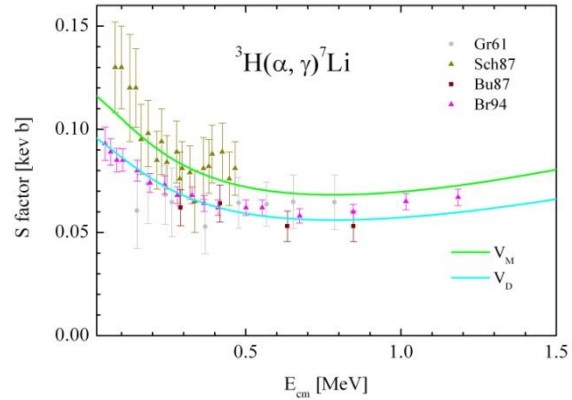


Рис. 2. Астрофизический  $S$ -фактор реакции захвата  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$ , рассчитанный с потенциалами  $V_D$  и  $V_M$ , в сравнении экспериментальными данными из работ [22-25]

На рис. 1 и 2 показаны теоретические кривые для астрофизических  $S$ -факторов реакций захвата  ${}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}$  и  ${}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}$ , полученные с потенциалами  $V_D$  и  $V_M$  в сравнении с экспериментальными данными. Как видно из рисунков, модифицированный потенциал  $V_M$  лучше описывает данные астрофизических  $S$ -факторов, чем исходный потенциал  $V_D$ .

1. E.G. Adelberger et al Rev. Mod. Phys. 83, 195 (2011)
2. Y. Xu et al Nucl. Phys. A 918, 61 (2013)
3. F. Iocco et al Phys. Rep. 472, 1 (2009)
4. H.D. Holmgren, R L Johnston, Phys. Rev. 113, 1556 (1959)
5. P. D. Parker, R.W. Kavanagh, Phys. Rev. 131, 2578 (1963)
6. C. Bordeanu et al, Nucl. Phys. A 908, 1 (2013)
7. A. Kontos et al, Phys. Rev. C 87, 065804 (2013)
8. Q.I. Tursunmahatov, R. Yarmukhamedov, Phys.Rev. C85, 045807 (2012)
9. C. Angulo et. al. Nucl.Phys.A656, 3 (1999)
10. С.Б. Дубовиченко, А.В. Джазаиров-Кахраманов, ЯФ 58, 635, 852 (1995)
11. С.Б. Дубовиченко, ЯФ 73, 1573 (2010)
12. H. Krwinkel et al, Z. Phys. A 304, 307 (1982)
13. J. L. Osborne et al, Phys. Rev. Lett. 48, 1664(1982)
14. M. Hilgemeier et al, Z. Phys. A 329, 243 (1988)
15. B. S. Nara Singh, M. Hass, Y. Nir-El, and G. Haquin. Phys. Rev.Lett. 93, 262503 (2004)
16. D. Bemmerer, F. Confortola, H.Costantini et al, Phys. Rev.Lett. 97 122502 (2006)
17. T.A. D. Brown, C. Bordeanu, K. A. Snover et al, Phys. Rev. C76, 055801 (2007)
18. F. Confortola, D. Bemmerer, H. Costantini et al, Phys. Rev. C 75, 065803 (2007)
19. A. Di Leva, L. Gialanella, R. Kunz et al, Phys. Rev. Lett.102, 232502 (2009)
20. M. Carmona-Gallardo, B. S. Nara Singh et al, Phys. Rev.C 86, 032801 (2012)
21. M. Carmona Gallardo. Ph.D. thesis, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 2014.
22. G. M. Griffiths et al, Can. J. Phys. 39, 1397 (1961)
23. U. Schröder et al, Phys. Lett.B 192, 55 (1987)
24. S. Burzyński et al, Nucl. Phys.A 473, 179(1987)
25. C. R. Brune, R.W. Kavanagh, and C. Rolfs. Phys.Rev. C 50, 2205 (1994) .

---

**ELASTIC  $d^{12}\text{C}$  SCATTERING WITHIN THE COMBINED GLAUBER AND OPTICAL MODEL**

*Ibraeva E.T.<sup>1</sup>, Uzikov Yu.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute for Nuclear Research Republic of Kazakhstan, RK, Almaty

<sup>2</sup> Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, Russian Federation

Intrinsic electric dipole momenta (EDM) of particles and atoms if they do exist will indicate directly to time-reversal invariance violation (and CP violation under CPT symmetry) as well as P-parity violation. Knowledge of these signals is important to understand origin of matter-antimatter asymmetry of the Universe [1]. An EDM of charged particles can be observed by measuring the rate of spin precession in an external electric field. Measurement of EDM of protons and deuterons is planned at COSY (Juelich) by JEDI Collaboration using the COSY storage ring [2]. The main idea of this measurement is to keep the polarization vector of the deuteron parallel to its velocity in order to exclude influence of the dipole magnetic moment of the deuteron. The interaction between the EDM and radial electric field would cause the polarization to rotate about the radial direction, generating a vertical polarization component. This component would be observed at high sensitivity in a carbon target polarimeter [3] in deuteron - carbon scattering. An important question is to choose an optimal energy of the deuteron beam which would provide a maximal figure of merit in polarimetry measurement. Existing experimental data on polarized  $d^{12}\text{C}$  elastic scattering in region of  $\sim 100$  -  $200$  MeV not enough complete. Therefore theoretical calculations are desirable as a guide for a choose of the beam energy.

In this work we apply spin-dependent Glauber theory [4] for calculation of differential cross section and vector analyzing power  $A_y$  of the  $d^{12}\text{C}$  elastic scattering. The formalism of the  $dp$ -scattering [4] is modified here properly to be applied to the  $d^{12}\text{C}$  scattering and Coulomb interaction is taken into account. As the first step the elementary  $N^{12}\text{C}$  elastic scattering amplitudes are taken from the optical model [5] which provide a fit to the absolute value of the unpolarized  $N^{12}\text{C}$  cross section but without fit to the vector analyzing power. Numerical results are obtained at the deuteron beam energy 270 MeV. We find the calculated differential cross section is in a good agreement with the data [6] in the forward hemisphere, whereas the calculated spin observables  $A_y$  and  $A_{zz}$  are only in qualitative agreement with data. The latter indicates the importance of further development of the model for the amplitudes of the  $N^{12}\text{C}$  elastic scattering by fit to the corresponding spin observables.

[1] J. Engel, M.J. Ramsey-Musolf, U. van Kolck, *Prog. Part. Nucl. Phys.* 71, 21 (2013).

[2] G. Guidoboni et al., *Phys. Rev. Lett.* 117, 054801 (2016).

[3] N.P.M. Brantjes et al., *Nucl. Instr. Methods Phys. Rev. Sect. A* 664, 49 (2012).

[4] M.N. Platonova, V.I. Kukulín, *Phys. Rev. C* 81, 014004 (2010); *Erratum Phys. Rev. C* 94, 069902 (2016).

[5] V. Karpov et al., *Yad. Fiz.* 79, 520 (2016).

[6] Y. Satou et al., *Phys. Lett. B* 549, 307 (2002).

**THE IMPACT OF THE ELECTRON SHELL UPON THE ALPHA DECAY OF IONIZED ATOM**

*Igashov S.Yu.<sup>1</sup> and Tchuvil'sky Yu.M.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Dukhov Research Institute for Automatics, 127055, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Skobeltsyn Institute of Nuclear Physics, Lomonosov Moscow State University, 119991 Moscow, Russia

Intensive theoretical investigations of the influence of the electron shell of an atom on the alpha-decay widths are recently carried out. In the present work we extend our approach to this problem presented in Ref. [1] to ionized atoms. Various effects appearing due to the electron surrounding of a nucleus including the change of the boundary conditions, decreasing of the penetrability of the potential barrier, energy transfer etc. are taken into account. Similar to the decay of neutral atoms the aggregate effect, as a rule, turns out to be positive – the electronic surrounding intensifies the decay. The scale of the effect is rather small. For example its value is equal to  $1.38 \cdot 10^{-3}$  and  $1.72 \cdot 10^{-3}$  for the decay of He-like and Be-like Ra ions respectively. The effects displaying by single and double charged ions are very close to that in respective neutral atoms. Typical values of the relative difference in the decay widths of these two types of processes are of order  $10^{-7}$ .

1. Igashov S.Yu., Tchuvil'sky Yu.M. *Phys. At. Nucl.* 76, 1452 (2013).

**РАСЧЕТ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗМОЖНОЙ ТОПЛИВНОЙ ЗАГРУЗКИ ПРИ СОВМЕЩЕНИИ МОХ И REMIX-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕАКТОРАХ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ НА ПРИМЕРЕ ВВЭР-1200**

*Алейников А.Н., Толстых В.С.*

ФГБОУ ВО «Воронежский госуниверситет», Воронеж, Россия

E-mail: defender136@mail.ru

В работе [1] был рассмотрен вариант гетерогенной загрузки активной зоны ВВЭР-1000 РЕМИКС и МОКС-топливом. В рамках этой работы были рассчитаны примерные выгоды использования совмещенной загрузки регенерированным топливом. [2] Работа даёт представление об опасности радиационного фона при совместном использовании технологий рециклированного топлива.

В данной публикации рассмотрены нейтронно-физические характеристики при замыкании ядерных топливных циклов с различным соотношением РЕМИКС и МОКС-топлива и обогащением  $U^{235}$ ,  $Pu^{239}$ .

Были рассчитаны базовые значения нейтронно-физических характеристик, при полной гомогенизации активной зоны.

Выявлены допустимые отношения и обогащение гетерогенных топливных загрузок, при которых сохраняются возможные нейтронно-физические характеристики в ВВЭР-1200.

18. Бобров Е.А., Алексеев П.Н. // Исследование характеристик замыкания топливного цикла реакторов ВВЭР на основе РЕМИКС-технологии -2016
19. И.Н. Васильченко, К.Ю. Куракин, С.А. Кушманов, А.Д. Джаландинов, В.Н. Чернышев, П.Ф. Калиниченко // Анализ возможности обращения со свежим РЕМИКС-топливом на действующих АЭС с ВВЭР-1000

**СТРУКТУРА ЛЕГКИХ НЕСТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР В РАМКАХ СТАХОАТИЧЕСКОЙ ВАРИАЦИОННОЙ МОДЕЛИ**

*Уразбеков Б.А.<sup>1,2</sup>, Деникин А.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Лаборатория ядерных реакций им. Флерова, ОИЯИ, г. Дубна

<sup>2</sup>Государственный университет «Дубна», г. Дубна

В последние десятилетия на фоне развития экспериментальных установок, использующие вторичные радиоактивные пучки, изучение структуры и свойств атомных ядер все больше набирает популярность. Исследование в основном направлено легким ядрам, находящимся в границе протонной и нейтронной стабильности. Было выявлено ряд особенностей экзотических ядер резко отличающиеся от стабильных ядер: распределение нейтронов на определенном расстоянии от кора (гало) [1], избыточная концентрация нейтронов в поверхностной области ядра (скин-структура) [2] вблизи нейтронной стабильности. Примером проявления свойств гало, скин-структуры могут выступать борромановские ядра:  ${}^6,8\text{He}$ ,  ${}^{11}\text{Li}$ ,  ${}^{11,14}\text{Be}$  и  ${}^{17}\text{B}$ . Следует отметить, что составная пара подсистемы трех-частичной структуры борромановских ядер не имеет связанных состояний, что является признаком неприменимости модели оболочек к этим ядрам.

В настоящей работе теоретически изучены легкие ядра в границе стабильности, где за основу взята стохастическая вариационная модель [3]. В качестве базисной функции волновой функции основного состояния выступает параметризованная гаусоида. Она удобна тем, что позволяет вычислять интегралы в аналитическом виде. Для начального приближения в рамках кластерной модели ядра рассматриваются в двухтелном приближении. Проведен тщательный отбор парных потенциалов взаимодействия для системы из двух частиц путем сравнения экспериментальных данных фазового сдвига упругого рассеяния с его теоретическими расчетами. Представленные результаты, энергия системы, статические характеристики исследуемого ядра, указывают на применимость стохастической вариационной модели к экзотическим ядрам.

1. P. G. Hansen and B. Jonson, *Europhys. Lett.* 4 (1987) 409.
2. I. Tanihata, D. Hirata, T. Kobayashi, S. Shimoura, K. Sugimoto and H. Toki, *Phys. Lett.* B289 (1992), 261.
3. V. I. Kukulkin and V. M. Krasnopol'sky, *J. of Phys. G: Nucl. Part. Phys.* 3 (1977), 795

**ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГАММА-КВАНТОВ В РЕАКЦИЯХ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14 МЭВ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА**

<sup>1,2</sup> Федоров Н.А., <sup>3</sup> Третьякова Т.Ю., <sup>1</sup> Копач Ю.Н., <sup>1</sup> Быстрицкий В.М., <sup>1,4</sup> Грозданов Д.Н., <sup>1,5</sup> Алиев Ф.А., <sup>1,4</sup> Русков И.Н., <sup>1</sup> Ской В.Р., <sup>1,6</sup> Храдко К., <sup>7</sup> Боголюбов Е.П., <sup>7</sup> Бармаков Ю.Н. и коллаборация TANGRA

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Дубна, Россия.

<sup>2</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия.

<sup>3</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына, (НИИЯФ МГУ), Москва, Россия

<sup>4</sup>Институт ядерных исследований и ядерной энергетики (ИЯИЯЭ), БАН, София, Болгария

<sup>5</sup>Институт геологии и геофизики (ИГГ), ААН, Баку, Азербайджан.

<sup>6</sup>Институт химии (ИХ), Академия наук Молдовы, Кишинев, Республика Молдова.

<sup>7</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова (ВНИИА), Москва, Россия.

В рамках проекта TANGRA (TAGged Neutron and Gamma Rays) в ОИЯИ проведено измерение угловых и энергетических распределений гамма-квантов, образующихся в реакциях неупругого рассеяния нейтронов с энергией 14,1 МэВ на ядрах углерода и кислорода [1].

Исследования проводились с использованием пучка меченых нейтронов, формирование которого осуществлялось портативным нейтронным генератором ИНГ-27 (разработанным и созданным ВНИИА) со встроенным многопиксельным детектором  $\alpha$ -частиц. Регистрация гамма-квантов, образующихся в реакциях  $^{12}\text{C}(n,n'\gamma)$  и  $^{16}\text{O}(n,n'\gamma)$ , производилась в совпадениях с сигналом от альфа-детектора. Система регистрации гамма-квантов включала в себя 22 NaI(Tl)-спектрометра, расположенных вокруг облучаемой мишени [2]. Использование метода меченых нейтронов позволило существенно уменьшить фон случайных совпадений и впервые осуществить измерение анизотропии гамма-излучения в указанных выше реакциях при малых ( $\Theta < 20^\circ$ ) и больших ( $\Theta > 160^\circ$ ) углах, что крайне важно для правильного понимания механизма неупругого рассеяния нейтронов на ядрах углерода и кислорода.

Результаты настоящих измерений согласуются в пределах ошибок с результатами, полученными в более ранних экспериментах на углероде [3-5] и кислороде [5,6].

Использование метода меченых нейтронов позволяет существенно повысить точность измерения искомых величин, а также более детально изучить особенности угловых распределений гамма-излучения.

1. Kopatch Yu.N., Bystritskiy V.M., Grozdanov D.N et.al., **ISINN-23 proceedings, Dubna, 2016. p. 361.**
2. I.Ruskov, Yu. N. Kopach, V. Skoy et al., Phys. Procedia. (2014) 59, p. 107.
3. J. Benveniste, A. C. Mitchell, C. D. Schrader et. Al., Nucl. Phys. (1960) 19, p. 448.
4. J.D. Anderson, C.C. Gardner, J. W. McClure et al., Phys. Rev. (1958) 111, p. 572.
5. T.Kozlowski, W.Kusch, J.Wojtkowska. Angular distribution of gamma rays from inelastic scattering of 14.1 MeV neutrons on C-12 and O-16. Inst. Badan Jadn.(Nucl.Res.) No. 661.—Swierk+Warsaw, 1965.
6. I.L.Morgan, J.B.Ashe, D.O.Nellis. Angular distribution of gamma rays from C, O, and N. WASH-1046, (1964), p.110

**ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ БЫСТРО-ТЕПЛОВОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛІНА-БУСТЕР» БЕЗ ТОПЛИВА В БЫСТРОЙ ЗОНЕ**

*Фоков Ю.Г., Рутковская К.К., Бурнос В.В., Едчик И.А.*

Государственное научное учреждение «Объединенный институт энергетических и ядерных исследований—Сосны» НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь

Описана геометрия и материальный состав двухзонной подкритической сборки «Яліна-Бустер», управляемой внешним источником нейтронов.

Приведены результаты расчетных и экспериментальных оценок уровней подкритичности в двух конфигурациях активной зоны: 1) при загруженной топливом активной зоне (с двуокисью 10%-ного обогащения в тепловой зоне и двуокисью урана 21%-ного обогащения в быстрой зоне) и 2) с двуокисью 10%-ного обогащения в тепловой зоне и без топлива в быстрой зоне.

Проведено сравнение расчетных значений эффективных долей запаздывающих нейтронов в рассматриваемых конфигурациях активной зоны. Показано, что основные кинетические параметры определяются тепловой зоной.



Расчетным и экспериментальным путем получены пространственные распределения плотности потока нейтронов в экспериментальных каналах загруженной и незагруженной топливом быстрой зоны сборки, проведено сравнение расчета с экспериментом и анализ некоторых расхождений расчетных и экспериментальных результатов.

Описаны приборное обеспечение и условия проведения экспериментальных измерений. В качестве внешнего источника нейтронов использовался изотоп  $Cf^{252}$ .

## ОБРАЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОГО ИЗОТОПА ГЕЛИЯ $^5He$ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ ЯДРАМИ $^{10,11}B$

Чернышев Б.А., Жеан-Короткова Л.Ю., Гуров Ю.Б., Карпунин В.С., Лапушкин С.В., Леонова Т. И., Прутула Р.В., Сандуковский В.Г.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
115409, Россия, Москва, Каширское ш. 31, +7 (495) 788-56-99, e-mail [chemyshev@mephi.ru](mailto:chemyshev@mephi.ru)

Основное состояние тяжелого изотопа гелия  $^5He$  ( $J^P=3/2^-$ ) является нуклонно-нестабильным, распадающимся на  $^4He + n$ , и имеет следующие параметры: резонансная энергия  $E_r = 0.798$  МэВ ширина,  $\Gamma = 0.647$  МэВ [1]. Вопрос о возбужденных уровнях  $^5He$  менее определен, как в области низких, так и высоких энергий возбуждений [1,2]. В настоящей работе поиск состояний  $^5He$  проводился в спектрах недостающих масс ( $MM$ ) в реакциях поглощения остановившихся пионов:  $^{10}B(\pi^-,dt)X$  и  $^{11}B(\pi^-,tt)X$ . Эксперимент был выполнен на ускорителе LANL с помощью двухплечевого полупроводникового спектрометра заряженных частиц [3]. Калибровка спектрометра в корреляционных измерениях была выполнена с помощью реакции  $^{10}B(\pi^-,tt)X$ . Было показано что, разрешение (FWHM) по  $MM$  составляет в исследуемых каналах  $0.45(5)$  МэВ, а точность абсолютной привязки шкалы  $0.1$  МэВ. С целью уменьшения вклада нерезонансного физического фона в измерениях были использованы достаточно высокие пороги регистрации заряженных частиц (30 МэВ), что позволило надежно выделить низкоэнергичные состояния. На рис. представлен спектр  $MM$  для реакции  $^{11}B(\pi^-,tt)X$ . Вблизи  $MM \approx 0$  МэВ отчетливо выделяется пик, являющийся суперпозицией основного и первого возбужденного состояний  $^5He$ . Параметры основного состояния совпадают с мировыми данными [1,2]. Для первого возбужденного уровня наилучшее описание достигается при  $E_r = 1.8(5)$  МэВ и,  $\Gamma = 4.7(7)$  МэВ. Описание экспериментального спектра реакции  $^{10}B(\pi^-,dt)X$  достигается без привлечения возбужденных состояний. В обеих реакциях не были получены статистически значимых указания на высоковозбужденные ( $E_x \geq 20$  МэВ) состояния  $^5He$ .

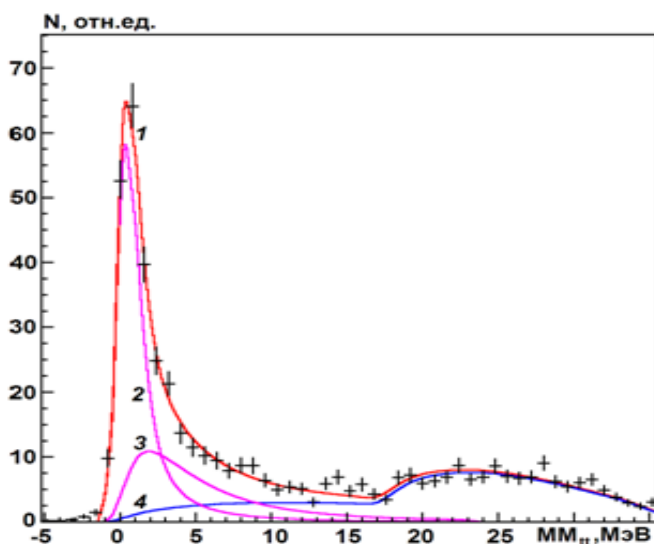


Рисунок. Распределения по  $MM$  для реакции  $^{11}B(\pi^-,tt)X$  при  $E_d > 30$  МэВ и  $E_t > 30$  МэВ. Точки с погрешностями – экспериментальные данные.. Сплошные динии 1 – полное описание; 2- основное состояние  $^5He$ ; 3 – первое возбужденное состояние  $^5He$ ; 4 – нерезонансный фон.

1. D.R. Tilley *et al.*, Nucl. Phys. A, 2004, V. 745, P. 155.
2. I/Tanihata, H.Savajols, R/Kanungo. Progr/ Part. Nucl. Phys. 2013, V. 68, P. 215.
3. M.G.Gornov *et al.*, Nucl. Inst. and Meth. in Phys. Res. A, 2000, V. 446, P. 461.

**ВОЗБУЖДЕНИЕ  $^{180m}\text{Ta}$  ПОЗИТРОНАМИ С ГРАНИЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ 0,65 МэВ**

*Желтоножская М.В.<sup>1</sup>, Желтоножский В.А.<sup>2</sup>, Лыкова Е.Н.<sup>1</sup>, Черняев А.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына  
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,

<sup>2</sup>Институт ядерных исследований НАН Украины

При аннигиляции позитронов со связанными электронами атома одним из каналов такой реакции является возбуждение ядра за счет передачи всей энергии аннигиляции этому ядру, так называемая бесфотонная аннигиляция.

Представляет значительный интерес исследование возбуждения  $^{180m}\text{Ta}$  с  $I^\pi = 9^-$ , т.к. образование этого ядра очень важно для понимания астрофизических процессов. Кроме того, ранее наблюдалось возбуждение  $^{180m}\text{Ta}$  при облучении  $\gamma$ -квантами изотопа  $^{60}\text{Co}$  ( $E_\gamma = 1,33$  МэВ). Это указывает на то, что активационные уровни находятся в области (1 ÷ 1,33 МэВ), через которые может происходить аннигиляционное возбуждение  $^{180m}\text{Ta}$ .

Нами исследована бесфотонная аннигиляция на  $^{180m}\text{Ta}$  при облучении мишеней из естественного тантала толщиной 60 мкм позитронами из распада  $^{64}\text{Cu}$  с граничной энергией 0,65 МэВ. Источники позитронов нарабатывались в реакции (n, $\gamma$ ) при облучении образцов естественной меди в реакторе ВВР-10 ИЯИ НАН Украины. Интегральный поток позитронов составлял  $3 \times 10^{12}$   $\beta^+$ /с. Исследование бесфотонной аннигиляции проводилось через измерение активности  $^{180g}\text{Ta}$  с  $T_{1/2} = 8$  ч. на антикомптоновском спектрометре по  $\gamma$ -переходу 93 кэВ и  $K\alpha$ -излучению Hf.

Из полученных экспериментальных данных определено эффективное сечение бесфотонной аннигиляции на изотопе 180 тантала равное  $\sigma = (2,2 \pm 0,5) \cdot 10^{-29}$  см<sup>2</sup>.

Проводится обсуждение полученных данных.

**POSSIBILITY OF FAST NEUTRON DETECTION WITH POSITION SENSITIVE PIXEL DETECTOR TIMEPIX**

*Chuprakov I.<sup>1,4</sup>, Ahmadov G.<sup>1,2,3</sup>, Gledenov Yu. M.<sup>1</sup>, Nuruyev S.<sup>1,2</sup>, Berikov D.<sup>1,4</sup>, Kopatch Y.<sup>1</sup>, Sansarbayar E.<sup>1</sup>, Zolotaryova V.<sup>1,4</sup>, Akbarov R.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, Russia

<sup>2</sup> Azerbaijan National Academy of Sciences - AD and IRP, Baku, Azerbaijan

<sup>3</sup> National Nuclear Research Centre, Baku, Azerbaijan

<sup>4</sup> The Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

This paper presents a position-sensitive detection method for fast neutrons by proton recoil in a plastic scintillator. The detector consists of a plastic scintillator with silicon photomultiplier readout and pixel detector Timepix. As a known plastic scintillators are hydrogen-rich materials adopted as neutron to proton converters by elastic (n, p) scattering. Silicon pixel detector Timepix is used for position-sensitive detection of recoil protons which exit the plastic scintillator. Scintillation light is read out using micropixel avalanche photodiode of type MAPD-3NK from Zecotek Photonics Inc. MAPD-3NK allows to measure the energy loss by protons in the plastic scintillator and to trigger Timepix detector.

Timepix detector is a silicon based hybrid pixel detector which allows obtaining information from each pixel. The detector consists of 256\*256 square pixels (55  $\mu\text{m}$ ) with pitch size of 55  $\mu\text{m}$ . The active area and thickness of the detector is about 1.96 mm<sup>2</sup> and 300  $\mu\text{m}$ , respectively.

Micropixel avalanche photodiode of type MAPD-3NK is one of silicon based alternatives to common vacuum photomultipliers. MAPD-3NK consists of deeply burned pixels connected in parallel and operating in the Geiger mode. MAPD-3NK has a total photosensitive area of 3.7\*3.7 mm<sup>2</sup> and 10000 pixels per mm<sup>2</sup>. Operating voltage is about 90 V for this photodiode.

Experiments have been carried out with  $^{239}\text{Pu}$ -Be radioisotopic neutron source and monoenergetic neutrons from the reaction D(d, n) $^3\text{He}$  on the EG-5 Van de Graaff accelerator, FLNP, JINR.

ПОИСК НОВЫХ МЕЖНУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В РАССЕЙАНИИ НЕЙТРОНОВ НА ЯДРЕ

Воронин В.В. <sup>1,2,3</sup>, Кузнецов И.А. <sup>2</sup>, Шаниро Д.Д. <sup>1,2</sup>

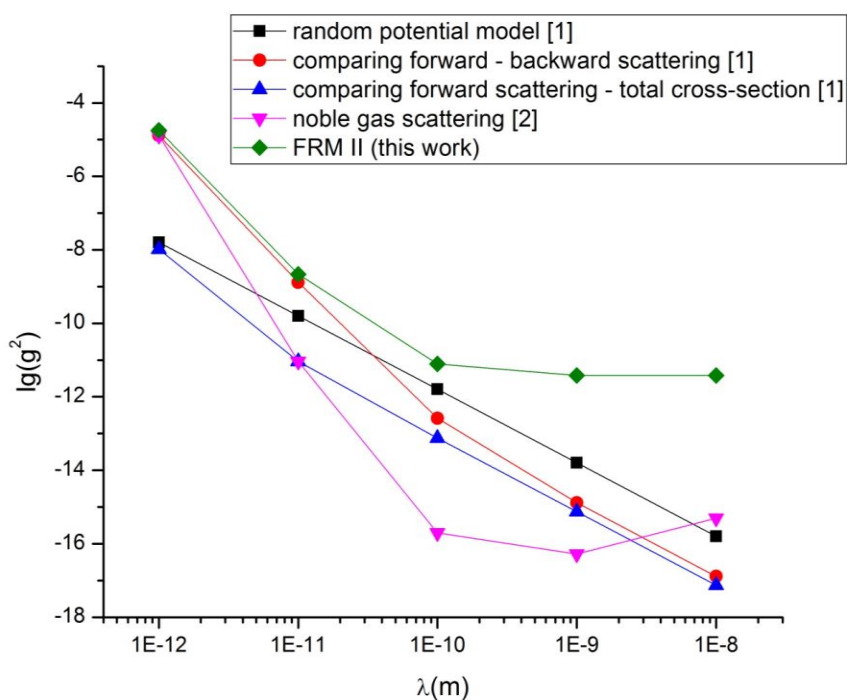
<sup>1</sup>Санкт-Петербургский Государственный Университет

<sup>2</sup>НИИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Известно, что в природе существует 4 вида взаимодействия, однако сейчас в рамках расширения к Стандартной модели физики частиц широко обсуждается существование других взаимодействий, переносимых новыми, неизвестными бозонами [1], [2]. В данной работе обсуждается применение метода нейтронного рассеяния для поиска нового короткодействующего взаимодействия и наложения ограничений на константу связи такого взаимодействия.

Суть метода состоит в осуществлении эксперимента по рассеянию нейтронов на порошке кремния (порошковая дифракция) и получении из спектра информации о зависимости амплитуды рассеяния от переданного импульса (или от угла рассеяния). В рамках данной работы был проведен расчет, показывающий состоятельность этой идеи. Кроме того, исходя из реальных данных, полученных на реакторе FRM II, были вычислены ограничения на константу связи. Показано, что новая оценка не уступает уже имеющимся, что является хорошей мотивацией к проведению полноценного эксперимента.



Результаты были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России 3.3838.2017/4.6.

[1] V.V. Nesvizhevsky, G. Pignol, K.V. Protasov, Phys.Rev. D **77**, 034020 (2008)

[2] Y. Kamiya, K. Itagaki, M. Tani, G. N. Kim, and S. Komamiya, Phys. Rev. Lett. **114**, 161101 (2015)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ПУЧКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

Эргашев Ф.Х., Артемов С.В., Тожибоев О.Р., Игамов С.Б.

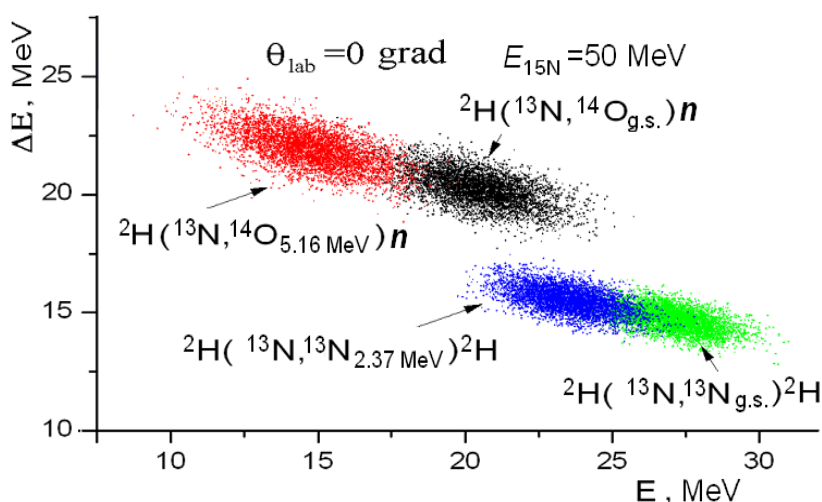
Институт Ядерной Физики, Академия Наук Республики Узбекистан

При планировании ядерно-физических экспериментов на пучках ускорителей заряженных частиц необходимо проведение предварительных оценок необходимого пучкового времени и адекватности экспериментальной методики поставленной экспериментальной задаче. В данной работе представляется программа, написанная на программном языке Wolfram Mathematica и позволяющая моделировать ожидаемую экспериментальную информацию, например, двумерные спектры и спектры проекций при использовании  $\Delta E$ -методики. Вычисление регистрируемой энергии для задаваемого угла рассеяния моделируемой реакции производится методом «event-by-event» для каждого разыгрываемого события реакции с учетом кинематики реакции, энергетических потерь, энергетических и угловых страгглингов. Геометрия моделируемого эксперимента, характеристики мишени и условия розыгрыша (гауссово распределение с задаваемыми дисперсиями для энергетического и углового разброса частиц в падающем на мишень пучке, равномерное или гауссово распределение по толщинам мишени и  $\Delta E$ -детекторов в точках попадания налетающей и образующейся в реакции частиц и т.д. могут задаваться в любых требуемых сочетаниях.

Предусмотрено моделирование как для классической схемы измерения угловых распределений продуктов реакции с использованием узкого пучка и детектора под фиксированным углом регистрации, так и для пучков с большим угловым разбросом и большим сечением на мишени при использовании координатно-чувствительного детектора, охватывающего одновременно значительную область углов. Последняя ситуация типична для экспериментов на пучках радиоактивных ядер, формируемых «in-flight» методом. При этом в реальных экспериментах могут быть использованы методы определения траектории каждой налетающей на мишень частицы (см. напр. [1]), что позволяет иметь угловое разрешение в измерении существенно лучше углового разброса в налетающем пучке. Для этого случая предусмотрен случайный розыгрыш траектории налетающей на мишень частицы и точки ее пересечения с плоскостью мишени.

Для выяснения степени возможных наложений отдельных групп регистрируемых частиц (близко расположенные энергетические уровни конечного ядра, наличие примесей в мишени, недостаточно хорошее разделение по сортам частиц) при оценке соотношения их интенсивностей используется число розыгрышей, пропорциональное величине ожидаемого сечения каждого из интерферирующих процессов.

Рисунок иллюстрирует моделирование детектирования  $\Delta E$ - $E$  методом групп ядер  $^{13}\text{N}$  и  $^{14}\text{O}$ , образующихся во взаимодействии радиоактивного пучка  $^{13}\text{N}$  с дейтериевой мишенью



1. B. GUO et al., // Phys. Rev. C 87, 015803 (2013).

**FISSION RATE OF EXCITED NUCLEI DEPENDING ON THE SADDLE-TO-SCISSION DISTANCE AND THE FRICTION STRENGTH**

*Chushnyakova M. V.<sup>1,2</sup>, Gontchar I.I.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup>Physics Department, Omsk State Technical University, Omsk, Russia

<sup>2</sup>Institute of Physics and Technology, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup>Physics and Chemistry Department, Omsk State Transport University, Omsk, Russia

It is well established that the distance between the saddle and scission (absorption) points,  $q_b$  and  $q_a$ , increases with the charge number of fissioning nucleus. This, in particular, is expected to influence the deviation of the quasistationary fission rate obtained in dynamical modeling,  $R_D(q_a)$ , from the approximate Kramers rate  $R_K$  [1, 2]. The latter agrees with  $R_D(q_a)$  very well when  $q_a - q_b$  increases. The deviation of  $\eta_{ba} = R_D(q_b)/R_D(q_a)$  from unity was found earlier when the collective motion occurs in the overdamped regime, i.e. at large values of the controlling parameter  $\beta/\omega_b$  [2,3]. Here  $\beta$  is the damping coefficient of the collective motion and  $i\omega_b$  is the frequency of this motion at the barrier.

In this contribution we study how the ratio  $\eta_{ba}$  depends upon the strength of the friction parameter in rather wide range of the latter. Namely, the dimensionless separation parameter  $\gamma = U_b\beta/(\omega_c T)$  varies from 0.05 up to 50. Here  $\omega_c$  is the frequency of the particle motion around the ground state,  $U_b$  is the fission barrier height, and  $T$  stands for the temperature.

We model the collective nuclear motion using the well-known Langevin equations in the one-dimensional approximation. This is done, in particular, because no multi-dimensional version of the Kramers formula exists for the case  $\gamma \ll 1$  (the so-called energy diffusion regime). Moreover, due to the deformation dependence of the friction parameters the regime of nuclear collective motion can change from one domain of the coordinate space to the other.

Our calculations show that in the energy diffusion regime the value  $\eta_{ba}$  does not deviate from unity. As  $\gamma$  increases the ratio  $\eta_{ba}$  increases by more than 50%. This ratio depends in a tricky way upon the friction strength and  $q_a$ . We believe that our study can be useful because the one-dimensional modeling and some ‘‘Kramers correction factors’’ are employed every now and again in the analysis of experimental data [4-8].

- [1] H. A. Kramers // Physica 7 (1940) 284
- [2] I. I. Gontchar // Phys. Part. Nucl. 26 (1995) 932
- [3] I.I. Gontchar, P. Fröbrich, N.I. Pischasov // Phys. Rev. C 47 (1993) 2228
- [4] [http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/stat\\_model/](http://nrv.jinr.ru/nrv/webnrv/stat_model/)
- [5] G. Chaudhuri, S. Pal // Phys. Rev. C63 (2001) 064603
- [6] J. Sadhukhan, S. Pal // Phys. Rev. C81 (2010) 031602R
- [7] J. Tiang, W. Ye // Phys. Rev. C94 (2016) 021601
- [8] J. Tiang, N. Wang, W. Ye // Phys. Rev. C95 (2017) 041601

**A FRESH LOOK AT TREATMENT OF RADIATIVE CAPTURE IN NUCLEAR REACTIONS: APPLICATIONS TO THE  $\alpha - \alpha$  BREMSSTRAHLUNG**

*Arslanaliev A.<sup>1</sup>, Shebeko A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>V.N. Karazin National University, Kharkov, Ukraine

E-mail: arslanaliev.kh@gmail.com

<sup>2</sup>Institute for Theoretical Physics, National Research Center KIPT, Kharkov, Ukraine

E-mail: shebeko@kipt.kharkov.ua

Our departure point in describing electromagnetic (EM) interactions with nuclei (in general, bound systems of charged particles) is to use the Fock-Weyl criterion and a generalization of the Siegert theorem (see [1] where this approach is compared with that by Friar and Fallieros [2]). It has been shown how one can meet the gauge invariance principle (GIP) in all orders in the charge and construct the corresponding EM interaction operators in case of nuclear forces arbitrarily dependent on velocity (see paper [1] and refs. therein). Along the guideline we have derived the conserved current density operator for a dicluster system (more precisely, the system of two nite-size clusters with many-body interaction effects included). Being expressed through electric and magnetic eld strengths and matrix elements of the generalized electric and magnetic dipole moments of a system the single-photon transition amplitudes attain a

manifestly gauge-independent (GI) form. Special attention is paid to the cluster structure of the  $T$ -matrix for radiative process  $A+B \rightarrow \gamma+C$ , in which a target-nucleus  $A$  captures a projectile-nucleus  $B$  that is followed by the single-photon emission and formation of a system  $C=A+B$  in a bound or continuum state, e.g., as in case of  ~~$\alpha\alpha \rightarrow \alpha\alpha\gamma$~~  bremsstrahlung. We show how the decomposition of  $T$  into separate contributions responsible for the photon emission stems from the time-space current components and depends on the interactions between colliding nuclei (clusters). The latter may be nonlocal. Evidently, if we switch off the  $\alpha-\alpha$  interaction in entrance and exit channels, such a process will be impossible. Keeping this in mind, it is easily to see (at least, within potential models of the  $\alpha-\alpha$  scattering) that the relevant Coulomb-like integrals with distorted waves can be calculated in terms of the half-off-energy-shell  $\alpha-\alpha$  scattering amplitudes (cf., e.g., [4]). When calculating these quantities we show a constructive way for taking into account the interplay between the Coulomb repulsion and strong interaction of colliding nuclei. At the same time, one should note that the bremsstrahlung amplitudes in question are expressed through the cluster form factors. Calculations are compared with data.

- [1] Shebeko A.V., Sov. J. Nucl. Phys. 49, 30 (1989).
- [2] Friar J.L. and Fallieros S., Phys. Rev. C 34, 2029 (1986).
- [3] Shebeko A.V., Phys. At. Nucl. 77, 518 (2014).
- [4] Garrido E., Jensen A.S. and Fedorov D.V., FBS 55, 101 (2014).

## ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ ВОДОРОДНО - ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ; ИОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ

<sup>1</sup> Галль Л.Н., <sup>2</sup> Галль Н.Р., <sup>3</sup> Назаренко Л.М., <sup>4</sup> Семенов А.А., <sup>3</sup> Якушев Е.М.

- 1) Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия,
- 2) ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия,
- 3) Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан,
- 4) ВНИИ НМ им. А.А. Бочвара, Москва, Россия,

Проблема корректного определения изотопного состава газовых смесей водорода и гелия вызвана необходимостью экспериментальных исследований водородно-гелиевой плазмы в установках термоядерного синтеза. В этой связи совершенствование масс-спектральной аппаратуры с целью увеличения объема получаемой информации остается одной из ключевых проблем в деле дальнейшего развития в области физики водородно-гелиевой плазмы. В настоящей работе обсуждается оригинальная схема специализированного магнитного масс-спектрометра, предназначенного для изотопных измерений в диапазоне масс водорода – гелия и их основных примесей. Ионно-оптическая система масс-спектрометра содержит двумерную магнитную призму, дополненную двумя идентичными электростатическими конденсаторами (цилиндрическим, сферическим или тороидальным). Ионно-оптические параметры двумерной магнитной призмы и электростатических конденсаторов согласованы между собой таким образом, что ионно-оптическая система работает в режиме полной тройной фокусировки пучка - по двум взаимно перпендикулярным направлениям и по разбросу энергий ионов в пучке. Развита ионно-оптическая теория такого масс-спектрометра, выполнены необходимые численные расчеты. Прибор несложен в исполнении, его детали и узлы технологичны. Ионно-оптическая система рассчитанного масс-спектрометра имеет рекордно высокую дисперсию, в несколько раз превосходящую дисперсию классических систем магнитных масс-спектрометров, что в сочетании с тройной фокусировкой обеспечивает высокие аналитические характеристики и требуемую для анализа высокую разрешающую способность, (не менее 5000) при умеренной длине центральной ионной траектории - около одного метра.

**ASYMPTOTICAL THEORY OF THE PERIPHERAL SUB-BARRIER ONE PARTICLE TRANSFER REACTION FOR NUCLEAR ASTROPHYSICS**

*Tursunmakhatov K.I. and Yarmukhamedov R.*

Institute of Nuclear Physics, Tashkent 100214, Uzbekistan

In the present work, the asymptotical theory is proposed for the peripheral sub-barrier transfer  $A(x,y)B$  reaction within the three-body model, where  $x=y+a$ ,  $B=A+a$  and  $a$  is a transferred particle. This theory is based on the following assumptions: 1) sub-barrier energy peripheral transfer reactions proceed mainly in regions well outside the range ( $R_N$ ) of the inter-nuclear  $x$ - $A$  interactions; 2) due to fairly small values of projectile energies (or wave numbers  $k$  ( $k \rightarrow 0$ )), the main contribution into the reaction amplitude comes to the lowest partial amplitudes corresponding to the partial wave with  $l \leq kR_{ch}$  ( $l=0,1,2,\dots$ ) at  $R_{ch} \geq R_N$ , where  $R_{ch}$  is the channel radius. In this case, the radial overlap functions for the bound two-body ( $(y+a)$  and  $(A+a)$ ) state wave functions for the  $x$  and  $B$  nuclei, which enter the matrix element for the reaction amplitude, can be replaced by their corresponding asymptotical forms. Therefore, the differential cross sections for the reaction under consideration can directly be expressed in terms of the product of the squared asymptotic formalization coefficients (ANCs) for  $y+a \rightarrow x$  and  $A+a \rightarrow B$  [1],  $C_{y\alpha}^2 C_{A\alpha}^2$ , which determine the amplitude of the tail of the aforementioned overlap functions and are unknown.

The proposed theory is applied for the analysis of the experimental differential cross sections (DCSs) of the nuclear-astrophysical  $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$  reaction measured in [2] at three projectile sub-barrier energies ( $E_p$ ) of 250, 350 and 450 keV. One notes that this reaction is responsible for the burning of  $^{19}\text{F}$  in the fourth branch of the CNO cycle and such studies could be of interest in determining the location of the site of  $^{19}\text{F}$  nucleosynthesis [3].

The parameters for the optical potentials in the initial and final states are taken from [4]. The calculated angular distributions reproduce well the experimental ones and, so, it makes us possible to determine the product of the ANCs for  $p+t \rightarrow \alpha$  and  $^{16}\text{O} + t \rightarrow ^{19}\text{F}$ ,  $C_{pt}^2 C_{^{16}\text{O}t}^2$ , by normalization of the calculated DCSs to the experimental ones. The results of the  $C_{pt}^2 C_{^{16}\text{O}t}^2$  values are equal to  $33520.7 \pm 1301.5$  (th.)  $\pm 4357.7$  (exp.);  $32822.7 \pm 1238.4$  (th.)  $\pm 2133.5$  (exp.) and  $29544.5 \pm 1075.0$  (th.)  $\pm 2215.8$  (exp.)  $\text{fm}^2$ , which are derived at  $E_p=250$ ; 350 and 450 keV, respectively. Here, the pointed theoretical uncertainty corresponds to a slight variation of the  $R_{ch}$  channel radius. The weighed mean and its uncertainty obtained from these values is equal to  $C_{pt}^2 C_{^{16}\text{O}t}^2 = 31584.8 \pm 1269.9$  (th.)  $\pm 1449.4$  (exp.)  $\text{fm}^2$ .

The  $C_{pt}^2 C_{^{16}\text{O}t}^2$  value obtained for each energy of  $E_p$  can be used for calculating the total cross sections of the  $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$  reaction. Besides, the weighed mean for the  $C_{pt}^2 C_{^{16}\text{O}t}^2$ , obtained from the present analysis, can do extrapolation of the total  $^{19}\text{F}(p,\alpha)^{16}\text{O}$  cross section to a range of energies lower than 250 keV ( $E(\text{cm})=237.5$  keV), including the Gamow peak located at the energy  $E=38.2$  keV corresponding to the stellar temperature  $T_9=0.02$  [3]. At present time this work is in progress within the proposed theory.

- [1]. L. D. Blokhintsev, I. Borbely, E. I. Dolinskii. *Sov. J. Part. Nucl.* **8** (1977) 485.
- [2]. H. Lorenz-Wirzba. Ph. D. thesis Universität Münster, 1978.
- [3]. C. Rolfs and W. S. Rodney. *Cauldrons in the Cosmos* (University of Chicago Press, Chicago and London 1988).
- [4]. H. Hemdl et al. *Phys. Rev. C* **44** (1991) R952.

**РЕАКТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ  
ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПРОДУКТАМИ ЯДЕРНОЙ  
РЕАКЦИИ  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$**

*Гордиенко Ю.Н.*<sup>1</sup>, *Самарханов К.К.*<sup>1</sup>, *Батырбеков Э.Г.*<sup>2</sup>, *Понкратов Ю.В.*<sup>1</sup>, *Кульсарттов Т.В.*<sup>1</sup>, *Барсуков Н.И.*<sup>1</sup>,  
*Хасенов М.У.*<sup>3</sup>, *Заурбекова Ж.А.*<sup>1</sup>, *Тулубаев Е.Ю.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный ядерный центр Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

<sup>3</sup>Частное учреждение “National Laboratory Astana”, Астана, Казахстан

Спектральные исследования оптического излучения газовых смесей представляют интерес для решения задач связанных с поиском газовых сред обладающих высокой эффективностью преобразования энергии ядерных реакций в энергию лазерного или спонтанного излучения [1,2]. Такие среды могут применяться для вывода энергии из ядерного и термоядерного реакторов в виде оптического излучения, а также для контроля и регулирования параметров реакторов.

В настоящей работе представлены результаты реакторных экспериментов по исследованию спектров люминесценции He-Ne и He-Kr газовых смесей, возбуждаемых продуктами ядерной реакции  ${}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}$ , на разных уровнях стационарной мощности реактора ИВГ1.М.

1. E. Bатырбеков, Converting nuclear energy into the energy of coherent optical radiation, *Laser and Particle Beams*, 2013, V. 31, issue 4, p. 673-687.

2. М.У. Хасенов Ядерно-возбуждаемая плазма газовых смесей и лазеры с ядерной накачкой: Монография. Алматы, 2011. – 187 с.

**ANGULAR DISTRIBUTIONS AND ANISOTROPY OF FISSION FRAGMENTS FOR HEAVY NUCLEI  
INDUCED BY INTERMEDIATE ENERGY NEUTRONS (1- 200 MEV)**

*Vorobyev A.S.*<sup>1</sup>, *Gagarski A.M.*<sup>1</sup>, *Shcherbakov O.A.*<sup>1</sup>, *Vaishnene L.A.*<sup>1</sup>, *Barabanov A.L.*<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Centre “Kurchatov Institute”, Gatchina, Leningrad district, 188300, Russia

<sup>2</sup>NRC “Kurchatov Institute”, 123182, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Moscow Institute of Physics and Technology, 141700, Dolgoprudny, Moscow Region, Russia

The experimental data on angular distributions of fission fragments for some actinide nuclei ( ${}^{232}\text{Th}$ ,  ${}^{233}\text{U}$ ,  ${}^{235}\text{U}$ ,  ${}^{238}\text{U}$ ,  ${}^{\text{nat}}\text{Pb}$  and  ${}^{209}\text{Bi}$ ) [1, 2] measured at intermediate neutron energies up to 200 MeV using the neutron TOF-spectrometer GNEIS at the PNPI 1 GeV proton synchrocyclotron in Gatchina are presented.

The measured angular distributions and anisotropy  $W(0^\circ)/W(90^\circ)$  calculated from these distributions are presented and compared with the data obtained by other authors. The experimental data for  ${}^{\text{nat}}\text{Pb}$  and  ${}^{209}\text{Bi}$  in a wide energy range (from threshold to 200 MeV) have been obtained for the first time.

References.

[1] A.S. Vorobyev, A.M. Gagarski, O.A. Shcherbakov, L.A. Vaishnene, A.L. Barabanov *JETP Letters*, 102(4) (2015) 203.

[2] A.S. Vorobyev, A.M. Gagarski, O.A. Shcherbakov, L.A. Vaishnene, A.L. Barabanov *JETP Letters*, 104(6) (2016) 365.



ASYMPTOTICS OF THREE-BODY BOUND STATE RADIAL WAVE FUNCTIONS OF HALO NUCLEI INVOLVING TWO CHARGED PARTICLES

Yarmukhamedov R.

Institute of Nuclear Physics, Tashkent 100214, Uzbekistan

In this work, the asymptotic forms derived for the radial and total three-body (123) wave functions of halo nuclei with two charged particles (1 and a core 3) in core-nucleon coordinates are presented. They are expressed in terms of the three-body asymptotic normalization functions (TBANF) being as a function of the ratio ( $r$ ) of the core-nucleon coordinates. It is demonstrated that when the core is very heavy the derived asymptotic forms become equivalent to the corresponding asymptotic formulae [1,2] obtained for the Jacobi coordinates.

The asymptotic form obtained for the radial wave functions has been compared in different parts of asymptotic regions with the approximate wave functions derived by D. Baye [3] within the Lagrange-mesh approach for the halo ( $E^*=3.562$  MeV) state of  ${}^6\text{Li}(pn\alpha)$  using two kinds of the nuclear  $\alpha\text{N}$  potential. The intervals of the relative core-nucleon  $r_{13}$  and  $r_{23}$  variables within which the approximate wave functions have a correct asymptotic behavior within about 10% have been determined.

One has used the region where the agreement between a radial wave function and the asymptotic expressions is excellent to deduce values for the TBANFs,  $C_{Li}^{(j)}(r)$  ( $j=1$  and  $2$ ), for the  ${}^6\text{Li}^*(E^*=3.562$  MeV) nuclear depending on the ratio  $r=r_{13}/r_{23}$  for the lowest admitted dominant values of the quantum numbers of  $L$  and  $l$  being the total and relative orbital momentum, respectively, for the aforementioned bound ( $pn\alpha$ ) system. It is demonstrated that the values of the TBANFs are sensitive to the form of the  $\alpha\text{N}$  potential used. Besides, it is revealed the region of changing the ( $r_{13}, r_{23}$ ) pair where the mirror symmetry occurs for the TBANFs derived for the isobaric ( ${}^6\text{He}(\text{g.s.}), {}^6\text{Li}^*(E^*=3.562$  MeV) pair in the present work and in Ref. [4].

The deduced TBANFs are in principle observable quantities, for example, from an analysis of the experimental differential cross sections for the exchange  $\alpha({}^6\text{Li}, \alpha){}^6\text{Li}^*(3.562$  MeV) and transfer  $\alpha({}^3\text{He}, p){}^6\text{Li}^*(3.562$  MeV) reactions. Therefore, it would be interesting to compare present results with experimental ones. It would make it possible to choose the form of the  $\alpha\text{N}$  potential by comparing the phenomenological values of  $C_{Li}^{(j)}(r)$  ( $j=1$  and  $2$ ) with these values obtained in the present work. They would allow one to get additional information about the form of the  $\alpha\text{N}$  potential and to verify an accuracy of the approximate wave function as a source of reliable information on the  $C_{Li}^{(j)}(r)$  asymptotic normalization functions. In this connection, it would be highly encouraged to do such an experiment.

- [1]. L. D. Blokhintsev, M. K. Ubaydullaeva, and R. Yarmukhamedov, Phys. At.Nucl. **68** (2005) 1427.
- [2]. A.M. Mukhamedzhanov, M.K. Ubaydullaeva, R. Yarmukhamedov, Theor. and Math. Phys. **94** (1993) 315.
- [3]. D. Baye, private communication(unpublished).
- [4]. R. Yarmukhamedov, D. Baye, and Ch. Leclercq-Willain, Nucl.Phys. A **705** (2002) 335.

ELECTROMAGNETIC REACTIONS WITH THE DEUTERON IN THE BETHE-SALPETER APPROACH

Bondarenko S., Burov V.

Bogoliubov Laboratory of Theoretical Physics, Joint Institute for Nuclear Research, 141980 Dubna, Russia

The solution of the Bethe-Salpeter equation with separable kernel of the NN-interaction for deuteron and interacting np-pair is considered. The obtained solutions are used to investigate reaction of the elastic electron-deuteron scattering at high momentum transfer. The relativistic covariant Graz II separable kernel of nucleon-nucleon interactions is used to analyze the deuteron structure functions, form factors and tensor of polarization components. The modern data for the electromagnetic nucleons structure from the double polarization experiments as well as some other models of the nucleon form factors are considered.

To investigate the reactions with the deuteron breakup the relativistic complex separable neutron-proton interaction kernel is proposed. The uncoupled and coupled partial-wave states with the total angular momentum  $J=0,1$  are considered. The model parameters are determined by fitting the phase shifts and inelasticity parameter in the partial-wave states as well as low-energy scattering parameters.

The obtained kernels are used to consider the exclusive electrodisintegration of the deuteron. The differential cross section is calculated within the impulse approximation under several kinematic conditions of the experiment. Final state interactions between the outgoing nucleons are taken into account. Partial-wave states of the neutron-proton pair with total angular momentum  $J = 0, 1$  are taken into account.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОГЕРЕНТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД $^{152}\text{Eu}$ И $^{239}\text{Np}$

*Бармина Е.В.*<sup>1</sup>, *Симакин А.В.*<sup>1</sup>, *Смирнов А.А.*<sup>2</sup>, *Седых С.Н.*<sup>3</sup>, *Каминский А.К.*<sup>3</sup>, *Стегайлов В.И.*<sup>3</sup>,  
*Тютюнников С.И.*<sup>3</sup>, *Шафеев Г.А.*<sup>1,4</sup>, *Щербаков И.А.*<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, ул.Вавилова-38, Москва, Российская федерация

<sup>2</sup> Институт физико-технических проблем, Дубна, Российская федерация

<sup>3</sup> Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Российская федерация

<sup>4</sup> Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Российская федерация

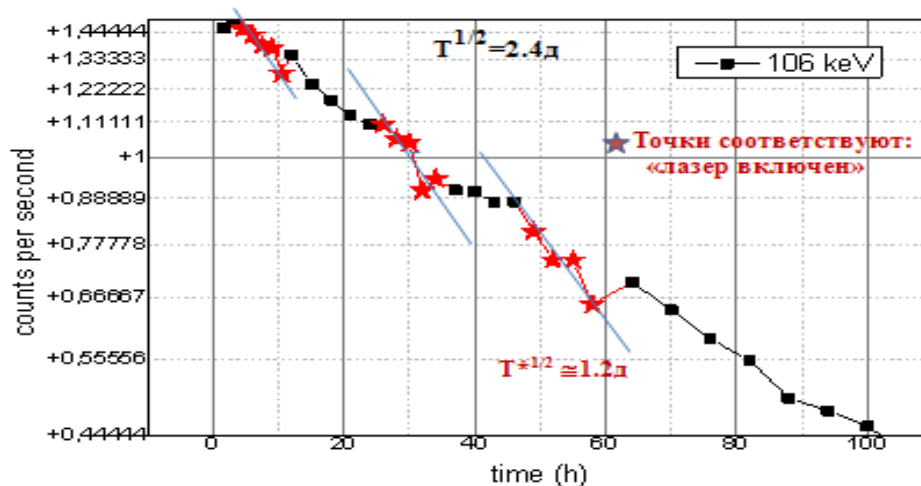
Эксперименты проводились в рамках проекта «Энергия и Трансмутация РАО» и были направлены на решение задачи изучения характеристик ядерно-физических процессов, происходящих в ядрах под воздействием когерентного электромагнитного излучения. Целью экспериментов /1,2,3/ является изучение механизмов влияния электромагнитного излучения СВЧ диапазона и лазерного излучения на вероятность радиоактивного распада ядер в т. ч.  $^{152}\text{Eu}$  ( $T_{1/2}=12.8$ ), а также, с другой стороны, исследование методами ядерной спектроскопии каналов радиоактивного распада облученных нуклидов .

Образец  $^{152}\text{Eu}$ , внедренный в алюминиевую фольгу толщиной  $\sim 25\text{мкм}$ , облучался в течение 6 часов СВЧ-излучением (30 ГГц) с плотностью потока  $\sim 50 \times 10^{-3}$  Дж/см<sup>2</sup>. Далее спектр гамма-излучения  $^{152}\text{Eu}$  исследовался на распад /2,3/, т.е. исследовался спад интенсивности излучения наиболее сильных переходов в спектре гамма-лучей в зависимости от времени, в течение 90 дней. См. материалы «ЯДРО-2017» и /2, 3 /.

Нами также исследовался распад ядер  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{231}\text{Th}$ ,  $^{234}\text{Th}$  /1/ и  $^{239}\text{Np}$  при воздействии лазерного излучения на их водные растворы. Особый интерес представляет ядро актинида бета-минус распадчика  $^{239}\text{Np}$ , для исследования которого использовался Nd:YAG лазер с длиной волны 1064 нм, длительностью импульса 10нс, частотой 10 кГц, энергией в импульсе - 2 мДж. Излучение фокусировалось с помощью линзы сквозь прозрачное для него окно стеклянной кюветы на мишень  $^{239}\text{Np}$ , помещенную в водный раствор. В таких условиях происходит образование наночастиц в растворе, ответственных за плазмообразование, и коллективные эффекты ускорения электронов в плазменном канале. Концентрация наночастиц определяется близостью перетяжки лазерного пучка к мишени и временем лазерного облучения /1/. См. материалы конф. «ЯДРО-2017».

Изменение периода полураспада ядра  $^{239}\text{Np}$  ( $T_{1/2}=2.36$  д) по гамма линии 106 кэВ представлено на рисунке.

**Изменение периода полураспада ядра Np239 (  $T_{1/2}=2.36$  )**



### Литература:

- 1 Бармина Е.В., Симакин А.В., Стегайлов В.И., Тютюнников С.И., Шафеев Г.А., Щербаков И.А. Квантовая электроника, 47, № # (2017)
- 2 Гонс З., Седых С.Н., Стегайлов В.И., Тютюнников С.И. и др. Девятая международная конференция по изучению микроволнового и терагерцового излучения, Нижний Новгород, июль 24-30, 2014.
- 2 Смирнов А.А., Стегайлов В.И., Калинин В.Г., Тютюнников С.И. и др., к. «Ядро2015», С. Петер. с257.

РАСПАД НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР Ho (Z=67) с A=156,158,160,162,164

Ваганов Ю.А. , Гонс З. , Калинин В.Г. , Сушков А.А. , Стегайлов В.И. , Юшкевич Ю.В.

Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Российская федерация

Систематические экспериментальные исследования редкоземельных ядер в области массовых чисел  $A > 150$  послужили основой для обоснования ныне широко используемых теоретических моделей ядра (таких как обобщенная, квазичастично-фононная, модель взаимодействующих бозонов). Если свойства четно-четных сильнодеформированных ядер и ядер с нечетным  $A$  описываются моделями неплохо (во многих случаях достигнуто количественное согласие экспериментальных и расчетных данных), то установление структуры и схем распада нечетно-нечетных ядер затруднено. Основой из причин является изомерия этих ядер. См. табл.

Изомерия в ядрах Ho вызвана особенностью расположения уровней протонной и нейтронной системы у границы Ферми (состояния  $7/2^-$ -[523],  $1/2^+$ -[411],  $7/2^+$ -[404],  $1/2^-$ -[541] – у протона,  $5/2^-$ -[523],  $3/2^-$ -[521],  $5/2^+$ -[642],  $11/2^-$ -[505] – у нейтрона). Связь неспаренных протона и нейтрона в сильно различающихся нильсоновских состояниях и приводит к изомерным уровням.

Изомерные E3-переходы в  $^{158,160}\text{Ho}$  (и в  $^{162,164}\text{Ho}$ ) сильно заторможены по сравнению с оценками по Вайскопфу (соот.  $2,5 \cdot 10^4$ ;  $2,6 \cdot 10^5$ ;  $1,5 \cdot 10^3$ ;  $1,8 \cdot 10^4$ ). Сильно заторможены и M2-переход в  $^{160}\text{Ho}$  ( $F_3 = 8 \cdot 10^4$ ). Однако M3-переход в  $^{156}\text{Ho}$  менее заторможены ( $F_3 \approx 100$ ).

При бета-распаде  $^{156}\text{Er}$ ,  $^{158}\text{Er}$  и  $^{160}\text{Er}$  реализуется разрешенный, незадержанный (au)-переход Гамова-Теллера путем превращения  $p7/2^-$ -[523]  $\rightarrow$   $n5/2^-$ -[523] с возбуждением в дочерних нечетно-нечетных ядрах Ho состояния  $1^+ \{p7/2^-$ -[523] –  $n5/2^-$ -[523]}. В более тяжелых ядрах Ho ( $A = 162, 164$  уровни  $1^+$  указанного типа давно идентифицированы – это основные состояния. В более легких ядрах Ho такие состояния были идентифицированы нашей группой относительно недавно (см. табл.) путем наблюдения мягких E1-переходов на изомер  $2^-$  в  $^{158}\text{Ho}$  и  $^{160}\text{Ho}$ , и на изомер  $1^-$  в  $^{156}\text{Ho}$ . Эти E1-переходы оказались довольно заторможены. Однако их факторы замедления (соот.  $3 \cdot 10^3$ ;  $1,3 \cdot 10^3$ ;  $1,2 \cdot 10^3$ ) соответствуют систематике вероятностей E1-переходов в деформированных ядрах редкоземельной области.

Времена жизни в ядрах $^{156,158,160}\text{Ho}$			
$^{160}_{67}\text{Ho}_{93}$	$Q_{\text{EC}}=330 \pm 30 \text{ KeV}$	$T_{1/2}^{^{160}\text{Ho}_{(g.s.)}}=25.6 \text{ min};$ $E_{\gamma\gamma}=60 \text{ keV}, 2^-, T_{1/2}=5.02 \text{ h(m)}$ 1. $T_{1/2}^{9^+^{160m2}\text{Ho}}=3.2 \pm 0.2 \text{ s}$ 2. $E_{\gamma\gamma}=118 \text{ keV}, t_{1/2}=56 \text{ ns};$ 3. $E_{\gamma\gamma}=67 \text{ keV}, t_{1/2}=28 \pm 2 \text{ ns}$	on line и off line ЯСНАПП
$^{158}_{67}\text{Ho}_{91}$	$Q_{\beta^+}=890 \pm 30 \text{ keV}$	$T_{1/2}^{^{158}\text{Ho}_{(g.s.)}}=11 \text{ min};$ $E_{\gamma\gamma}=67 \text{ keV}, 2^-, T_{1/2}=2.7 \text{ min(m)}$ . * 1. $T_{1/2}^{9^+^{158m2}\text{Ho}}=21 \text{ min}$ 2. $E_{\gamma\gamma}=147 \text{ keV}, t_{1/2}=1.8 \pm 0.2 \text{ ns}$ 3. $E_{\gamma\gamma}=92 \text{ keV}, t_{1/2}=140 \pm 25 \text{ ns}$ 4. $E_{\gamma\gamma}=75 \text{ keV}, t_{1/2}=58 \pm 3 \text{ ns}$	on line и off line ЯСНАПП
$^{156}_{67}\text{Ho}_{89}$	$Q_{\beta^+}=1410 \pm 15 \text{ KeV}$	$T_{1/2}^{^{156}\text{Ho}_{(g.s.)}}=56 \text{ min};$ $E_{\gamma\gamma}=52 \text{ keV}, 1^+, T_{1/2}=9.5 \pm 1.5 \text{ s(m)}$ 1. $T_{1/2}^{9^+^{156m2}\text{Ho}}=7.25 \pm 0.35 \text{ min}$ * 2. $E_{\gamma\gamma}=118 \text{ keV}, t_{1/2}=58 \pm 3 \text{ ns}$ 3. $E_{\gamma\gamma}=82 \text{ keV}, t_{1/2}=1.3 \pm 0.1 \text{ ns}$	on line и off line ЯСНАПП

Литература:

В.Г.Калининков, В.И.Стегайлов, Ю.А.Ваганов, Т.А.Исламов, Ж.Сэрээтэ, Ю.В.Юшкевич, конф. «Ядро-2016», Саров, с.112-113.

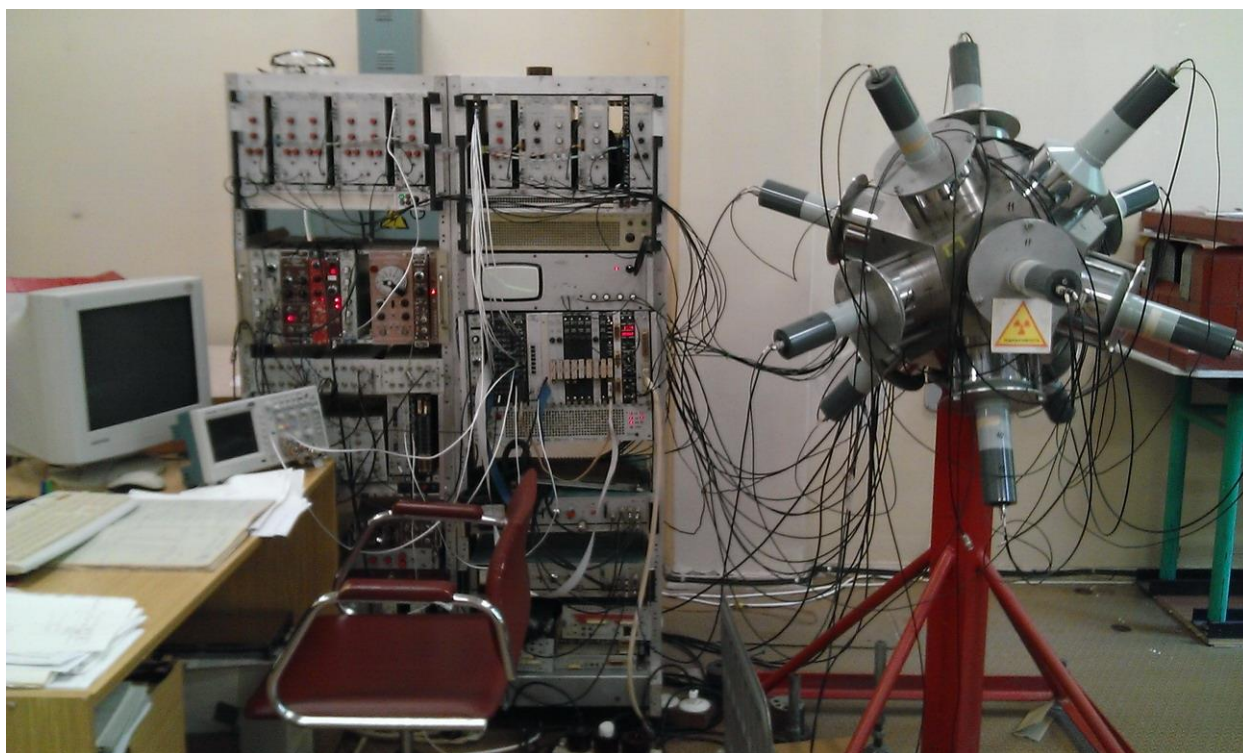
**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ЯДЕР С ПОМОЩЬЮ МНОГО - ДЕТЕКТОРНОГО СПЕКТРОМЕТРА  
СОВПАДЕНИЙ ТИПА «ДОДЕКАЭДР»**

*Чалоун П., Адам И., Стегайлов В.И. Тютюнников С.И.*

Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Российская федерация

Исследования радиоактивных мишеней и образцов, полученных в процессе облучения в поле электроядерных нейтронов установки «КВИНТА», проводимые в рамках программы «Энергия-Трансмутация» базируются на спектрометрическом комплексе, состоящем из разных типов детекторов и аппаратуры и позволяющем проводить измерения спектров гамма-лучей и спектров рентгеновского излучения, спектров конверсионных электронов и спектров альфа излучения, который пополнился высокоэффективным спектрометром многократных совпадений.

В режиме многократных гамма-гамма совпадений ( режим позитрон-гамма совпадений, анти-комптоновский режим, режим многократных совпадений и т. д.) начаты физические измерения на многодетекторном спектрометре состоящем из одиннадцати большеобъемных NaJ(Tl) (диаметр и высота кристалла равна 100 мм ) детекторов. В качестве двенадцатого детектора возможно использование, как германиевого - Hр(Ge), так и кремниевого или сцинтилляционного детекторов. См. рис. Наряду со спектрами калибровочных источников нами измерены гамма-спектры рад. мишеней  $^{239}\text{Np}$ ,  $^{238}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и т.д. См. материалы конф. «Ядро»-2017, Алматы.



Литература:

Адам И., Чалоун П., Стегайлов В.И., Пражак Ф. конф.«Ядро-1995», Санкт-Петербург, 20-30июня, с.430

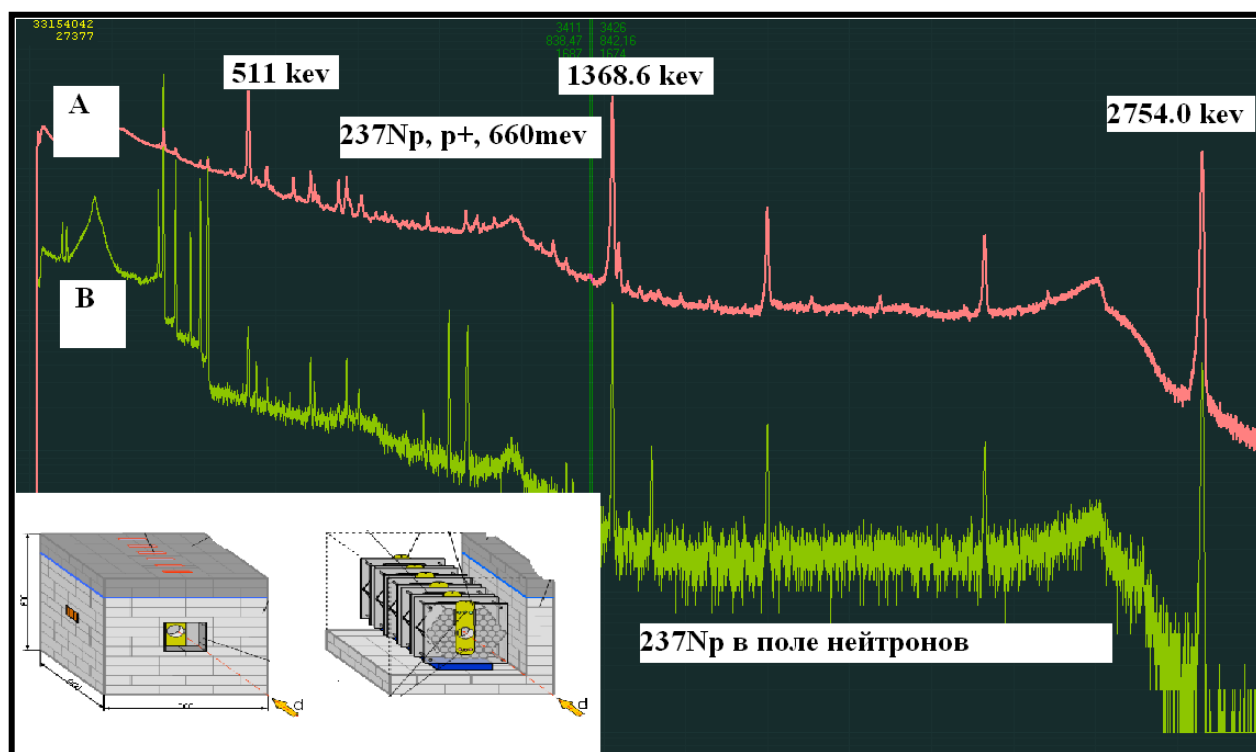
ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ЯДЕР ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МИШЕНЕЙ  $^{237}\text{Np}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  И  $^{241}\text{Am}$  В ПОЛЕ НЕЙТРОНОВ УСТАНОВКИ «КВИНТА» ФАЗОТРОНА ОИЯИ

Тютюнников С.И., Стегайлов В.И., Килим С., Шута М., Смирнов А.И., Далхажав О., Крячко И.А., Хушвактов Ж.Н.

Объединенный институт ядерных исследований, 141980, Дубна, Российская федерация  
tel. (49621)62175, e-mail: [tsi210647@yandex.ru](mailto:tsi210647@yandex.ru), [stegajlov2013@yandex.ru](mailto:stegajlov2013@yandex.ru)

Эксперименты проводились, на выведенном пучке протонов фазотрона Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ при токе 1 мкА и энергии 660 МэВ.

Целью работы является сравнение сечений реакций захвата и деления на различных радиусах установки «Квинта». Определение их отношения для остаточных ядер в мишенях  $^{237}\text{Np}$  (рис),  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  в поле нейтронов [1] на различных радиусах ( $R_{\text{max}}=150$  мм) урановой ( $^{238}\text{U}$ ) сборки «КВИНТА» при её облучении протонами с энергией 660 МэВ. Видно, что спектры измеренные на малом радиусе 20 мм (где процентное отношение высокоэнергетических нейтронов и протонов максимално) и дальнем радиусе 150 мм кардинально отличаются. См.рис. В спектре А снятом при  $R=20$  мм низко-энергетическая часть спектра (300-500)кэВ практически отсутствует. Измерение гамма спектров облученных мишеней проводилось с помощью HPGe детектора с эффективностью 30%, изготовленного в ИФТП [2], с использованием фильтра ( $\text{Pb}50\text{мм}+\text{Kd}2\text{мм}+\text{Cu}2\text{мм}+\text{Al}2\text{мм}$ ), на расстояниях от 100 мм и 400 мм. В процессе обработки результатов в продуктах каждого ядра мишени найдены короткоживущие остаточные ядра с периодом  $T_{1/2} > 15$  мин. См. доклад.



Литература:

1. S.Kilim et al. //XXII International BaldinSeminar, Russia, Dubna, September, 15-22, 2015.
2. A.A.Smirnov, V.I.Stegailov, S.I.Tyutyunnikov et al.//«Nucleus2015», St-Petersburg, P. 257

**DETAILED STUDY OF N-N CORRELATIONS IN THERMAL FISSION OF  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$**

*Guseva I.S., Gagarski A.M., Sokolov V.E., Petrov G.A., Zavarukhina T.A.*

NRC "Kurchatov Institute", B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute  
Gatchina, Leningrad District, 188300, Russia

Recently new precise measurements for the angular dependence of neutron-neutron (n-n) coincidence count rates in thermal fission of  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$  were performed on the reactor WWR-M in PNPI. The purpose of this experiment was to find more precisely the moment and place of neutron emission. It is known that most of prompt neutrons accompanying the fission process are evaporated from the fragments fully accelerated due to Coulomb interaction. However, some neutrons can appear directly at scission of nucleus. To distinguish them from the neutrons emitted after fully acceleration of fission fragments, the difference in the angular and energy distributions is normally used. But for a finding of the scission neutrons contribution in a fission process not only the neutron-fragment angular correlations is possible to use but also n-n coincidences can be applied to determine the conditions of prompt fission neutrons emission [1-4].

Evidently, to get true parameters of scission neutrons it is extremely important to obtain the experimental angular distributions free from systematic errors. The special attention in this work was paid to studying of the possible effects which can distort the experimental distributions (neutron scattering in the fission source and other surrounding materials, "cross-talks" between neutron detectors, etc.).

Theoretical description of experimental data was performed using the Monte-Carlo method. The necessary input parameters for these calculations, such as: energy spectra of neutrons in the fragment CM system, the average multiplicity and dispersion of emitted neutrons from each fragment together with the covariance parameter, were obtained from the other experiments and fixed. In addition to the above parameters the most probable final velocities of light and heavy fragments were introduced and fixed. We had also two fitting parameters, which determine the contribution of scission neutron component and their spectrum shape. It was supposed that the form of this component corresponds to Weisskopf distribution.

Using all of these parameters we have calculated the number of n-n coincidences for various angles between detectors, taking into account seven different neutron energy thresholds. The comparison of calculated results with the experimental data, obtained in PNPI, allowed us to determine for these three isotopes the most probable contributions of the isotropic components, which associated with so-called "scission" neutrons.

References

1. J.S. Pringle and F.D. Brooks, Phys.Rev.Lett. 35 (1975) 1563.
2. C.B. Franklyn, C.Hofmeyer, and D.W. Mingay, Phys.Lett. 78B (1978) 564.
3. Sokolov V.E., Petrov G.A., Guseva I.S et al., in Proceedings of XVIII International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Dubna, May 26-29, 2010, JINR, E3-2011-26 (Dubna, 2011), Pages 108-118.
4. A.M.Gagarski, I.S.Guseva, G.V.Val'sky, G.A.Petrov, V.I.Petrova, T.A.Zavarukhina, in Abstracts of XX International Seminar on Interaction of Neutrons with Nuclei, Alushta, Ukraine, May 21-26, 2012, JINR, E3-2012-36 (Dubna, 2012), page 42.

**DETECTORS FOR COMPLEX OF NON-CONTACT DIAGNOSTICS AND CONTROL OF FAST PROCESSES IN TRANSMUTATION ELECTRONUCLEAR INSTALLATION**

*Maltsev A., Maltseva M.*

JINR, Dubna, Russia, TENZOR, Dubna, Russia

A description of the measurement complex for correlative measurements of the main parameters and characteristics of fast processes ( $\Delta t = 1 \mu\text{sec}$ ) of transmutation in a subcritical electronuclear reactor is given. The complex contains opto-electronic and spectral detectors operating in real time with a computer system.

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЯДЕРНОГО  
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ**

*Кожемякин В.А.*

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»  
г. Минск, Республика Беларусь

Основным элементом приборов, аппаратуры и систем, применяемых в области ядерно-физических измерений, являются детектирующие устройства для регистрации различных видов ядерных излучений.

Современные технологии и устройства детектирования в области ядерного приборостроения в большинстве случаев основаны на создании и использовании блоков детектирования, представляющих собой законченные интеллектуальные устройства с тем или иным видом интерфейса, обеспечивающим их подключение к аппаратуре управления, сбора и обработки данных (устройства обработки и отображения информации, персональные компьютеры, системы верхнего уровня и т.д.).

В докладе представлен широкий спектр разработанных и промышленно изготавливаемых интеллектуальных блоков детектирования на основе различных видов детекторов  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -, X-, n-излучений, функционально законченных и используемых в области дозиметрических, радиометрических, спектрометрических и других измерений. Располагая такого рода устройствами, проектировщики систем, аппаратуры, приборов получают возможность для гибкой и эффективной разработки аппаратно-программных средств различного назначения, востребованных на практике.

“Интеллектуальные” блоки или устройства детектирования метрологически обеспечиваются при выпуске, что значительно упрощает калибровочные процедуры для системных интеграторов.

Для целей метрологического обеспечения предлагается ряд современных эталонных градуировочных автоматизированных установок и технических средств (гамма-дозиметрия, нейтронная дозиметрия, бета-дозиметрия, дозиметрия околофоновых уровней, формирование поля гамма-излучения высоких энергий, спектрометрия высоких энергий и т.д.).

На основе используемых современных детекторных технологий и устройств создан ряд конкурентоспособных измерительных приборов, аппаратуры и систем для целей радиационного контроля и ядерных измерений:

- стационарные гамма-радиометры, гамма-спектрометры, гамма-бета-спектрометры для радиационного контроля проб окружающей среды;
- стационарные радиометры активности  $\alpha$ - и  $\beta$ -излучающих нуклидов в пробах;
- спектрометры излучения человека;
- портативные спектрометры-идентификаторы;
- мобильные и носимые радиационные сканеры;
- беспробоотборные спектрометры почвы, стройматериалов;
- погружные спектрометры;
- поисковые, дозиметрические и спектрометрические устройства для беспилотных летательных аппаратов (самолеты, вертолеты, квадрокоптеры);
- дозиметрические и спектрометрические устройства для робототехнических систем;
- автоматические пункты радиационного контроля для систем АСКРО;
- системы автоматической сигнализации о самоподдерживающейся цепной реакции;
- измерительные каналы для систем радиационного контроля;
- транспортные и пешеходные радиационные мониторы;
- многофункциональные дозиметры-радиометры;
- широкая номенклатура блоков детектирования для использования в системах АСРК;
- аппаратура аэрогамма-съемки для пилотируемых средств;
- блоки детектирования для использования в составе досмотровых установок (рентгеновского и ускорительного типов);
- устройства детектирования на основе SiPM;
- прочая аппаратура и устройства.

Значительная часть из них создана в рамках совместных работ и проектов с международным участием (IAEA, JAEA, NIST, СТВТО, РТВ и др., а также ряд ведущих российских организаций).

**ANGULAR AND ENERGY DISTRIBUTIONS OF FISSION NEUTRONS FOR U-233, U-235, Pu-239 AND Cf –252**

Vorobyev A.S., Shcherbakov O.A., Gagarski A.M., Val'ski G.V., Petrov G.A.

B.P. Konstantinov Petersburg Nuclear Physics Institute of National Research Centre “Kurchatov Institute”, Gatchina, Leningrad district, 188300, Russia

The measurements of angular and energy distributions of the prompt fission neutrons from thermal neutron-induced fission of  $^{233}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  and from spontaneous fission of  $^{252}\text{Cf}$  were carried out at the WWR-M research reactor in Gatchina, Russia. Some peculiarities were found in the angular distribution of the prompt fission neutrons. It is possible to explain them by assuming that in the centre of mass system of fission fragment the neutrons are more likely emitted along fission direction than in the perpendicular to one. The value of anisotropy of neutrons emission in the center of mass system of fission fragment was obtained and was equal to 6-8%. Also the yields of “scission” neutrons and their spectra have been estimated.

References.

- [1] А.С. Воробьев, О.А. Щербаков, Вопросы атомной науки и техники, Сер. Ядерные константы, Обнинск, ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского», вып. 1-2, 2011-2012, с.37.
- [2] R. Capote, Y.-J. Chen, F.-J. Hamsch, N.V. Kornilov, J.P. Lestone, O. Litaize, B. Morillon, D. Neudecker, S. Oberstedt, T. Ohsawa, N. Otuka, V.G. Pronyaev, A. Saxena, O. Serot, O.A. Shcherbakov, N.-C. Shu, D.L. Smith, P. Talou, A. Trkov, A.C. Tudora, R. Vogt, A.S. Vorobyev, Nuclear Data Sheets, 131 (2016) 1.
- [3] А.С. Воробьев, О.А. Щербаков, Вопросы атомной науки и техники, Сер. Ядерно-реакторные константы, Обнинск, ГНЦ РФ «Физико-энергетический институт им. А.И. Лейпунского», вып. 2, 2016, с.52.

**НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА:  
НЕЙТРОННАЯ РАДИОГРАФИЯ И ТОМОГРАФИЯ**

*Мухаметулы Б.*

Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби  
Алматы, Республика Казахстан  
Лаборатория Нейтронной Физики имени И.М. Франка  
Объединенный Институт Ядерных Исследований  
Дубна, Россия

В структурном анализе кристаллов существуют задачи, решение которых рентгеновскими методами связано с большими трудностями, а иногда вообще невозможно на современном уровне техники эксперимента. В первую очередь к ним относятся определение положений легких атомов в окружении тяжелых, изучение структур, содержащих элементы с близкими атомными номерами, анализ магнитной структуры кристаллов, исследование теплового движения атомов и магнитных моментов в кристаллах. В этих случаях (и ряде других) наиболее эффективным экспериментальным методом оказывается рассеяние нейтронов низких энергий (их обычно называют “медленными”), взаимодействие которых с веществом имеет другую, нежели в случае рентгеновских лучей, природу. Нейтроны в веществе взаимодействуют как с ядрами, так и с электронами атомов. Амплитуда ядерного рассеяния определяется свойствами ядерных сил; она не спадает с увеличением переданного импульса и не зависит от атомного номера таким регулярным образом, как для рентгеновских лучей. Магнитное взаимодействие нейтрона с магнитными моментами атомов в настоящее время служит основным источником информации о магнитных структурах.



ПОИСК СТРУКТУР В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ЧАСТИЦ УЗКОГО ПЕРЕДНЕГО КОНУСА ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ

Аргынова А.Х., Жуков В.В., Каратаева А.А., Квочкина Т.Н., Локтионов А.А., Пискаль В.В., Садыков Т.Х., Степанов А.

Физико-технический институт – Алматы, Казахстан,  
Физический институт РАН – Отделение ТШВСКЛ - Алматы, Казахстан,  
Институт ядерной физики - Алматы, Казахстан

Поиск и изучение энергетических и геометрических корреляций в узком переднем конусе множественных процессов является актуальной задачей современной физики высоких энергий. Первые необычные результаты в этом направлении были получены в исследованиях космических лучей в стратосферных и высокогорных экспериментах предыдущего поколения [1, 2]. Прежде всего, следует отметить обнаружение двух эффектов, изучение которых продолжается до настоящего времени. Первое – это геометрическая прямолинейная выстроенность наиболее энергичных групп вторичных частиц и второе – очень сильные флуктуации в распределениях энергии между адронной и электромагнитной компонентами рожденных частиц. В настоящее время структурные особенности явления выстроенности групп вторичных частиц в космических лучах изучаются на основе различных подходов к анализу струйных процессов в коллайдерных взаимодействиях при высоких энергиях [3, 4].

Эффективный подход к изучению множественных процессов с резко различными начальными условиями для протон-протонных, протон-ядерных и ядро-ядерных взаимодействий на основе двухадронных угловых корреляций развит в современных коллайдерных исследованиях. В пространстве  $(\Delta\eta, \Delta\phi)$  относительных псевдобыстрот  $\Delta\eta$  и азимутальных углов  $\Delta\phi$  различные источники корреляций дают свой характерный вклад в общую картину корреляционной поверхности. Структурными особенностями такого поля являются узкий пик в районе  $(\Delta\eta, \Delta\phi) = (0,0)$ . При  $\Delta\phi = 0$  пик дополняется четким и широким по  $\Delta\eta$  гребнем, так называемый near-side ridge. Второй гребень, - away-side ridge, - характерный для p-p взаимодействий, располагается при  $\Delta\phi \sim \pi$ . На этой основе корреляционные структуры в соударениях p - p, p (d) – Au, Au – Au, p - Pb, Pb - Pb были изучены во всех экспериментах на коллайдерах RHIC и LHC. Для частиц переднего конуса анализ двухадронных корреляционных структур выполнен коллаборацией LHCb [5] при  $1.5 < \eta < 4.4$  для конфигурации соударений p + Pb и при  $-5.4 < \eta < -2.5$  для конфигурации Pb + p, что дополняет результаты, полученные ранее в центральной области.

Для изучения в современных коллайдерных экспериментах аномальных энергетических корреляций космических лучей разработан эффективный форвард-калориметр CASTOR с высокой продольной и азимутальной сегментацией, ориентированный на работу в переднем конусе множественных процессов при  $5.2 < \eta < 6.6$  [6]. В этом году коллаборацией CMS даны инклюзивные энергетические спектры, уносимые частицами в узком переднем конусе во взаимодействиях протонов при максимальных энергиях LHC коллайдра  $s^{1/2} = 13$  ТэВ [7]. В этой работе отдельно представлены спектры для электромагнитной и адронной компонент и для всех частиц вместе. Отметим, что сравнение с известными М-К моделями показало, что ни одна из моделей не описывает полностью полученные экспериментальные наблюдения.

В настоящее время на высокогорной станции космических лучей ФТИ на высоте 3340м над уровнем моря введена в строй первая очередь нового компьютеризированного детектора адронных взаимодействий космических лучей - АДРОН-55 [8]. Основная цель создания измерительного комплекса нового поколения состоит в изучении наиболее центральной части переднего кинематического конуса широких атмосферных ливней космических лучей.

Поиск энергетических и пространственных структур на основе анализа данных каждого отдельного взаимодействия, зарегистрированного системой АДРОН-55, составляет основную цель настоящего доклада.

3. S.B. Shaulov et al., The study of EAS cores, 19<sup>th</sup> ISVHECRI-2016, 22-27 Aug. 2016, Moscow.
4. А.С. Борисов, Международная сессия-конференция ОФН РАН, 17-21 ноября. 2014, Москва.
5. И.П. Лохин и др., Явление выстроенности в КЛ и на LHC, 31-ая ВККЛ, Москва МГУ, 2010.
6. R. Mukhamedshin, LHC data and cosmic ray coplanarity at superhigh energies, arXiv:1611.04117.
7. M. Witek, LHCb, Correlations and ridge in p-Pb collisions, XLVI ISMD2016, Seoul, 29 Aug 2016.
8. А.Б. Курепин и др., Поиск экзотических явлений на «CASTOR», Изв РАН, физ, 2011, 75, 428.
9. CERN CMS, The forward inclusive en. spectrum in p-p coll. at  $s^{1/2} = 13$  TeV. arXiv:1701.08695.
10. A.S. Borisov et al., HADRON-55 for study of interactions in EAS cores, 34-th ICRC2015, Netherlands.

## **ПОЛЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 10 МЭВ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЗИМЕТРИИ ПРИБОРОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ**

*Комар Д.И.<sup>1</sup>, Лукашевич Р.В.<sup>1</sup>, Гузов В.Д.<sup>1</sup>, Кожемякин В.А.<sup>1</sup>,  
Кутень С.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт ядерных проблем Белорусского государственного университета,  
г. Минск, Республика Беларусь

Поле высокоэнергетического захватного гамма-излучения для калибровки приборов радиационной защиты можно получить в результате захвата тепловых нейтронов на мишенях из титана (до 7 МэВ) и никеля (до 10 МэВ). Целью данной работы являлось исследование метрологических характеристик дозиметрических полей захватного гамма-излучения от мишеней из титана и никеля, полученных на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140 для обеспечения дозиметрии до 10 МэВ.

Выбраны энергетические интервалы, в которых можно калибровать дозиметрические приборы с учетом сопутствующего образованию нейтронов гамма-излучения источника быстрых нейтронов <sup>238</sup>PuBe, захватного излучения материалов коллиматора и захватного излучения от мишеней.

Для измерения мощности кермы в воздухе гамма-излучения использовался эталонный дозиметр ДКС-АТ5350 с ионизационной камерой ТМ32002. С помощью Монте-Карло моделирования получено энергетическое распределение мощности кермы в воздухе для мишеней. Установлены геометрические размеры равномерного поля и интервал рабочих расстояний установки.

Полученные поля гамма-излучения на установке УПН-АТ140 удобно применять для калибровки разрабатываемых средств радиационной защиты. Кроме того, существует номенклатурный ряд приборов с различными типами детекторов, которые можно дополнительно исследовать в подобных полях с целью расширения их энергетического диапазона измерений до 10 МэВ.

Исследованы метрологические характеристики полей захватного излучения от мишеней из титана и никеля, полученных на установке поверочной нейтронного излучения УПН-АТ140, для дозиметрических приборов радиационной защиты. Показано, что в таких полях можно проводить калибровку дозиметрических приборов в расширенном энергетическом диапазоне до 10 МэВ.

## **САМОСОГЛАСОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ E1-ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ОДНОФОННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В ПОЛУМАГИЧЕСКИХ ЯДРАХ**

*Войтенков Д. А.<sup>1</sup>, Камерджиев С. П.<sup>2</sup>, Толоконников С. В.<sup>2,3</sup>, Шитов М. И.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>ГНЦ РФ Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского, 249033 Обнинск, Россия

<sup>2</sup>Национальный Исследовательский Центр "Курчатовский Институт", 123182 Москва, Россия

<sup>3</sup>Московский физико-технический институт, 141700 Долгопрудный, Россия

<sup>4</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 115409 Москва, Россия

Метод изучения ангармонических эффектов [1], основанный на квантовой теории многих тел, впервые применяется для самосогласованного расчета вероятностей переходов между низколежащими однофоновыми состояниями полумагических ядер. Наш подход включает новые (т. е. трехквaziчастичные) корреляции в основном состоянии и самосогласование между средним ядерным полем и эффективным межнуклонным взаимодействием, для расчета которых используется метод энергетического функционала плотности с известными параметрами функционала Фаянса. Анализируется количественный вклад указанных корреляций в основном состоянии. Получено разумное согласие с экспериментом.

1. V.A. Khodel, E.E. Saperstein, Phys. Rep. **92**, 183, 1982.

---

## ***2. SOLID STATE RADIATION PHYSICS AND ISSUES OF MATERIALS SCIENCE***

- Formation and evolution of defects in solids
- Structural and fuel materials of nuclear and fusion facilities
- New materials and methods of their preparation, nano-materials

## ***2.РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА ТВЕРДОГО ТЕЛА И ПРОБЛЕМЫ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ***

- Формирование и эволюция дефектов в твердых телах
- Конструкционные и топливные материалы ядерной и термоядерной техники
- Новые материалы и методы их получения, наноматериалы

КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХ СТРУКТУР ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ

Ахмедов Ф.И.<sup>1,2</sup>, Садыгов А.З.<sup>1,2</sup>, Сулейманов С.С.<sup>2</sup>, Аббасов И.И.<sup>3</sup>

1-Национальный Центр Ядерных Исследований, г. Баку

2-Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку

3- Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г Баку

Для определения квантовой эффективности Микропиксельных Лавинных Фотодиодов (МЛФД, на англ. MAPD) использовался световой поток с интервалом длин волн в пределах 350 нм – 1400 нм от монохроматора MS520. Измерения фототоков производилось на пикоамперметре Keithley 6457 при комнатной температуре.

Исследовались два образца с различной внутренней конструкцией – MAPD 3N1P, MAPD 3NK. При известной квантовой эффективности эталонного PIN фотодиода в интервале длин волн 350-1100 нм, использовалось следующее выражение:

$$QE_{\text{mapd}} = (I_{\text{mapd}} * QE_{\text{pin}}) / I_{\text{pin}}$$

где,  $QE_{\text{mapd}}$ - квантовая эффективность исследуемого МЛФД,  $I_{\text{mapd}}$ - фототок МЛФД при облучении,  $QE_{\text{pin}}$ - квантовая эффективность эталонного PIN фотодиода,  $I_{\text{pin}}$ - фототок PIN при облучении.

Исследование показало, что фотодиод MAPD 3NK по сравнению с MAPD 3N1P при длине волн в интервале 350-500 нм меняется от 10 до 47%. Это из-за того, что MAPD 3NK фотодиоды имеют поглощающий слой SiN, толщина которого выбрана так, чтобы минимальное отражающая способность была минимальна при длине волны около 450 нм. Максимальная чувствительность в интервале длин волн 560-650 нм MAPD 3NK и MAPD 3N1P был световой поток с длинной волны 532 нм.

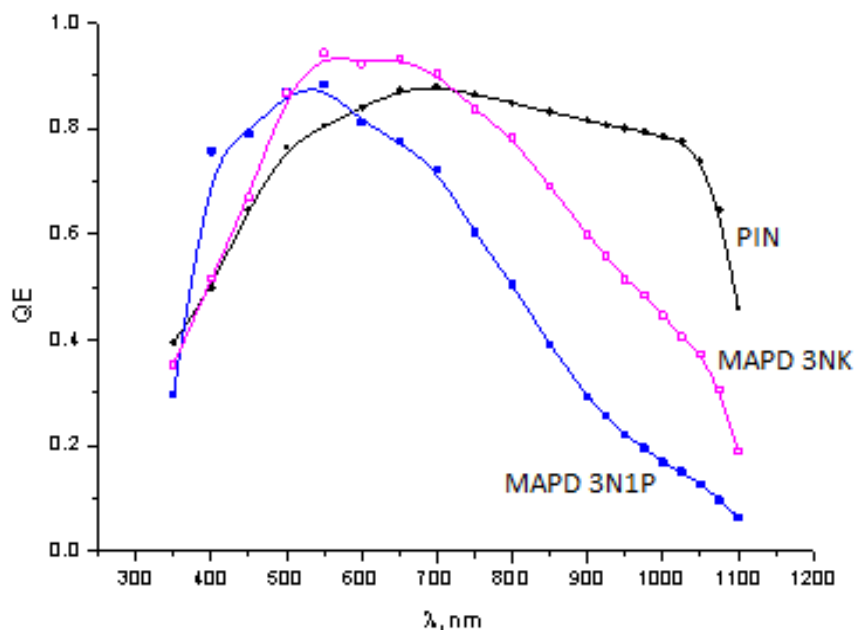


Рисунок 1. Зависимость квантовой эффективности от длины волны света.

Как видно на рисунке 1, чувствительность MAPD 3N1P резко уменьшается в интервале 750-1100 нм, что обратно для эталонного PIN фотодиода. Это объясняется тем, что толщина ОПЗ PIN фотодиодов равна 300мкм, что является причиной создания дополнительного фототока при поглощении фотонов.

Данная работа была выполнена при поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики Grant No.EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/04/1.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

Мадамов Р.С., Гаджиева Н.Н., Гусейнов Н.И., Асадов Ф.Г.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ-1143, г. Баку, ул.Б.Вагабзаде 9  
e-mail: farqanasadov@mail.ru

Монокристаллы GaS имеют типичную слоистую структуру, обладают сильно выраженную структурную анизотропию и представляют интерес, как с теоретической, так и с экспериментальной точек зрения. Анализ литературных данных показал, что структура и электронный спектр слоистых полупроводников, модифицированных примесями и радиационными излучениями, мало изучены и требуют дальнейшего исследования. Поэтому исследования радиационных эффектов в слоистых полупроводниках, в частности, GaS перспективны с практической точки зрения для прогнозирования стойкости материалов в условиях воздействия ионизирующих излучений.

Фурье ИК спектры образцов регистрировались на спектрометре FTIRVarian 3600 в области частот 4000-100 см<sup>-1</sup> при комнатной температуре. Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) были получены с помощью микрорамановского спектрометра RamanU 1000 с оптическим микроскопом Nikon EclipseLV150 при комнатной температуре. В качестве источника возбуждения применен лазер LCS-DTL-317 с излучением на длине волны ~ 532 нм. В настоящей работе представлены результаты экспериментальных исследований структурной модификации в слоистых кристаллах GaS при воздействии  $\gamma$ -квантов методами Фурье-ИК и Фурье КР-спектроскопии.

Монокристаллы GaS были выращены методом Бриджмена. При выращивании использовали избыток серы (1,5 %) с целью выяснения возможности заполнения вакансий атомами серы. Образцы облучались  $\gamma$ -квантами от источника <sup>60</sup>Co при комнатной температуре с мощностью дозы D=15,66 рад/с. При этом поглощенная доза, определенная дозиметром Фрикке, составляла D=30-200 кРад.

Спектры комбинационного рассеяния света исходного (1) и облученного (2) монокристалла p-GaS при комнатной температуре показывают, что наблюдаются пять линии при частотах 23,2, 75, 188,4, 294,2 и 360,2 см<sup>-1</sup>. Анализ полученных спектров показывают, что низкочастотные линии (23,2 и 75 см<sup>-1</sup>), соответствующие модам E<sub>2g</sub><sup>2</sup> и E<sub>1g</sub><sup>1</sup>, вызваны колебаниями между слоями, где связь осуществляется с помощью слабой силы Ван-дер-Ваальса, и они показывают одномодовый характер. Оставшиеся моды для колебаний типа E<sub>2g</sub><sup>1</sup>, E<sub>1g</sub><sup>2</sup> и A<sub>1g</sub><sup>2</sup> соответствующие линиям 188,4, 294,2 и 360,2 см<sup>-1</sup> могут быть связаны перераспределением вакансий, созданные как атомами серы, так и атомами галлия в слоях кристалла.

При облучении дозой до 50 кРад в спектрах КРС монокристаллов GaS интенсивность и ширина наблюдаемых полос практически не изменяются. С увеличением дозы облучения от 50 кРад и выше интенсивность полос 188,4, 294,2 и 360,2 см<sup>-1</sup>, а также 23,2 и 74,8 см<sup>-1</sup>, уменьшалась в 1,5÷2,5 раза, а полуширина увеличивается, что обусловлено увеличением напряженности межслоевого пространства с облучением. Характер изменения интенсивностей полос и полуширины спектров с облучением показывает, что в области высоких доз (выше 50 кРад) в результате взаимодействия радиационных дефектов, созданных  $\gamma$ -квантами, с дефектами решетки, исходные периодичности структуры слоистых кристаллов претерпевают изменения, способствующие более интенсивному распространению фононов вдоль оси симметрии.

В ИК спектрах, также как в КРС, наблюдаются полосы поглощения при 23,2, 74,8, 188,4 и 294,2 см<sup>-1</sup> интенсивности и полуширины которых изменяются с облучением. Изменение полос ИК-поглощения межслоевого колебания E<sub>2g</sub><sup>1</sup> при 23,2 см<sup>-1</sup> и внутри слоевого колебания A<sub>1g</sub><sup>2</sup> при 188,4 см<sup>-1</sup> в зависимости от поглощенной дозы облучения показывает, что с ростом значения поглощенной дозы происходит трансформация полос поглощения колебания E<sub>2g</sub><sup>1</sup> и A<sub>1g</sub><sup>1</sup>, что сопровождается изменением спектральных характеристик (I<sub>макс</sub>, V<sub>макс</sub> и v<sub>1/2</sub>).

Таким образом, исследования гамма модифицированной поверхности слоистого кристалла GaSe методами Фурье ИК и КР-спектроскопии в области поглощенной дозы гамма облучения (30-200 кРад) показывают, что при дозах облучения D < 50 кРад полуширина и интенсивности КР-линий (23,2 и 188,4 см<sup>-1</sup>), характеризующей межслоевого и внутри слоевого колебаний E<sub>2g</sub><sup>1</sup> и A<sub>1g</sub><sup>1</sup>, не изменяются, которые связаны стабильностью кристаллической решетки. При дозах D > 50 кРад наблюдаются увеличение полуширины и уменьшение интенсивности линии, что обусловлено изменением степени структурного беспорядка с облучением слоистого кристалла.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ  
ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ С ТОПЛИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ РЕАКТОРА  
ВТГР**

*Аскербеков С.К., Шестаков В.П., Чихрай Е.В., Кульсартов Т.В., Кенжина И.Е.*

Лаборатория конструкционных материалов ядерно-энергетических установок  
НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, ул. Аль-Фараби, 71, г. Алматы, Казахстан, e-mail: askerbekov@physics.kz

Для обеспечения безопасной работы высокотемпературного газоохлаждаемого реактора (ВТГР) необходимо рассмотреть целый ряд проектных и тяжелых (гипотетических) аварий, характерных для данного типа реакторов [1, 2].

В настоящей работе исследовался случай аварий, связанный с попаданием воды (пара) в активную зону ВТГР, сопровождающийся реактивными эффектами, а также интенсивными взаимодействиями воды с графитом при высоких температурах и повышением давления в первом контуре.

На сегодняшний день появились новые виды графита с антикоррозионным карбид кремневым (SiC) покрытием. Использование SiC покрытий ведет к значительному укреплению углеродных соединений и улучшению их свойств, которые в ином случае изменяются почти на всех стадиях работы ВТГР. Поэтому исследование и испытание графитовых элементов с SiC покрытием, в особенности исследование их взаимодействия с химическими активными газами (воздух, вода и т.д.), остается одним из актуальных и приоритетных задач.

Продукты реакций взаимодействия паров воды с топливными элементами реактора – это обычно газы: O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>. При серьезных авариях важно иметь прогнозируемые оценки количества и состава газовой смеси в реакторе. Эти данные необходимы для оценки возможных взрывных химических реакций, которые могут привести к повреждению корпуса реактора и его систем и попаданием радиоактивности в технологический контур и далее в окружающую среду.

Для реализаций модельного эксперимента использовалась установка по исследованию высокотемпературного взаимодействия химически активных газов с реакторными материалами (C<sub>org</sub>SiC<sup>a</sup>). В ходе эксперимента образец линейно нагревался до максимальной температуры 1400°C, организовывался подача окислителя (пар) в рабочую камеру причем в процессе подачи и установления равновесного баланса по газам в камере температура образца не изменялось, далее исследования проводились ступенчато при температурах 1300°C, 1200°C, 1100°C, 1000°C, 900°C, 750°C. За все время эксперимента регистрировалось изменение состава газа в рабочей камере с помощью масс-спектрометра RGA-100.

По результатам исследования были рассчитаны параметры констант скоростей реакций химически активных газов с поверхностями на основе двойных систем углерод-карбид кремния.

- 1 Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Кульсартов Т.В., Кенжина И.Е., Аскербеков С.К., Толебай А.Б. Исследование пассивной и активной коррозии SiC-покрытий // Тезисы докладов VII Международной конференции. Семипалатинский испытательный полигон радиационное наследие и перспективы развития, 21-23 сентября, 2016. – С. 151.
- 2 Шестаков В.П., Кенжина И.Е., Аскербеков С.К., Чихрай Е.В., Кульсартов Т.В., Толебай А.Б. Высокотемпературные испытания материалов ВТГР // Тезисы докладов VII Международной конференции. Семипалатинский испытательный полигон радиационное наследие и перспективы развития, 21-23 сентября, 2016. – С. 152.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ НАНОТРУБОК В АДРЕСНОЙ ДОСТАВКЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ

Ибрагимова М.А.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Металлические нанотрубки на основе никеля обладают рядом достоинств для биоприменения, определяющихся методом получения, своей геометрией и выбранным материалом. Так, использование ПЭТФ шаблонов позволяет задавать геометрические размеры, а параметры электрохимического осаждения – варьировать химический состав и степень кристалличности. Нанотрубки обладают однородными магнитными полями, низкой по сравнению с плотностью нанопроволок, и большой удельной поверхностью. Выбор никеля в качестве металла для получения нанотрубок предоставляет простую возможность функционализации поверхности и потенциальную возможность отсоединения полезного груза посредством магнитострикции. Все эти достоинства делают никелевые нанотрубки идеальным инструментом для адресной доставки лекарств и белков с использованием магнитного поля.

В данной работе рассмотрено получение нанотрубок на основе никеля, исследования их физико-химических свойств, а также проведение модификации поверхности методом аминирования кремнием, с целью функционализации поверхности для дальнейшего применения в качестве носителей для адресной доставки лекарств. Для изучения характеристик полученных нанотрубок были использованы методы РЭМ, ЭДА, РСА. Изучена способность реагировать модифицированных нанотрубок с бычьим сыворочным альбумином.

## СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОСТРУКТУР

Ибраева А.Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Ферромагнитные наноструктуры представляют большой интерес для науки и техники в связи с широким спектром их возможного применения. Одним из наиболее перспективных методов получения нанопорошков ферритов является метод механохимического синтеза. Однако для данных веществ переход от макроуровня к наноуровню сопровождается существенным изменением их структурных и физико-химических свойств. Понятно, что для эффективного использования материалов необходимо четкое понимание происходящих процессов в материале при таком воздействии.

Таким образом, целью данной работы является исследование свойств ферромагнитных наноструктур, полученных методом механохимического синтеза.

В работе механохимически получены ферромагнитные нанопорошки, исследованы их геометрические и структурные свойства методами растровой электронной микроскопии, элементный состав методом энергетической дифракционной спектроскопии и фазовый состав с помощью рентгеноструктурного анализа. Установлено, что увеличение количества циклов помола приводит не только к уменьшению средних размеров частиц, но и к появлению фазовых переходов, что, в свою очередь, означает изменение упорядоченности кристаллической решетки наночастиц и их физико-химических характеристик.

Таким образом, при механохимическом синтезе ферромагнитного материала происходит изменение не только линейных размеров частиц, но и их свойств.

**СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОКРЫТЫХ ЗОЛОТОМ**

*Тулебаева Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Без оболочки магнетитные наночастицы нестабильны и токсичны в физиологических условиях, а также их тяжелее функционализировать. Чтобы устранить эти недостатки, мы покрыли поверхность низкочастотного магнетита золотом, что обеспечивает их стабильность, минимизирует токсичность частиц, а также образует сильные ковалентные связи с серосодержащими лигандами, что обеспечивает простоту модификации поверхности. Существует большое количество работ, посвященных покрытию магнетита низкочастотной золотой оболочки. Основными задачами исследования были разработка и оптимизация методов получения и очистки наночастиц магнетит-золота типа ядра-оболочки, проведение комплексного физико-химического исследования наночастиц магнетита-золота, а затем демонстрация возможных применений в биомедицине.

В работе представлены результаты химического синтеза покрытых золотом наночастиц оксида железа, полученных гидролизом из хлоридов железа (II) и (III) в молярном отношении 1:2. Для изучения структурных и морфологических свойств магнетит исследовали под сканирующим электронным микроскопом и изучали методом рентгеновской дифракции. Согласно РЭМ – изображениям полученные частицы представляют собой сферические частицы средний размер которых составляет 27-30 нм, толщина покрытия золотом составляет не более 5-7 нм. Согласно данным РСА, полученные образцы двухфазны, ядром наночастиц служат  $Fe_3O_4$  наночастицы с кубической решеткой, параметры элементарной ячейки  $a=4.03702 \text{ \AA}$  отличающимся от эталонного значения, средний размер кристаллитов составляет 15-17 нм. Оболочка покрывающая магнитную сердцевину наночастиц представляет собой слой AuO с кубической структурой, параметром элементарной ячейки  $8.35365 \text{ \AA}$ .

**ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА  $Fe_3O_4$**

*Ермекова А.<sup>1,2</sup>, Тулебаева Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Магнитные наночастицы вызывают огромный интерес благодаря своим уникальным свойствам. Одним из наиболее изученных наночастиц является магнетит  $Fe_3O_4$ , который имеет интересные физические свойства, такие как полуметаллический характер и сильная спиновая поляризация при комнатной температуре. Кроме того, его магнитные свойства могут настраиваться по размеру и форме. Таким образом,  $Fe_3O_4$  имеет применение в устройствах туннельного магнитосопротивления, датчиках, магнитном хранилище данных, феррожидкостях и биомедицинских полях.

В данной работе представлено получение нано структур на основе оксида железа методом химического осаждения, исследование структурных свойств и морфологию  $Fe_3O_4$ - наночастиц в зависимости от изменения pH-раствора. В работе магнетит был получен гидролизом смеси хлорида железа (II) и (III) в молярном соотношении 1:2 и добавлением гидроксида аммония.

Исследовалось изменение pH среды = 1,5,7, время нахождения наночастиц в растворе 1,5,10 дней, температура раствора 25 и 37 °С. Установлены кинетические кривые изменения структурных свойств в зависимости от кислотности среды.



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК

*Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Боргеков Д.Б.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

В современном материаловедении облучение электронными пучками и потоком гамма квантов металлических наноструктур является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных и проводящих свойств материалов.

Среди всех металлических наноматериалов, медь (Cu) представляет особый интерес, так как медные наноструктуры обладают высокой электропроводностью и играют важную роль в разработке датчиков для электроники, а также применяются в качестве катализаторов. На сегодняшний день существуют различные методы синтеза Cu нанокристаллов с различной морфологией, таких как кубики, наностержни, сигарообразные нанокристаллы, и треугольные нанокристаллы, нанодиски, нанопроволоки. Возможность контролируемого регулирования физических и химических свойств наноструктур способствуют расширению области их использования. При этом стабильность физических и структурных свойств наноматериалов лежит в основе определения надежности устройств на их основе. Одним из способов изменения физико-химических свойств наноструктурных материалов является радиационная модификация. Одной из актуальных проблем радиационной модификации наноматериалов является контролируемое формирование дефектов в кристаллической структуре и их рекомбинация с целью улучшения прочностных и проводящих свойств наноструктур. При этом немаловажным фактором является дальнейшая миграция дефектов, способная существенно изменить структуру материалов.

В работе представлены результаты исследований влияния различного вида излучений на структурные и проводящие свойства медных нанотрубок, полученных методом электрохимического синтеза в порах темплатных матриц на основе полиэтилентерефталата. Методами РЭМ, РСА и ЭДА установлено, что облучение потоком электронов и гамма квантами с дозами 50 и 100 кГр позволяет модифицировать кристаллическую структуру нанотрубок, увеличивая их проводимость и снижая сопротивление, наноструктур, не разрушая их структуру. Увеличение дозы облучения приводит либо к незначительному изменению проводящих свойств для высокоэнергетичных электронов и гамма квантов, либо к ухудшению проводящих свойств за счет появления оксидных соединений в кристаллической структуре и последующей деструкции образцов.

## СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК

*Калиекперов М.Е.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

На протяжении многих лет тонкие пленки привлекают внимание исследователей всего мира и находят применение в различных областях науки и техники. Широкий интерес обусловлен многообразием структур, уникальными физико-техническими характеристиками. Также тонкие пленки позволяют изучать явления, которые затруднительно наблюдать в массивных телах.

Различные сферы применения пленок требуют набор определенных характеристик. Свойства тонких пленок сильно зависят от многих факторов, таких как: метод осаждения, структурные особенности пленки, морфология поверхности, химический состав осаждаемого материала и подложки и т.д. Поэтому необходимо тщательное изучение всех параметров синтеза.

В данной работе исследована технология синтеза тонкопленочных покрытий на основе композиционных материалов с разным элементным составом методом электрохимического осаждения. Также проведен анализ структурных особенностей полученных покрытий с помощью РЭМ и рентгеновской дифрактометрии, изучен их химический состав методом ЭДА. Исследована зависимость физико-химических характеристик образцов от условий синтеза. Обсуждены возможности применения данных тонкопленочных покрытий в качестве радиационно-стойких защитных экранов для применения в аэрокосмической промышленности.

## ПОЛУЧЕНИЕ FeNi НАНОТРУБОК МЕТОДОМ ШАБЛОННОГО СИНТЕЗА

Уразаева М.А.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Дисперсные структуры пермаллоя в магнитном вихревом состоянии представляют собой перспективный новый тип магнитных наночастиц для биомедицинских применений. Они характеризуются высокой намагниченностью насыщения и отсутствием остаточной активности, что облегчает дистанционное манипулирование частицами магнитными полями и соответственно позволяет избежать проблемы агломерации.

Биметаллические наночастицы (BMNP) получили большое внимание из-за их модифицированных свойств по сравнению с их монометаллическими аналогами. Они выполняют простую комбинацию свойств, связанных с их отдельными аналогами, а также множество увлекательных новых свойств с комбинацией нескольких функций. Структуры BMNP структурно могут быть классифицированы как легированные структуры, ядро / оболочка и гетероструктура. Металлы 3d-перехода, содержащие Fe, Co, Ni, являются наиболее заметными материалами из-за их специфических характеристик и практического применения.

Среди них FeNi в различных структурных формах привлекает значительное внимание из-за множества выдающихся каталитических, магнитных и механических свойств. Это катализатор для фотокаталитической эволюции водорода *in situ*, мягкого магнитного материала с высокой намагниченностью насыщения, высокой магнитной проницаемостью, низким тепловым расширением и отличной коррозионной стойкостью. Несколько методов получения FeNi, таких как механическое легирование, процесс криоконденсации, золь-гель-горения, конденсация с паровым конденсацией, импульсный лазер и СВЧ-плазма

Недавно обнаружено, что аморфные оксиды металлов и особенно многокомпонентные оксиды на основе FeNi имеют гораздо более высокую производительность, чем характеристики чистой формы их объемных аналогов. Эта композиция может быть оптимальным выбором для различных применений благодаря хорошей реакционной способности и селективности, антиспеканию и низкой токсичности, лучшей адсорбционной эффективности токсичных элементов, таких как мышьяк, и значительно более высокой активности для реакции выделения кислорода (OER), которая является важной полуреакцией, связанной с разделением воды.

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ НА СВОЙСТВА Ni-НАНОТРУБОК

Шлимас Д.И.<sup>1,2</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

Нанотехнологии являются одним из наиболее перспективных и активно развивающихся направлений XXI века, в связи с чем огромное внимание уделяется развитию способов синтеза, модификации и потенциального применения.

Принято считать, что темплатный синтез является одним из наиболее простых и недорогих методов получения наноструктур. Данная методика позволяет контролировать состав, структуру и геометрию получаемых наноструктур.

В данной работе рассматривается влияние налетающих ионов на структурные и проводящие характеристики нанотрубок на основе никеля. На сегодняшний день большое внимание уделяется исследованию взаимодействия ионизирующего излучения с нанопроволоками, однако, об исследовании свойств облученных металлических нанотрубок слабо освещено. Интерес обусловлен не только возможностью определить границы применимости наноструктур в экстремальных условиях повышенного радиационного фона, но и перспективой модификации структурных и проводящих характеристик нанотрубок.

**INFLUENCE OF THERMAL ANNEALING ON OPTICAL AND PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF GaS MONOCRYSTALS WERE IMPLANTED PROTONS WITH 70 KeV ENERGY**

Madatov R.S.<sup>1,2</sup>, Taghiyev T.B.<sup>1</sup>, Jahangirov M.M.<sup>1</sup>, Ahmadov F.İ.<sup>1</sup>, Faradjova U.F.<sup>2</sup>

1- Institute of Radiation Problems, Azerbaijan National Academy of Sciences

2-Azerbaijan National Academy of Aviation

E-mail: [muradcahangirov@mail.ru](mailto:muradcahangirov@mail.ru)

In recent years, the application of nanotechnology in microelectronics, photonics and information technology requires the synthesis and study of nanostructured materials with novel properties. The existence of quantum size effects in semiconductor nanostructures creates the conditions for the construction on their basis new structural elements with a wide range of functional capabilities. One way to fabricate such structures is the ion implantation method, widely used in the manufacture of LEDs and microchips based on Si. Under implantation is particularly important a process of thermal annealing, carried out to eliminate defects that are forming in different depths depending on the ions energy. Thus, simple stable defects generated during the thermal annealing process allow to control the photoelectric and optical properties of the crystal. Due to the fact, that in layered A<sup>3</sup>B<sup>6</sup> type semiconductors a concentration of structural defects is equal  $\sim 10^{17}$  cm<sup>-3</sup>, in order to compensate them and purposefully control their properties, the ion implantation method is the most suitable. The study of the nature and properties of defects formed in layered A<sup>3</sup>B<sup>6</sup> type compounds under implantation can allow to expand the possibilities of the applied method and create local nanostructures in the near-surface regions [1-3].

In the present work the effect of thermal annealing on the defect layer formed in the near-surface region of the layered GaS single crystals under implantation of hydrogen ions was studied.

The layered GaS single crystal was grown by the Bridgman method. The resistivity of the obtained single crystal at room temperature in the direction perpendicular and parallel to C axis was  $2 \cdot 10^9$  Ohm-cm and  $1 \cdot 10^8$  Ohm-cm, respectively. The dimensions of the single crystals studied were  $0.65 \times 0.5 \times 0.028$  cm. ESU-2 accelerator was used to irradiate GaS crystal with protons in the direction along the C axis. The proton energy was 70 keV, current density  $0.15 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  and the whole surface of the sample was irradiated with a dose  $1 \times 10^{15}$  proton/cm<sup>2</sup>. To study the photoelectric properties of the crystals under study, the current contacts on the straight (implanted) and opposite (unimplanted) sides of the sample were applied using a silver paste. In experimental measurements spectrophotometer MDR-23 was used to obtain the photoconductivity spectrum of GaS single crystal. To study the optical properties spectrometer VarianScan UV50 was used. Experimental measurements were carried out at room temperature. Thermal annealing of the implanted crystals was carried out at a temperature 200-400 °C for 30-90 minutes. After the thermal annealing process the photoelectric and optical properties of the samples were repeatedly measured [4-5].

Fig. 1 shows the spectral characteristics of the layered GaS crystals irradiated with protons ( $1 \times 10^{15}$  cm<sup>-2</sup>) before irradiation, after irradiation and spectral characteristics obtained from the irradiated (upper) surface of samples, thermally annealed at a temperature 473 K for 30 and 90 minutes.

From Fig. 1 it can be seen that after irradiation with protons ( $1 \times 10^{15}$  cm<sup>-2</sup>) (curve 2) the spectral characteristics of the photosensitivity in the intrinsic and impurity regions of the spectrum change sharply with respect to the original sample (curve 1). Thus, an increase is observed in the photosensitivity corresponding to the maximum of the spectrum ( $\lambda_{\text{max}} = 505$  nm) by 1.66 times, and 5.3 times in the 670-750 nm wavelength region. This fact shows that the radiation defects created under the irradiation have vacancy character that is consistent with the results obtained elsewhere. After the thermal annealing of the irradiated samples for  $t = 30$  min the photosensitivity corresponding to  $\lambda_{\text{max}} = 505$  nm of the spectrum decreases and simultaneously shifts to the long-wave region, and increases in the 670-750 nm wavelength region. But with the annealing time  $t = 90$  minutes no photosensitivity is observed in the samples. The decrease in the short-wavelength region of the spectrum is the result of a decrease in the sulfur concentration in the near-surface region when irradiated with protons, and this result was observed in and in Rutherford backscattering (RBS) spectra [4]. A wide maximum, observed in the spectral range 600-800 nm shows an increase in the concentration of Ga vacancies. Thus, it can be said that the increase in photosensitivity after the action of protons occurs as a result of compensation by donor-type defects, created under irradiation the initial acceptor-type defects of the crystal.

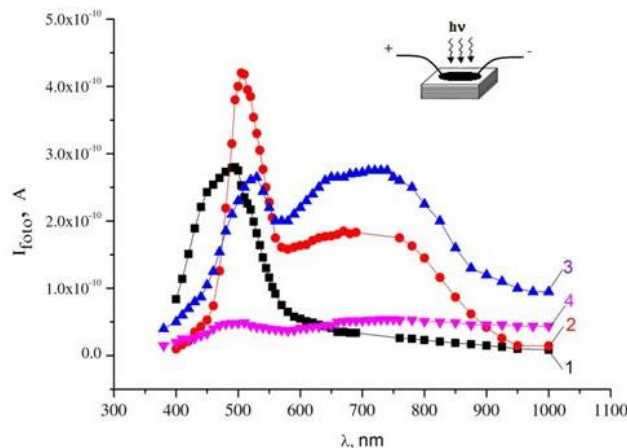


Fig. 1. Spectral distribution of photoconductivity in the forward direction (1 - initial state, 2 - after implantation protons with energy 70 keV and dose  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ , 3 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 30 minutes, 4 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 90 minutes)

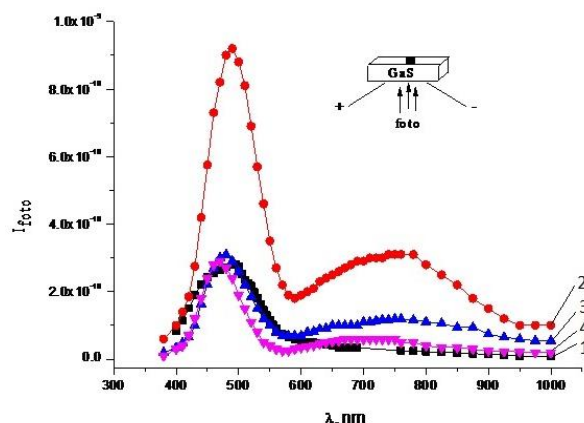


Fig. 2. Spectral distribution of the photoconductivity in the opposite direction (1 - initial state, 2 - after implantation protons with energy 70 keV and dose  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ , 3 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 30 minutes, 4 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 90 minutes)

Fig. 2 shows the spectral characteristics of the layered GaS crystals irradiated with protons ( $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ) prior to irradiation, after irradiation and spectral characteristics obtained from the non-irradiated (lower) surface of samples, annealed at 473 K for 30 and 90 minutes.

From the comparison of Fig. 1 (curves 1 and 2) and Fig. 2 (curves 1 and 2), it can be seen that the spectral characteristics obtained from irradiated and non-irradiated surfaces of the samples, irradiated with protons ( $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ ), differ quantitatively, but in character they have the same features. That is, there is an increase in photosensitivity in the range 500-700 nm. However, after the thermal annealing process (Fig. 2, curves 3 and 4) the photosensitivity of the samples changes abruptly. It was found that the spectrum obtained from the non-irradiated surface of samples thermally annealed for 30 and 90 minutes, the photosensitivity corresponding to  $\lambda_{\text{max}} = 505 \text{ nm}$  is the same as initial photosensitivity before irradiation. However, in the range 500-700 nm the photosensitivity after annealing for  $t = 30 \text{ min}$  is higher than the photosensitivity that is observed after annealing for  $t = 90 \text{ min}$ . This shows that the structural and radiation defects are different in nature.

Fig. 2 shows the spectral characteristics of the crystals irradiated with protons, measured from the non-irradiated (bottom) surface of samples thermal annealed at the temperature 473 K for 30 and 90 minutes. From Fig. 2 it can be seen, that the photosensitivity of samples irradiated with a dose  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$  completely corresponds to the photosensitivity of the irradiated surface, that is, the photosensitivity increases throughout the spectrum. After annealing these samples for 30 minutes photoconductivity throughout the spectrum, including corresponding to  $\lambda_{\text{max}} \sim 505 \text{ nm}$ , sharply decreases (curve 3). Under these conditions, when samples are annealed for  $t = 90 \text{ min}$ , the photosensitivity decreases again in the spectral range 600 nm - 900 nm, and the photosensitivity corresponding to a wavelength 505 nm approaches to its initial value. And this fact once again proves that the sulfur atoms leave the crystal and they diffuse to the surface. For this reason, thermal annealing affects the highest photosensitivity corresponding to the bandgap (505 nm) of the single crystal.

Fig. 3. Absorption spectra for proton-implanted and thermal annealed at a temperature of 473 K for 30 and 90 minutes GaS crystal (1 - initial state, 2 - after implantation with protons with an energy 70 keV and dose  $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ , 3 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 30 minutes, 4 - after thermal annealing at the temperature 473 K for 90 minutes)

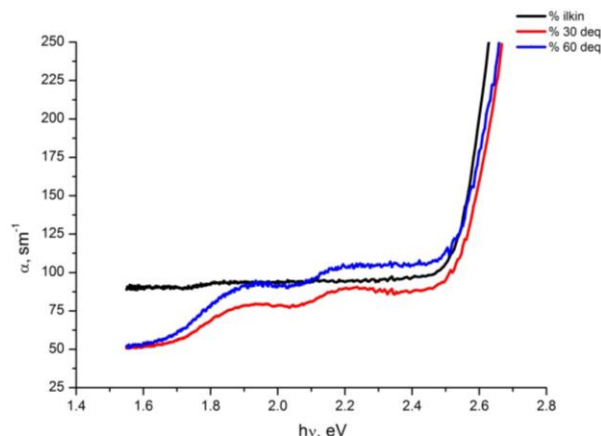


Fig. 3 shows absorption spectra for proton-implanted and thermal annealed at the temperature 473 K for 30 and 90 minutes GaS crystal.

From Fig. 3 it can be seen that before irradiation (curve 1) an absorption coefficient ( $\alpha$ ) increases exponentially with increasing photon energy ( $h\nu$ ). The width of the forbidden band, determined from the plot is 2.45 eV and corresponds to the results obtained elsewhere [5]. When are irradiated with protons, the absorption coefficient in the region of intrinsic absorption of the spectrum decreases, and at wavelengths 668 nm (1.85 eV) and 739 nm (1.68 eV) additional transitions are observed. The values of the energy levels corresponding to these peaks were 0.59 eV and 0.77 eV. As a result of our measurements, it was found that the energy corresponding to the transitions observed in the  $\alpha \sim (h\nu)$  dependence corresponds to the peak energies on the spectral characteristic (Fig. 1).

1. Абасова А.З., Мадатов Р.С., Стафеев В.И. Радиационно-стимулированные процессы в халькогенидных структурах. Баку. «элм», 2010. 352с.
2. Ф.Ф. Комаров, Ионная и фотонная обработка материалов, Белгосуниверситет, Минск, 1998. 209с.
3. Риссел Х. Руге Х. Ионная имплантация. М. Наука, 1983. 360с.
4. А. А. Гарибов, Р. С. Мадатов, Ф. Ф. Комаров, В. В. Пилько, Ю. М. Мустафаев, Ф. И. Ахмедов, М. М. Джахангиров. Спектрометрия ионного рассеяния и комбинационное рассеяние света в монокристаллах GaS, подвергнутых облучению водородом с энергией 140 кэВ. ФТП, 49(5), (2015).
5. Madatov R.S, Najafov A.I, F.F. Komarov, Y.M. Mustafayev, F.I. Ahmadov, Huseynov N.I, M.A. Mammadov, M.A. Mammadov, M.M. Jahangirov. Features of lattice dynamics in layered crystals GaS at ion implantation of hydrogen with energy of 140 keV. Journal of Radiation Research. 2016, p. 5.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ TlSe С TmSe И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ TlGaSe<sub>2</sub>-TlTmSe<sub>2</sub>

Керимова Э.М., Сеидов Ф.М., Гасанов Н.З., Мустафаева С.Н., Велиев Р.Г., Гасанов А.И., Заманова А.К.

Институт Физики Национальной Академии Наук Азербайджана  
Баку, Азербайджан

По результатам дифференциально-термографического анализа построена диаграмма состояния системы TlSe – TmSe. Образцы получены прямым сплавлением элементов высокой чистоты в кварцевых ампулах, вакуумированных до  $1,3 \times 10^{-2}$  Па. Температура печи поднималась со скоростью 5К/мин до 1560-1650К. При этой температуре ампула выдерживалась в течение 9-10 часов, а затем медленно охлаждалась до комнатной температуры.

Из диаграммы следует, что при соотношении компонентов 1:1 образуется соединение TlTmSe<sub>2</sub> с конгруэнтным плавлением при температуре 1590К. Область гомогенности для данного соединения отсутствует. При комнатной температуре в TlSe растворяется 3 мол% TmSe. Нонвариантная перитектическая точка отвечает составу (TlSe)<sub>0,88</sub>(TmSe)<sub>0,12</sub> и температуре 820К. Между TlTmSe<sub>2</sub> и TmSe образуется простая эвтектика состава (TlSe)<sub>0,35</sub>(TmSe)<sub>0,65</sub>, плавящаяся при температуре 1430К.

Рентгенографический анализ показал, что соединение TlTmSe<sub>2</sub> кристаллизуется в тетрагональной сингонии с параметрами элементарной ячейки:  $a=4,095\text{Å}$ ;  $c=23,24\text{Å}$ .

Электропроводность и коэффициент Холла монокристаллов TlTmSe<sub>2</sub>, полученных видоизмененным методом Бриджмена-Стокбаргера, исследовались компенсационным методом. Образцы для измерений имели форму прямоугольного параллелепипеда с размерами  $(3 \times 5 \times 11) \cdot 10^{-3}$  м. Для создания надежных омических контактов вольфрамовые зонды приваривались к боковым граням образца при помощи конденсаторного разряда. Исследования показали, что электропроводность увеличивается по мере увеличения температуры, т.е. зависимость  $\sigma(T)$  для TlTmSe<sub>2</sub> имеет полупроводниковый характер. Экспоненциальный рост электропроводности с температурой в области высоких температур связан с появлением собственной проводимости. Было определено значение ширины запрещенной зоны кристаллов TlTmSe<sub>2</sub> по высокотемпературным участкам кривых  $\lg RT^{3/2} = f(10^3/T)$  и  $\lg \sigma = f(10^3/T)$ , из наклона которых получена величина 1,45эВ.

Изучены также температурные зависимости холловской подвижности носителей тока кристаллов TlTmSe<sub>2</sub>. Установлено, что изменение подвижности носителей тока с температурой подчиняется закону  $\mu = f(T^{3/2})$ , что соответствует их рассеянию на акустических колебаниях решетки.

Синтезированы твердые растворы системы TlGaSe<sub>2</sub>-TlTmSe<sub>2</sub> и проведен рентгенографический анализ полученных кристаллов.

На переменном токе в диапазоне частот 1кГц-35МГц и в температурном интервале 165-300К резонансным методом изучены диэлектрические коэффициенты и электропроводность монокристаллов TlGa<sub>1-x</sub>Tm<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> ( $x=0,001; 0,02$ ). Действительная и мнимая составляющие комплексной диэлектрической проницаемости этих кристаллов в указанном интервале частот носят релаксационный характер.

Частотная зависимость электропроводности TlGa<sub>1-x</sub>Tm<sub>x</sub>Se<sub>2</sub> при высоких частотах растет по закону  $\sigma \sim f^{0,8}$ . Это говорит о том, что в изучаемых кристаллах наблюдается прыжковая проводимость по локализованным вблизи уровня Ферми состояниям. Оценены плотность локализованных состояний, их энергетический разброс и средняя длина прыжков.

ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВТСП НАПОЛНИТЕЛЯ И РАДИОЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОЛИИМИД-  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,7}$ »

Мурадов А.Д., Мукашев К.М., Яр-Мухамедова Г.Ш., Кырыкбаева А.А.

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Создание полимерных композитных материалов с улучшенными функциональными свойствами является одной из актуальных и важных задач, входящих в приоритетные стратегические направления развития материалов и технологий их переработки.

Облучение полимерных композиционных материалов (ПКМ) с определенными наполнителями обычно приводит к изменению их дефектной структур отражаясь на изменении их физико-химических свойств, в том числе и на оптических. В этой связи изучение влияния облучения системы «Полиимид –  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,7}$  (YBCO)» обладает научно-практическим значением из-за возможного использования его в электротехнической промышленности и в электронике, так как ВТСП более чувствительны к радиационным воздействиям, чем традиционные сверхпроводники.

Нами для исследования были выбраны образцы ПКМ в виде полиимидной пленки с различными концентрациями (С) наполнителя в виде мелкокристаллического соединения  $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{6,7}$ : С = 0,05 мас.%; 0,10 мас.%; 0,5 мас.%. Полиимид (ПИ) отличается исключительной химической стойкостью к воздействию внешних агрессивных сред и обладает достаточно высокими показателями физико-механических свойств. Чистая полиимидная пленка служила контрольным образцом.

Исследуемые образцы определенного состава разрезались на четыре одинаковые части с размерами 15x15 мм, одна из них брали за контрольный экземпляр. Облучение образцов проводили на воздухе при комнатных условиях на установке РХМ –  $\gamma$  – 20, дозами (D): 150; 250; 600 кГр. Мощность экспозиционной дозы источника  $^{60}\text{Co}$  составляла  $1,6 \cdot 10^{-1}$  рад/с.

Изучение влияния изменения состава на оптические свойства системы «Полиимид – YBCO» осуществлялось на спектрофотометре Shimadzu UV-3600 в спектральном диапазоне 190 – 4200  $\text{cm}^{-1}$ , при комнатной температуре.

В итоге были установлены следующие закономерности:

1) облучение  $\gamma$ -квантами дозами от 150 до 600 кГр мало влияет на структуру полиимидного материала, а изменение интенсивности сигнала в диапазоне частот 1800 - 4200  $\text{cm}^{-1}$  связано с уменьшением свободных радикальных групп в структуре ПИ пленки и образованием водородных связей;

2) наиболее интенсивные изменения в спектрах образцов ПКМ с ВТСП наполнителем при D=150 кГр, проявляются в области частот 400 - 4200  $\text{cm}^{-1}$ . В среднем для каждого состава уменьшение интенсивности сигнала составляет: С = 0,05% - ~ на 5%, С = 0,1% - ~ на 10%, С = 0,5% - ~ на 30%. Сохраняется широкая полоса поглощения в области частот 2850 - 3350  $\text{cm}^{-1}$ , обусловленная наличием кристаллогидратов Cu, Y, Ba. Такое поведение объясняется деформационными колебаниями связи Cu-O в цепях YBCO, обусловленные свойствами карбоната бария, образованием кислородных вакансий в образце, и колебаниями связей Cu(I)-O(I) вблизи одной или нескольких вакансий O(4);

3) увеличение дозы облучения до 250 и 600 кГр для различных концентраций ВТСП наполнителей приводит к уменьшению интенсивности сигнала в среднем на 20 - 35% (области частот 1800 - 3600  $\text{cm}^{-1}$ ) для всех ПКМ образцов.

В области частот 400-700  $\text{cm}^{-1}$  и 1300-1400  $\text{cm}^{-1}$ , для концентрации 0,05 масс.%, интенсивность увеличивается на 1- 4 % по сравнению с контрольным образцом, а увеличение концентрации YBCO от 0,1% до 0,5% масс вызывает уменьшение на 3 - 5 % интенсивности сигнала в этих же диапазонах. В тоже время пики связанные с межзонными переходами (переходы системы Cu(I) - Cu(IY) - Cu(II)) и изгибными колебаниями O(I) – Cu(I), растяжением связей O(IY) – Cu(I) не меняются. Это свидетельствует о радиационно-стимулированной диффузии атомов кислорода в узлы O(IY), из занимаемых позиции в подрешетке Cu-O, определяющие орторомбическую фазу YBCO. Как известно, такое распределение кислорода в Cu-O плоскостях способствует возникновению метастабильных орторомбических фаз, с высокими  $T_c > 90$  K. Изменение состояния атомов Cu в решетке YBCO после облучения гамма квантами объясняется механизмом обратимых переходов между несколькими модификациями орторомбической фазы в «мягком» режиме образования кислородных вакансий.

ВЛИЯНИЕ  $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $\text{Sn}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Se}$ 

Джафаров Т.А., Гусейнов Дж.И., Мамедова Р.Ф., Адгезалова Х.А.

Азербайджанский Государственный Педагогический Университет, г.Баку, Азербайджан

Одной из актуальных проблем физики полупроводникового материаловедения является повышение радиационной стабильности материалов, полученных на основе соединений типа  $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ , что обусловило интерес к легированию этих материалов редкоземельными элементами (РЗЭ), приводящему к повышению устойчивости к радиационным воздействиям. Нами изучены некоторые кинетические коэффициенты в том числе и удельное сопротивление твердых растворов  $(\text{SnSe})_{1-x}(\text{TbSe})_x$ . Особый интерес вызвали составы системы  $\text{Sn}_{0,99}\text{Tb}_{0,01}\text{Se}$  и  $\text{Sn}_{0,95}\text{Tb}_{0,05}\text{Se}$ , для которых было исследовано влияние облучения.

Как известно исходный моноселенид олова SnSe обладает  $p$ -типом проводимости за счет нарушения стехиометрии состава и высокой концентраций ( $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ) дефектности и антиструктурных дефектов. Тербий, как примесь, вводили в SnSe частично замещая олово в  $\text{Sn}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Se}$ . Были измерены их сопротивления, затем проведен отжиг в течение 3 часов при  $760^\circ\text{C}$ . Далее температура уменьшалась до  $480^\circ\text{C}$ , при этой температуре в течение 48 часов был проведен дополнительный отжиг, после отжига также было измерено сопротивление. В образцах  $\text{Sn}_{0,99}\text{Tb}_{0,01}\text{Se}$  и  $\text{Sn}_{0,95}\text{Tb}_{0,05}\text{Se}$  после отжига  $\rho$  увеличилось на  $\sim 6$  и  $8\%$ , соответственно.

Сначала до облучения были измерены удельное сопротивление, затем образцы облучали  $\gamma$ -лучами с энергией 1,25 МэВ ( $^{60}\text{Co}$ ), дозами  $D=65 \text{ Mrad}$  и вновь измеряли удельное сопротивление.

На рисунке представлены температурные зависимости удельного сопротивления. Анализ температурных зависимостей удельного сопротивления показывает, что в образцах  $\text{Sn}_{0,99}\text{Tb}_{0,01}\text{Se}$  и  $\text{Sn}_{0,95}\text{Tb}_{0,05}\text{Se}$  после облучения  $\rho$  заметно возрастает и при  $T = 300 \text{ K}$  относительное изменение удельного сопротивления имели 34% и 40% соответственно.

При облучении кристаллов  $\text{Sn}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Se}$  ( $x=0,01;0,05$ )  $\gamma$ -лучами дозой 65 Mrad происходят одновременно два процесса. С одной стороны, в кристалле увеличивается концентрация точечных дефектов Френкеля, а с другой стороны упрощается  $f \rightarrow d$  переход под действием  $\gamma$ -излучения. Предполагается, что при облучении образцов атомы тербия располагаются в вакантных местах между узлами кристаллической решетки и локализуясь происходит самокомпенсация с появлением дефекта Френкеля. Это приводит к уменьшению концентрации носителей зарядов, однако энергия активации не меняется, что при большом содержании Tb в SnSe концентрация носителей заряда не очень заметно изменяется. Однако при облучении  $\gamma$ -квантами, появившиеся радиационные дефекты частично компенсируются при взаимодействии со структурными дефектами. Под влиянием  $\gamma$ -излучения, в кристалле  $\text{Sn}_{1-x}\text{Tb}_x\text{Se}$  обладающая  $n$ -типа проводимости, возникают акцепторного типа радиационные дефекты, компенсирующие центры донорных примесей. Это означает, что при высоких температурах (больших энергиях) роль  $\gamma$ -излучения устраняется.

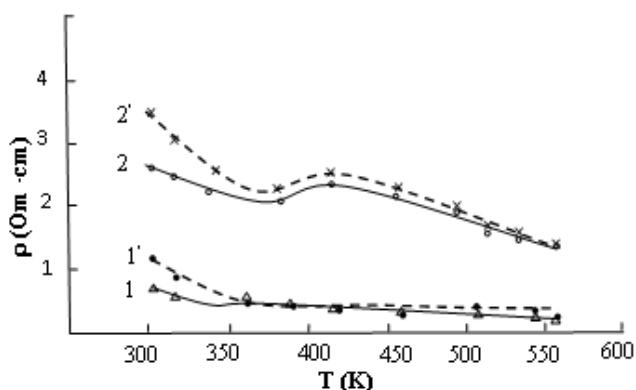


Рис. Температурные зависимости удельное сопротивление:  
1, 1' -  $\text{Sn}_{0,99}\text{Tb}_{0,01}\text{Se}$ , 2, 2' -  $\text{Sn}_{0,95}\text{Tb}_{0,05}\text{Se}$ .  
Штриховые линии после облучения.

## ВЛИЯНИЕ $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕРМОЭДС И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ $(SnSe)_{1-x}(DySe)_x$

Гусейнов Дж.И. <sup>1</sup>, Мургузов М.И. <sup>1</sup>, Аббасов И.И. <sup>2</sup>, Джафаров Т.А. <sup>1</sup>, Гасанов О.М. <sup>1</sup>

Азербайджанский государственный педагогический университет, г.Баку, Азербайджан  
Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г.Баку, Азербайджан

Представляет интерес получение и комплексное исследование физических свойств и воздействие внешних факторов, особенно радиации на кристаллы  $SnSe$ , легированных РЗЭ-ми или твердые растворы с малыми концентрациями. В настоящем сообщении приводятся результаты исследования влияния  $\gamma$ -облучения на термоэдс и теплопроводность кристаллов  $(SnSe)_{1-x}(DySe)_x$ . Монокристаллы выращивались методом направленной кристаллизации по методу Бриджмена. Гомогенизирующий отжиг образцов проводили в среде спектрально чистого аргона при 800 К в течение пяти суток. Термоэдс и теплопроводность полученных образцов до и после облучения в широком температурном интервале (80-740К) измеряли стационарным методом, в качестве источника использовали изотоп  $^{60}Co$  с энергией квантов 1,25 МэВ. Доза облучения была  $D=65 \text{ Mrad}$ .

На рисунке 1 дана температурная зависимость термоэдс ( $\alpha$ ) для монокристаллов  $(SnSe)_{1-x}(DySe)_x$  (1-  $x=0$ ; 2-  $x=0,002$ ; 3-  $x=0,0025$ ). Как видно образцы №1 и 2 имеют p-тип, а образцы № 3 имеют n-тип проводимости. После облучения при температуре  $T=80\text{K}$  значение термоэдс увеличивается в образце №1 на 25%, а для образцов № 2 и 3 соответственно на 40% и 30%. С ростом температуры относительное изменение термоэдс уменьшается. При температуре же  $T=300\text{K}$  наблюдается увеличение значение термоэдс для образца № 1 на 10%, а для образцов № 2 и 3 соответственно на 20% и 17%.

На рисунке 2 дана температурная зависимость теплопроводности для полученных образцов. Из рисунка видно, что с увеличением температуры теплопроводность исследуемых образцов уменьшается. Длительный отжиг всех образцов послужил причиной увеличения теплопроводности. С увеличением в образцах количества атомов  $Dy$  как и ожидалось, привело к уменьшению теплопроводности. С увеличением количества атомов РЗЭ в составе, приводящей к уменьшению теплопроводности, связано с нерегулируемостью кристаллической структурой фононов и другими рассеиваниями на дефекта. Теплота в сплавах  $(SnSe)_{1-x}(DySe)_x$  в основном переносится фононами. До облучения электронная теплопроводность образцов в исследуемом температурном интервале составляла от общей теплопроводности 7-12%, а после облучения образцов  $\gamma$ -лучами общая теплопроводность уменьшается. Это показывает, что на ряду с влиянием  $\gamma$ -лучей возникают дополнительно радиационные дефекты. Радиационные дефекты служат причиной уменьшения теплопроводности решетки, и увеличением электронной теплопроводности. Предполагается, что при облучении образцов атомы тербия располагаются в вакантных местах между узлами кристаллической решетки и локализуясь происходит самокомпенсация с появлением дефекта Френкелю. Это приводит к уменьшению концентрации носителей зарядов, однако энергия активации не меняется, что при большом содержании  $Dy$  в  $SnSe$  концентрация носителей заряда не очень заметно изменяется. Однако при облучении  $\gamma$ -квантами, появившиеся радиационные дефекты частично компенсируются при взаимодействии со структурными дефектами. Так, при температуре 300К теплопроводность решетки монокристалла № 3 уменьшилось на 10%, а электронная теплопроводность увеличилась на 30%.

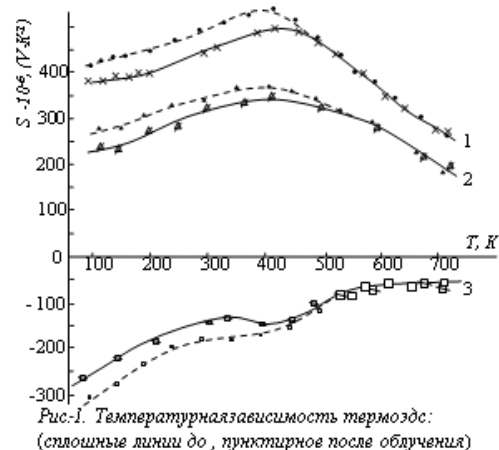


Рис.1. Температурная зависимость термоэдс: (сплошные линии до, пунктирные после облучения)

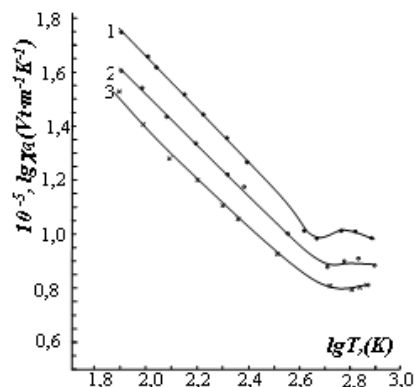


Рис. 2. Температурная зависимость теплопроводности



**STRUCTURE AND PROPERTIES OF NITRILE-BUTADIEN RUBBER IN PRESENCE OF MODIFIED NANO ZINC OXIDE**

<sup>1</sup> Khankishieva R.F., <sup>1</sup> Mammadov Sh.M., <sup>2</sup> Ramazanov M.A., <sup>1</sup> Akhundzada H.N., <sup>1</sup> Abbasli A.A.

<sup>1</sup>Institute of Radiation Problems, ANAS, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Baku State University, Baku Azerbaijan

[rena-namazova@yandex.ru](mailto:rena-namazova@yandex.ru)

NBR differ significantly greater tendency to cross-linking radiation, other than diene elastomers. Since it is cured valuable technical material can be obtained even when irradiated without additives.

Radiation-chemical synthesis of NBR in the homogeneous crosslinking, as a rule, complicated by the reactions of the polymer chains. Due to the fact that the unsaturated elastomer is NBR based on the ability of the polymer molecules in principle the radiation crosslinking is carried out using a fairly wide range of substances. NBR is a convenient object for studying the impact of nano-sized powders and DSCHB crosslinking agent that is active polar (Cl) and an aromatic group, which allows you to assess the impact of these groups on the parameter space grid and thermal radiation vulcanizates.

Polymeric nano composite materials were prepared in the presence of an additive of a nanoscale zinc oxide powder containing a crosslinker of benzene disulfo chloride and carbon black. Introduction of nanopowders zinc oxides causes an acceleration of the process of NBR crosslinking. The highest binding speed of nanocomposites and the greatest number of cross-links in the mixture is achieved by the introduction of benzene disulfo chloride.

For the irradiation of the samples were placed in a 1 g vial of glass beam and evacuated for hours before  $1,3 \times 10^{-1}$  Pa residual pressure. Radiolysis sealed ampoules of the samples performed  $\gamma$ -rays ( $^{60}\text{Co}$ ) at a power of 4.9 Gy / s at room temperature.

In all likelihood, their ability to polarize the double bond of both the polymer and the cross-linking agent, which leads to the formation of metal-containing polymeric nanocomposites characterized by a uniform, narrow dispersed distribution of ZnO nanoparticles 20-25 nm in the polymer matrix. At the same time, it should be noted that the activating ability of the ZnO nanopowder is influenced by the specific surface area.

The data obtained indicate that when the nanopowder ZnO is used together with technical carbon in the polymer, the mechanical properties of the nanocomposites. The reason for the increased strength can be as a large density of the polymer mesh, and the presence of transverse bonds of adsorption nature.

These effects of gamma irradiation on the nature of the radiation-chemical yield of crosslinking in nanocomposites are not large compared to thermal crosslinking.

The carried out researches allow to assert, that change of size of dielectric constant ( $\epsilon$ ) and dielectric loss ( $\text{tg}\delta$ ) depends on a density of a grid of nanocomposites of a specific surface of technical carbon, ZnO and an irradiation dose.

**IMPACT OF GAMMA-IRRADIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te EPITAXIAL FILMS**

Mehrabova M.A. <sup>1</sup>, Nuriyev I.R. <sup>2</sup>, Hasanov N.H. <sup>3</sup>, Kerimova T.I. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Radiation Problems of ANAS, Azerbaijan, Baku, 9, B.Vakhabzadeh str.

<sup>2</sup>Institute of Physics of ANAS, Baku, 33, H. Javid ave.

<sup>3</sup>Baku State University, Baku, 23, Z.Khalilov str.

e-mail:mehrabova@science.az, kerimova-tuba@rambler.ru

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te semimagnetic semiconductors, their solid solutions and thin films on their base have wide application potentials in modern microelectronics. Creation of radiation sensitive elements on the base of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te epitaxial films or structures on their base is one of the most actual problems of modern material science and engineering. Therefore investigation of impact of  $\gamma$ -irradiation on electrical properties of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te epitaxial films was main task of our work.

Physical properties of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te epitaxial films have been sufficiently studied, but impact of ionizing rays on their physical properties has not been investigated yet. In this work we have theoretically and experimentally studied conductivity process of Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te (x=0.07) epitaxial films.

Electron structure and magnetic properties of defected Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te semimagnetic semiconductors were calculated by Ab initio method. It was defined, that defect leads to inversion of conductivity, and changing of band gap.

Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te (x=0.07) epitaxial films has been obtained on glass substrates at  $10^{-4}$  Pa vacuum by molecular beam condensation method. Thickness of epitaxial films was  $d_f=15\text{nm}$ , thickness of substrate was  $d_s=1.2\text{mm}$ . It has been investigated impact of gamma-irradiation on photoconductivity and current-voltage characteristics (VAC) of Cd<sub>1-x</sub>

$x\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $x=0.07$ ) epitaxial films at room temperature. Sample was irradiated by  $\gamma$ -irradiation at a dose rate of  $P=12,652\text{Rad/s}$ , at doses  $D_\gamma=10\div 20\text{krad}$  on  $^{60}\text{Co}$  radiation source. First irradiation ( $D_\gamma=10\text{krad}$ ) leads to a bit increasing of photoconductivity and shifting of conductivity max. Next irradiation ( $D_\gamma=10\text{krad}$ ) decreased the photoconductivity. VAC shows, that after first irradiation of sample the current is decreased, but second irradiation don't change the VAC.

Thus, we can manage the electrical process by irradiation of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}(x=0.07)$  epitaxial films with  $\gamma$ -quanta.

## РЕНТГЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛА $\text{AgGaS}_2$ , ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКИХ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ РЕАКЦИЙ

Мустафаева С.Н. \*, Асадов С.М. \*\*, Гусейнов Д.Т. \*

\*Институт физики Национальной академии наук Азербайджана, Баку

\*\*Институт катализа и неорганической химии Национальной академии наук Азербайджана, Баку

Монокристаллы  $\text{AgGaS}_2$  представляют собой полупроводниковое соединение со структурой халькопирита и имеют переменный состав.  $\text{AgGaS}_2$  является одним из материалов для применения в оптических устройствах, работающих в ИК-диапазоне. Целью данной работы являлось изучение рентгенодозиметрических характеристик монокристаллов  $\text{AgGaS}_2$ .

Методом газотранспортных химических реакций с использованием переносчика иода были выращены монокристаллы  $\text{AgGaS}_2$ . По данным РФА установлено, что постоянные кристаллической решетки с тетрагональной сингонией  $\text{AgGaS}_2$  составляли:  $a = 5.757$ ,  $c = 10.311 \text{ \AA}$ .

Установлено, что коэффициент рентгеночувствительности  $\text{AgGaS}_2$  варьируется в пределах  $1.16 \times 10^{-13}$ – $1.66 \times 10^{-12} (\text{A}\cdot\text{мин})/(\text{В}\cdot\text{Р})$  при эффективной жесткости излучения  $V_a = 25\text{--}50 \text{ кВ}$  мощностью дозы  $E = 0.75\text{--}78.05 \text{ Р/мин}$ . На рисунке приведены типичные рентгенамперные характеристики изученных монокристаллов.

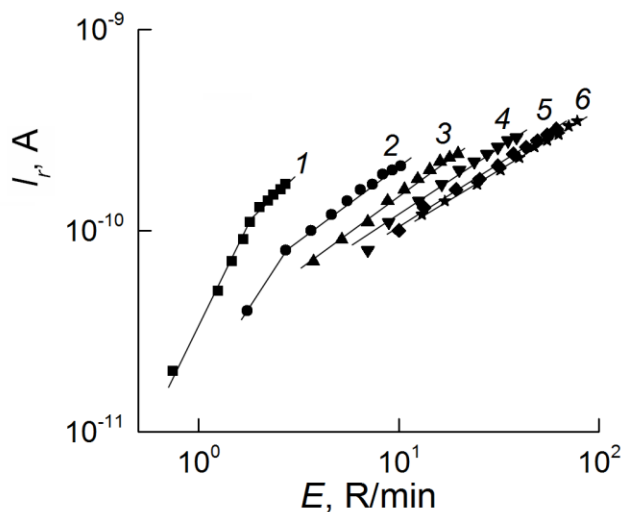


Рисунок - Рентгенамперные характеристики монокристалла  $\text{AgGaS}_2$  при различных ускоряющих напряжениях на трубке  $V_a$ , кВ: 1–25; 2–30; 3–35; 4–40; 5–45; 6–50.

Из этих характеристик монокристалла  $\text{AgGaS}_2$  установлено, что зависимость стационарного рентгенотока от дозы рентгеновского излучения носит степенной характер:  $\Delta I_{E,0} \sim E^\alpha$ . Обнаружено, что показатель степени  $\alpha$  по мере увеличения  $V_a$  уменьшался от 2 до 0.6. Проведенные исследования показали, что полученные нами монокристаллы  $\text{AgGaS}_2$  могут найти применение в качестве активных элементов практически безинерционных рентгendetекторов, не требующих охлаждения и отличающихся высоким коэффициентом рентгеночувствительности.

**ВЛИЯНИЕ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ  $GaS_{1-x}Se_x<Er>(x=0,10)$**

*Мадамов Р.С., Тагеев Т.Б., Халыгзаде А.Ш.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана. АЗ 1143, Баку, ул. Б.Вахабзаде 9.  
tbtagiyev@mail.ru

Исследованные твердые растворы  $GaS_{1-x}Se_x<Er>0,1at\%$  с сопротивлением  $10^9\Omega$  при комнатной температуре, выращенные по методу Бриджмена. Легирование эрбием осуществлялось в процессе выращивания. Облучение образцов  $\gamma$ -квантами с энергией 1,33 МеВ ( дозой  $D_\gamma = 30$  и 100крад) осуществлялось на установке  $Co^{60}$  при комнатной температуре.

Спектры фотолюминесценции исследуемых образцов снимались на спектрометре СДЛ-1. Для возбуждения люминесценции служит ртутная лампа высокого давления ДРШ-250-3 и ДРШ-500м. Образец помещается в держатель и освещается мощным монохроматическим потоком, выделенным при помощи светофильтра ( $\lambda = 337,1nm$ ) из спектра ртутной лампы. Приемником энергий в спектрометре служил фотоэлектронный умножитель ФЭУ-39А и ФЭУ-62. Кривые излучения регистрировались электронным самопишущим потенциометром КСП-4.

В нелегированных кристаллах  $GaS_{0,90}S_{0,10}$  до облучения были заметны только две полосы с максимумами при  $\lambda = 485nm$  и широкой полосы с максимумами  $\lambda = 511nm$ . В спектрах фотолюминесценции активированных эрбием в твердых растворов  $GaS_{0,90}Se_{0,10}$  до облучения уменьшается интенсивности люминесценции и появляется интенсивные линии внутрицентрового перехода  $Er^{3+}$  ( $\lambda=496, 546, 551$  и  $556nm$ ). После облучения гамма – квантами дозой  $D_\gamma=30$ крад в легированных кристаллах интенсивность полос увеличивается и появляется новые полосы ( $\lambda=545, 548, 550$  и  $555nm$ ). После облучения дозой  $D_\gamma = 100$  крад кристаллов легированных эрбием интенсивность полосы  $\lambda=555$  и  $550$  nm возрастала в 1,5 раза, линии с максимумами вблизи  $\lambda = 550$  и  $548$  nm практически исчезали.

Такое изменение фотолюминесценции в  $GaS_{0,90}Se_{0,10}<Er>$  объясняется в основном возникновением большого количества радиационных дефектов структуры, возможно, при облучении вводятся дефекты, образующие комплексы с имеющимися центрами реком-бинации. Установлено, что легирование эрбием приводит к появлению серии линий излучения в видимой области спектра. Обнаруженные полосы люминесценции  $GaS_{1-x}Se_x<Er>0,1at\%$  является результатом внутрицентровых переходов в ионе  $Er^{3+}$ .

**ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА – ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАДИЙ-СИЛИКАТА**

*Агаев Т.Н., Мансимов З.А., Алиев С.М., Эюбов К.Т., Сабзалиев С.А., Велиев Э.Р.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, Баку, ул. Б.Вагабзаде, 9

В данной работе синтезирован  $RaO-SiO_2$  в зависимости от активности радия  $A=260, 2500$  и  $6100$  Бк/г. Полученные синтезированные образцы с разными активностями были облучены гамма - квантами с дозой  $D=50$  кГр, после чего был проведен дифференциальный термический анализ (ДТА). Образцы с разными активностями радия при интервале температур  $T=300\div 673K$  подвергались адсорбции паров воды на поверхности  $RaO-SiO_2$ . Параллельно с увеличением значения теплового потока, образовавшиеся дефекты за счет радиации полностью рекомбинируются. Рекомбинация дефектов при высоких температурах в этих соединениях связано с их высокой подвижностью.

Выявлено, что до и после облучения радий-силиката в дериватографических (ДТ) кривых, происходит стабильность эффектов и распространение теплового потока в широком интервале температур. Разрыв связей и образование новых адсорбционных центров за счет гаммы – облучения, приводят к увеличению потери массы. На термогравиметрических (ТГ) кривых для соединения  $RaO-SiO_2$  в зависимости от активности радия  $A=260, 2500$  и  $6100$  Бк/г, потеря массы до облучения составляет 2%, 9% и 13%; после облучения – 3,75, 16,02 и 19,05 %-соответственно. Выявлено, что увеличение количества активности радия приводит к увеличению потери массы. Из анализа кривых ТГ и ДТ видно, что после облучения в соединении  $RaO-SiO_2$  в зависимости от активности радия, наблюдается возрастание потери масс. После облучения в составе  $RaO-SiO_2$  в зависимости от активности радия, происходят структурные изменения, что приводит к новым вакантным связям.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАММА ОБЛУЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si

Магеррамов А.М., Нуруев И.М., Мехтиева Р.Н., Нуруев С.М.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана  
AZ 1143, Б. Вагабзаде 9, Баку, Азербайджан  
Национальный Центр Ядерных Исследований Азербайджана  
AZ1073, пр.Иншаатчылар 4, Баку, Азербайджан  
[Nuruyev\\_ibrahim@mail.ru](mailto:Nuruyev_ibrahim@mail.ru)

Полимерные композиты с различными характеристиками широко применяются в электронике, электротехнике и в изоляционных системах. Получения композитного материала с определенными электрофизическими и эксплуатационными свойствами представляет большой интерес. А модификация этих свойств воздействием ионизирующей радиации является актуальной проблемой науки и техники.

В представленной работе отражены результаты дифференциально термического анализа (ДТА) исходных и  $\gamma$ -облученных полимерных композитов на основе кристаллизующихся сополимера винилиденфторида с тетрафторэтиленом П(ВДФ-ТеФЭ) с различным содержанием наночастиц кремния (нано-Si) со средним размером  $\sim 50$  нм. ДТА позволяет анализировать и изучать взаимодействие и взаимоотношения между компонентами композитов. Образцы с различной концентрацией Si получены поливом из раствора П(ВДФ-ТеФЭ)/Si в ацетоне с различным временем седиментации, с дальнейшим термическим прессованием высохших пленок при температуре плавления матрицы П(ВДФ-ТеФЭ). Облучения образцов до дозы 100 кГр произведено на установке МРХ- $\gamma$ -25М на основе изотопа  $Co^{60}$ .

На таблице представлены значения энергии активации плавления  $E_{пл.}$ , температуры и интенсивности максимума из ДТА спектров исходного и облученного композита П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si с различным содержанием наполнителя.

Таблица – Значения энергии активации плавления  $E_{пл.}$ , температуры и интенсивности максимума из ДТА спектров исходного и облученного композита П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si

№	Исходные образцы				Облученные образцы, Д=100кГр			
	$T_m, ^\circ C$	$\dot{I}$ , мм	S, мДж/мг	$E_{пл.}$ кДж/мол	$T_m, ^\circ C$	$\dot{I}$ , мм	S, мДж/мг	$E_{пл.}$ кДж/мол
1	145	27	25,6	0,0253	147,5	17,5	25,3	0,0249
2	145,5	34	25,5	0,0252	146,5	21	28,3	0,0282
3	149	32	23,2	0,0226	147,5	26	27,8	0,0276

Сравнения значения энергии активации плавления  $E_{пл.}$  композитов позволяет сказать, что относительно равномерную распределения нанокремния в объеме матрицы соответствует образцу №2. Значению энергии активации плавления  $E_{пл.}$  можно считать эквивалентно разрушению межмолекулярной связи и связей в межфазной границе. Сравнения значения энергии активации из таблицы показывает, что в композитах с относительно низким содержанием нанокремния они соизмеримы и при повышении содержания это значения уменьшается и оптимальную содержание имеет образец №1 и №2 с энергией активации  $E=0,0252$  кДж/моль. Несмотря на низкую содержания наночастицы у образца №1 значения эффективной поверхности низкая и взаимодействия в межфазной границе полимер-наполнитель относительно высокая. С увеличением содержания наночастиц значения энергии активации плавления почти не меняется. Это означает что, с повышением эффективной поверхности энергия связи полимер-наполнитель не меняется, а увеличивается эффективная поверхность. Дальнейшая увеличения содержания наполнителя сопровождается уменьшением значения энергии активации, скорее всего в результате понижения эффективной поверхности из-за кластеризации наночастиц кремния.

При сравнении значения энергии активации плавления облученных образцов с исходными наблюдаем рост с некоторым спадом при увеличении содержания наполнителя. Такой ход является результатом межмолекулярного сшивания в полимерной матрице и сшивания в межфазной границе с поверхностью наполнителя при облучении с одной стороны и изменением свойства наночастиц после облучения с другой стороны. Считаем, что происходящие структурные изменения у компонентах композита П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si после гамма облучения приводит к изменению их межфазного взаимодействия.

РАДИАЦИОННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ВОДЫ В СИСТЕМЕ *нано-ZrO<sub>2</sub> + нано-SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O*

Агаев Т.Н., Гаджиева Н.Н., Меликова С.З.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143, г.Баку, ул. Б. Вагабаде, 9

На основе исследований радиолитиза воды с участием ряда дисперсных оксидов металлов под воздействием  $\gamma$ -излучения установлено, что применение нано порошковых оксидов в качестве катализаторов, значительно увеличивает скорость накопления молекулярного водорода и его радиационно-химический выход  $H_2$  по сравнению с выходами как гомогенного, так и гетерогенного процессов разложения  $H_2O$ , в котором в качестве катализаторов используются микро размерные оксиды. Среди этих нано оксидов наиболее интересным и перспективным представляются диоксиды циркония ( $ZrO_2$ ) и кремния ( $SiO_2$ ), так как они являются селективными катализаторами для радиационно-гетерогенных процессов.

В настоящей работе представлены результаты Фурье-ИК- спектроскопических исследований радиационного разложения воды в гетерогенной системе *нано-ZrO<sub>2</sub>+нано-SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O* при комнатной температуре ( $T=300K$ ) и воздействии  $\gamma$ - квантов с целью установления роли промежуточно активных частиц (ион-радикальных групп) в этих процессах. При этом соотношение нано порошков *нано-ZrO<sub>2</sub>* и *нано-SiO<sub>2</sub>* варьировалось таким образом: 0,1г *нано-ZrO<sub>2</sub>*+0,1г *нано-SiO<sub>2</sub>*, 0,05г *нано-ZrO<sub>2</sub>*+0,15г *нано-SiO<sub>2</sub>* и 0,15г *нано-ZrO<sub>2</sub>*+0,05 г *нано-SiO<sub>2</sub>*.

Использовали нано порошки  $ZrO_2$  и  $SiO_2$  с размерами частиц  $d=20\div30$ нм. Фурье-ИК-спектры поглощения регистрировались на FT-IR спектрометре Varian 640IR в диапазоне частот  $\nu=4000\div400$   $cm^{-1}$  при комнатной температуре. Микрофотографии поверхности образцов получены на сканирующем электронном микроскопе (SEM, Zeiss, Sigma NP).

В спектрах в области решеточных колебаний *нано-ZrO<sub>2</sub>* ( $\nu=800\div400$   $cm^{-1}$ ) обнаруживаются ПП с максимумами при 745 и дублет 490 и 410  $cm^{-1}$ . Полосы 745 и 490  $cm^{-1}$  относятся к асимметричным  $Zr-O_2 -Zr$  и валентным  $Zr-O$  колебаниям соответственно. В спектрах же в области решеточных колебаний *нано-SiO<sub>2</sub>* ( $\nu=1400\div400$   $cm^{-1}$ ) обнаруживаются ПП с максимумами 472, 798, 1095  $cm^{-1}$ . Наблюдаемые полосы относятся симметричным и асимметричным валентным колебаниям  $Si-O$  и  $Si-O_2-Si$ . Изменение весовых соотношений нано порошков  $ZrO_2$  и  $SiO_2$  сопровождается перераспределением интенсивностей ПП колебаний  $Zr-O$  и  $Si-O$ . В необлученной гетеросистеме, после адсорбции воды на поверхности диоксидов циркония и кремния в области валентных колебаний гидроксильных (ОН) групп, появляются ПП, что указывают на протекания молекулярной и диссоциативной форм адсорбции: молекулярная форма адсорбции (интенсивные широкие полосы с максимумами 3240 и 3280  $cm^{-1}$  в области 3500 $\div$ 3000  $cm^{-1}$ ) и диссоциативная хемосорбция (сравнительно узкие полосы с максимумами 3450, 3475, 3520, 3580  $cm^{-1}$ ). Облучение гетеросистемы 0,1г *нано-ZrO<sub>2</sub>*+0,1г *нано-SiO<sub>2</sub>*+ $H_2O$   $\gamma$ - квантами при комнатной температуре ( $T=300K$ ), приводит к радиационному разложению воды и образованию промежуточно-активных продуктов разложения. Среди этих продуктов наиболее интересными представляются поверхностные гидриды циркония и кремния. Так, в спектре в области частот 2000 $\div$ 1700  $cm^{-1}$  появляются ПП с максимумами 2100, 2000, 1995 и 1880  $cm^{-1}$ . Эти полосы поглощения относятся к валентным колебаниям  $Zr-H$  (1995, 1880  $cm^{-1}$ ) и  $Si-H$  (2100, 2000  $cm^{-1}$ ) и указывают на образование поверхностных гидридов циркония и кремния типов  $Zr-H$ ,  $Zr-H_2$ ,  $Si-H$ ,  $Si-H_2$ , среди которых наиболее стабильными формами являются  $Zr-H_2$  и  $Si-H_2$ . В Фурье -ИК-спектрах поглощения образцов *нано-ZrO<sub>2</sub>+нано-SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O* с адсорбированной водой, в области валентных колебаний ОН- групп и воды ( $\nu=4000\div3000$   $cm^{-1}$ ), наблюдаются полосы водородно-связанных групп с максимумами 3580, 3520, 3475, 3450  $cm^{-1}$ , а также адсорбированных молекул воды при 3280 и 3240  $cm^{-1}$ .

Радиационное разложение воды при комнатной температуре сопровождается уменьшением интенсивности полосы молекулярной воды, образованием ряда ПП водородно-связанных гидроксильных групп при 3350, 3500  $cm^{-1}$ , а также новых полос поглощения при 3630 и 3690  $cm^{-1}$ . Последние полосы относятся к изолированным ОН- группам. Как известно, основными продуктами радиолитиза воды в нано порошковых системах оксидов являются молекулярный кислород  $[O_2]$  и водород  $[H_2]$ . Кроме газообразного состояния, эти молекулы частично адсорбируются и на поверхности нано порошков циркония и кремния. Анализ спектров разложения воды в  $\gamma$ -облученной системе 0,1г *нано-ZrO<sub>2</sub>*+0,1г *нано-SiO<sub>2</sub>* показывает, что в спектрах наблюдаются новые полосы поглощения (ПП) при частотах 1570, 3142 и 3968  $cm^{-1}$ . Возможно, полосы при 1570 и 3142 $cm^{-1}$  относятся к адсорбированным молекулам  $[O_2]$  в незаряженной форме. Нано-структура порошков  $ZrO_2$  и  $SiO_2$  позволяет обнаружить наряду с основной полосой поглощения ( $\nu_1=1570cm^{-1}$ ) поверхностно-адсорбированный молекулярный кислород и ее ПП в оберточной области ( $\nu_{об}=2\nu_1=3142$   $cm^{-1}$ ). Полоса поглощения при  $\nu_{об}=3968cm^{-1}$  относится к поверхностно адсорбированному молекулярному водороду  $[H_2]_{адс}$ . Изменение весового содержания нано порошков  $ZrO_2$  и  $SiO_2$  происходит перераспределение интенсивностей ПП, что связано изменением приповерхностных состояний порошков и их дефектностей.

## ВЛИЯНИЕ ГАММА ОБЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ПЭНП/CdS

*Нуриев М.А., Магеррамов А.М., Шукюрлы А.А., Гасымова А.И.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана  
AZ 1143, Б. Вагабзаде 9, Баку, Азербайджан  
[musa\\_nuriev@mail.ru](mailto:musa_nuriev@mail.ru)

Наноконпозиты на основе полимерной матрицы и полупроводниковых наночастиц является перспективным материалом в опто- и фотоэлектронике. Изучения воздействия ионизирующего излучения на диэлектрические характеристики полимерных композитов представляет большой интерес для радиационного материаловедения. В представленной работе были исследованы изменения диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  и электропроводности  $\rho_v$  наноконпозитов на основе полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и наночастиц сульфида кадмия (CdS) после воздействия гамма облучения различной дозы.

В порах предварительно ориентированной полимерной матрице ПЭНПв адсорбционно-активной жидкой среде (ААС)методом послойной хемосорбции были сформированы наночастицы CdS. Были исследованы композиты с шести и шестнадцать циклами формирования. Для стабилизации наночастиц в матрице композиты предварительно обработаны термопрессованием при  $T_{пл.}$  матрицы. Изменение  $\epsilon$ ,  $\text{tg}\delta$  и  $\rho_v$  в измеряли с помощью измерителя иммитанса E7-20. Образцы облучались на установке МРХ- $\gamma$ -25М на основе изотопа  $Co^{60}$ .

Как видно из зависимостей  $\epsilon=f(D)$ ,  $\text{tg}\delta=f(D)$  и  $\lg\rho=f(D)$  наноконпозитов для образцов с низким содержанием наполнителя значения  $\epsilon$  понижается (100кГр) с дальнейшим ростом и насыщением. Считаем, что при низких значениях гамма излучения процессы сшивки в полимерной матрице и межфазном прослойке с поверхностью наночастиц приводит к понижению подвижности макромолекул который и сопровождается понижением значений  $\epsilon$ . С повышением дозы гамма излучения возобладают процессы деструкции и продукты деструкции участвующие в поляризационном процессе приводит к росту значения  $\epsilon$ с дальнейшим насыщением.

Для образцов с высоким содержанием наполнителя (16цикл) значения  $\epsilon$  почти не меняется до 300кГр, а в дальнейшем наблюдается незначительный спад. В этом случае, несмотря на усиления процессов сшивки в низких значениях гамма излучения, повышенная значения концентрации наночастиц приводит к увеличению проводимости композита и наблюдается незначительная изменения в значения  $\epsilon$ . Считаем, что с повышением дозы гамма излучения возобладают процессы деструкции и повышенная проводимость приводит к относительному понижению диэлектрической проницаемости  $\epsilon$  композитов. Этими же процессами объясняется изменения в зависимостях  $\text{tg}\delta=f(D)$  и  $\lg\rho=f(D)$ .

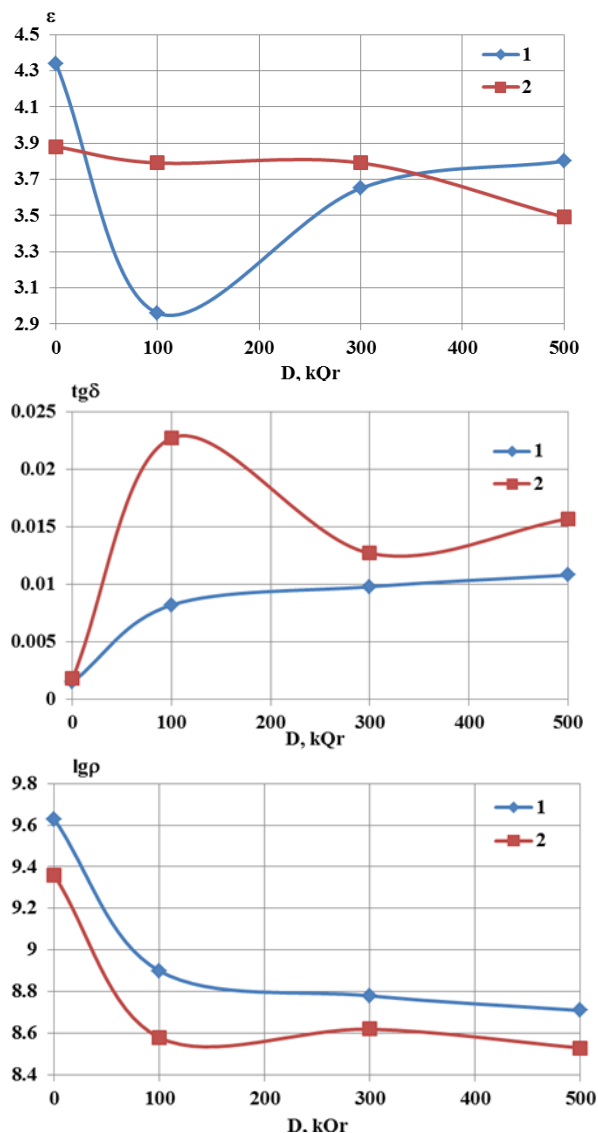


Рис.1. Зависимости  $\epsilon=f(D)$ ,  $\text{tg}\delta=f(D)$  и  $\lg\rho=f(D)$  наноконпозитов ПЭНП/6цикл.CdS (кр.1)и ПЭНП/16цикл.CdS (кр.2)

РАЗРАБОТКА НОВОГО КРЕМНИЕВОГО ФОТОДИОДА С БЫСТРОМ ФОТООТКЛИКОМ

Садыгов А.З.<sup>1,2</sup>, Ахмедов Ф.И.<sup>2</sup>, Сулейманов С.С.<sup>2</sup>, Аббасов И.И.<sup>3</sup>

1-Национальный Центр Ядерных Исследований, г. Баку

2-Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, г. Баку

3- Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г Баку

Кремниевые фотоумножители с микропиксельной структурой, известные также как Микропиксельные Лавинные Фотодиоды (МЛФД), имеют большие возможности применения в ядерно-физических, медицинских и бытовых устройствах. Они способны быстро и эффективно регистрировать слабые световые вспышки, вплоть до единичных фотонов. Однако оптические перекрестные наводки (Optical crosstalk) и эффект после импульсов (after pulsing effect), проявляемые при больших коэффициентах ( $\approx 10^6$ ) лавинного усиления сигнала, а также большая удельная емкость и связанная с ней недостаточное быстродействие при большой чувствительной площади, существенно ограничивают широкое применение МЛФД с поверхностными пикселями в медицинских позитронном эмиссионных томографах (ПЭТ). Все эти недостатки значительно ухудшают амплитудное и временное разрешения прибора.

В рамках экспериментальной работы нами разработан и реализован новый лавинный фотоприемник, с помощью которого можно решить упомянутые выше три проблемы известной конструкции МЛФД (или SiPMs), а именно, значительно уменьшить вероятность появления перекрестных оптических наводок и после импульсов, а также существенно увеличить площадь прибора и улучшить его быстродействие. Основной идеей, лежащей в основе нового фотоприемника, являются уменьшение лавинного усиления в пикселях и использование индивидуального усилительного элемента у каждого пикселя для получения достаточно высокого усиления. Таким индивидуальным усилительным элементом является биполярный микротранзистор, база которого соединена с пикселем.

Конструкция разработанного фотоприемника представляет собой микропиксельный лавинный фототранзистор – МЛФТ. Он содержит матрицу микропикселей с индивидуальными гасящими резисторами и матрицу микротранзисторов с индивидуальными балластными резисторами. Прибор имеет два независимых выхода для снятия сигнала: обычный выход и быстрый выход (“fast out”). Все микропиксели и микротранзисторы соединены к отдельным металлическим шинам через гасящие резисторы и балластными резисторами соответственно.

Результаты разработанного фотоприемника были сравнены с известными аналогом от фирмы SensL при одинаковых внешних условиях (рис 1).

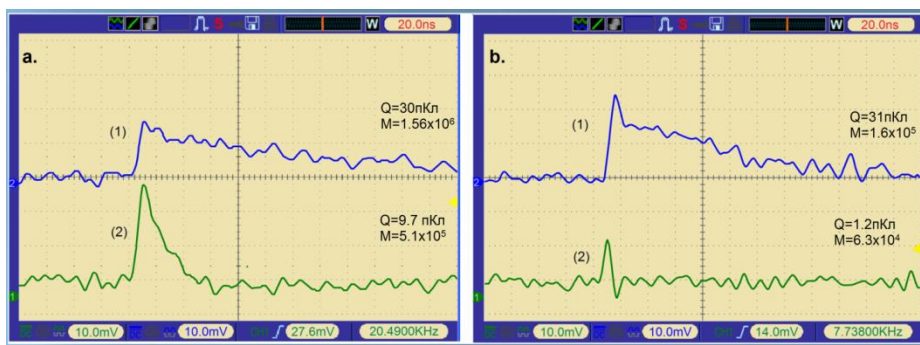


Рисунок 1. Осциллограммы одноэлектронных сигналов, полученных с приборов МЛФТ (а) и SiPM от фирмы SensL (b).

Данная работа была выполнена при поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики Grant No. **EF-KETPL-2-2015-1(25)-56/03/1**.

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОНАМИ  $BaCe_{1-x}Re_xO_{3-\delta}$  (Re = Nd, Y и Gd)

Хромушин И.В., Аксенова Т.И.

РГП ИЯФ, Алматы, Казахстан

Электрохимические устройства на основе твердооксидных ионных проводников являются перспективными для применения в различных областях науки и техники в качестве газовых анализаторов, насосов и топливных ячеек. Предполагается, что в ближайшем будущем данные материалы могут быть использованы в устройствах, находящихся в радиационных полях, например, в условиях открытого космического пространства. В связи с этим необходимо иметь информацию о влиянии излучения на структуру и физические свойства перовскитной керамики. Другим важным аспектом данной проблемы является изучение возможности направленного радиационного модифицирования твердых электролитов с целью улучшения их свойств.

В данной работе представлены результаты термического анализа образцов  $BaCe_{1-x}Re_xO_{3-\delta}$  (Re = Nd, Y и Gd), ( $x = 0.07, 0.1$  и  $0.15$ ), облученных электронами с энергией 1.3 МэВ до доз 7 и 14 МГр. Синтезированные керамические образцы в виде дисков толщиной  $\sim 1$  мм предварительно отжигали на воздухе при температуре  $650^\circ\text{C}$  в течение 7 часов, а затем облучали электронами на ускорителе ЭЛВ-4 (ИЯФ, г. Алматы). Исследования образцов выполнены с использованием методов термодесорбционной спектроскопии, дифференциального термического анализа и термогравиметрии.

Показано, что потеря массы церата бария в экспериментах по термогравиметрии в диапазоне температур ( $400 - 850^\circ\text{C}$ ) обусловлена выходом молекул воды и зависит от степени катионного допирования керамики. Потери массы на недопированном церате бария в этой температурной области практически не наблюдались. В случае церата бария, допированного Nd, потеря массы в экспериментах по термогравиметрии была существенно ниже, чем в случае допирования Gd, Sm или Y, и была обусловлена, вероятно, как выходом молекул воды, так и кислорода. Это подтверждает сделанное ранее заключение о смешанной валентности неодима в церате бария. Поскольку, как следует из данных по термодесорбции, выделение кислорода из церата бария, допированного Nd, происходит при более высокой температуре, максимум потери массы на кривых дифференциальной термогравиметрии смещен в сторону более высоких температур.

Дифференциальный термический анализ синтезированных и отожженных при  $650^\circ\text{C}$  образцов показал, что в случае недопированного  $BaCeO_3$  наблюдаются три эндотермических пика: 270, 392 и  $\sim 950^\circ\text{C}$ . Предполагается, что данные пики обусловлены переходами, связанными с последовательным превращением орторомбической фазы  $Pnnc$  в  $Incn$  ( $\sim 270^\circ\text{C}$ ), затем в ромбоэдрическую фазу  $R\bar{3}2/n$  ( $\sim 392^\circ\text{C}$ ), и затем в кубическую фазу со структурой  $Pm\bar{3}m$  ( $T \sim 950^\circ\text{C}$ ). Показано, что два низкотемпературных пика  $270^\circ\text{C}$  и  $392^\circ\text{C}$  наблюдаются как на неотожженных образцах  $BaCeO_3$ , так и после отжига на воздухе при температуре  $650^\circ\text{C}$ , либо после прогрева в атмосфере азота до  $1300^\circ\text{C}$ . Высокотемпературный пик  $950^\circ\text{C}$  не проявляется после отжига церата при температуре  $1000^\circ\text{C}$  в атмосфере азота. Следует отметить, что высокотемпературный фазовый переход сопровождается появлением молекулярного кислорода в спектрах термодесорбции  $BaCeO_3$ .

На образцах допированного церата бария при отмеченных выше температурах фазовые переходы не проявлялись. На кривых ДДТА наблюдали широкие, смещенные по температуре пики.

Облучение электронами образцов церата бария вызывает изменения в данном материале. Как показали термодесорбционные эксперименты, облучение образцов допированного бариевого церата, не привело к заметной, дополнительной интеркаляции протонов в решетку оксида. Также не обнаружено и появление протонов на недопированном  $BaCeO_3$  после облучения. В то же время в экспериментах по термогравиметрии на облученных образцах наблюдался незначительный прирост массы в диапазоне температур ( $200 \div 290^\circ\text{C}$ ), причем максимальный эффект наблюдался на церате, допированном Gd и облученном электронами до дозы 14 МГр. Прирост массы в этом случае сопровождался экзотермическим пиком на кривой ДТА. Стадия прироста массы в этом температурном диапазоне, по-видимому, обусловлена сгоранием CO и образованием  $CO_2$  на поверхности оксида.

Показано, что облучение электронами оказывает существенное влияние на фазовый переход при температуре  $\sim 950^\circ\text{C}$ , обнаруженный на недопированном церате бария. Замечено, что облучение  $BaCeO_3$  электронами до дозы 7 МГр приводит к росту интенсивности фазового перехода, тогда как облучение недопированного церата бария до дозы 14 МГр, приводит к снижению интенсивности фазового перехода.



ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Арутюнян В.В.<sup>1</sup>, Алексанян Е.М.<sup>1</sup>, Григорян Н.Е.<sup>1</sup>, Саакян А.А.<sup>1</sup>, Бадалян А.О.<sup>1</sup>, Баграмян В.В.<sup>2</sup>, Саргисян А.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Национальная Научная Лаборатория им А.И. Алиханяна, Ереван, Армения

<sup>2</sup> Институт Общей и Неорганической Химии НАН, Ереван, Армения

E-mail: [vharut@mail.yerphi.am](mailto:vharut@mail.yerphi.am)

Одной из важнейших задач в области космического материаловедения является исследование спектроскопических свойств в пигментах терморегулирующих покрытий (ТРП) под действием различных видов радиации (солнечный ультрафиолет, протоны, электроны и другие).

Целью данной работы является комплексное исследование влияния ультрафиолетового излучения (УФ), электронного облучения на радиационно-оптические свойства модифицированных терморегулирующих покрытий синтезированных гидротермальным микроволновым методом.

Установлено, что УФ облучение способствует к перераспределению интенсивности, ответственные за дефектообразование в кристаллической решетке. Измерения модифицированных  $ZrOSiO_4$  ТРП, облученных при низких температурах ( $-100$  °С) показали, что интенсивность частотных колебаний силикатных связей уменьшается из-за уменьшения амплитуды вследствие “замораживания”, при этом структура спектров поглощения сохраняется. При высоких температурах облучения ( $150$  °С) картина меняется, из-за того, имеет место « радиационный отжиг», которая способствует увеличению стойкости определенных структурных нарушений. Исследована деградация модифицированного ТРП путем облучения электронами с энергией  $5$  МэВ с различными интенсивностями. Показано, что облучение высокоэнергетическими электронами приводит к образованию полос наведенного поглощения в спектрах люминесценции в УФ-видимой областях спектра для ТРП материалов  $ZrOSiO_4$  предварительно подвергнутые термообработке ( $240$ °С,  $1250$ °С) и активированные различными редкоземельными примесями (Y, Ce). Процесс радиационного дефектообразования при облучении электронами разной интенсивности в ТРП связан с образованием внутри кристаллической решетки химической связи – новой фазы внутри кристаллической структуры. Облучение электронами приводит также к образованию междоузельных ионов например, циркония и кислорода, и их анионных вакансий (F, F<sup>+</sup>- центров) с разными зарядовыми состояниями. Процессы упругого столкновения электронов с ядрами не существенны, поэтому потери энергии определяются в основном образованием электронно-дырочных пар ( $Zr_i^+$ ,  $O_i^-$ ), а также короткоживущих дефектов виде вакансий типа ( $V_{Zr}$ ) пространственное разделение которых приводит к разложению кристаллической решетки и к проявлению ионизационного механизма, при котором многократная ионизация атомов приводит к смещению ионов из своих центров равновесия из-за электростатического отталкивания со стороны окружающих ионов, например, примесей. Полученные результаты по повышению фото- и радиационной стойкости ТРП порошков открывают возможность их использования в условиях космического пространства, характеризуемого действием на материалы различных видов ионизирующих излучений и квантов солнечного спектра. Таким образом экспериментальные исследования показали, что модифицирование нанопорошками является достаточно эффективным методом повышения радиационной стойкости, благодаря тому, что наночастицы обладают большой удельной поверхностью и являются “стоками” для возникающих при облучении электронных возбуждений.

ТЕПЛОВАЯ ЭРОЗИЯ ВОЛЬФРАМА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ\*

Алдабергенова Т.М., Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.

Институт ядерной физики Министерства энергетики РК, г. Алматы, Казахстан

Вольфрам рассматривается как материал защиты пластин дивертора и первой стенки термоядерных реакторов с тороидальным удержанием плазмы (ТОКАМАК). Пластины дивертора и облицовка первой стенки являются одними из наиболее энергонапряженных узлов установки ТОКАМАК, принимающими на себя основную тепловую нагрузку при срывах плазмы. Импульсное выделение энергии приводит к тепловой эрозии поверхности материалов защиты, при этом потери массы могут быть сопоставимыми и даже превышать потери массы за счет эффекта распыления при соударениях заряженных частиц с поверхностью. Кроме тепловой эрозии поверхности при импульсном выделении энергии, на поверхности и в объеме материалов защиты формируются ударные волны, величина механических напряжений в которых может быть сравнима с пределами текучести и прочности материала, и способных вызвать механическое разрушение материалов защиты.

В данной работе выполнены экспериментальные исследования эффектов тепловой эрозии вольфрама при импульсном выделении энергии на поверхности, проведены расчеты потери массы вольфрама при облучении импульсными электронными пучками и проведено сравнение теоретических расчетов с экспериментальными результатами.

Экспериментальные исследования проводились на образцах вольфрама чистотой 99.98 вес.%. Потери массы определялись путем измерения веса образцов до и после воздействия импульсного электронного пучка. Образцы облучались на импульсном электронном ускорителе Института атомной энергии НЯЦ РК однократным импульсом с энергией  $J \sim 4 \times 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  длительностью 2 мкс и двукратным импульсом, с длительностью каждого импульса – 2 мкс и энергией каждого импульса  $J \sim 4 \times 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ . Исследования структуры поверхности облученных образцов выполнялись методами оптической металлографии (ОМ), растровой электронной микроскопии (РЭМ) и измерения микротвердости. Получены следующие основные результаты:

- исследования структуры методом ОМ показали, что на облученной поверхности наблюдаются формирования округлой формы, представляющие собой застывшие капли расплава. РЭМ исследования структуры поверхности помимо капель расплава позволили выявить наличие трещин на поверхности;

- микротвердость облученной поверхности уменьшилась на  $\sim 8\%$ ;

- потери массы за счет испарения при локальном плавлении поверхности при однократном импульсе составило - 1.9 мг при начальном весе образца вольфрама 776.7 мг, при двукратном импульсе – 4.1 мг при исходном весе образца 778.0 мг

В рамках теоретической модели, основанной на решении уравнения теплопроводности при импульсном выделении тепла на поверхности материала, проведены расчёты температурных полей, величины тепловой эрозии и значения термонапряжений, обусловленных температурными градиентами и ударными волнами в вольфраме при импульсном электронном облучении. Показано, что при плотности выделяемой на поверхности энергии порядка  $J_0 = 4 \times 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ , энергии электронов  $E = 500 \text{ кэВ}$  и длительности импульса  $\sim 2 \text{ мкс}$  температура на поверхности в области действия электронного пучка может существенно превышать температуру плавления. При этом формируются области локального плавления и величина тепловой эрозии поверхности может быть значительной. Термонапряжения при плотности мощности  $J_0 \geq 5 \times 10^{11} \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$  могут превышать предел прочности вольфрама и приводить к его разрушению.

Теоретические расчеты величины тепловой эрозии сопоставлены с экспериментальными данными по измерению потери веса облученного импульсными электронами вольфрама и деградации механических свойств и сделан вывод об удовлетворительном согласии теоретических расчетов и экспериментальных результатов.

\* Работа выполнена в рамках программы «Научно-техническая поддержка создания и эксплуатации Казахстанского термоядерного материаловедческого реактора Токамак» Министерства энергетики Республики Казахстан.

МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛИБДЕНА, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ  $^{57}\text{Fe}$

*Бедельбекова К.А., Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.*

Институт ядерной физики Министерства энергетики РК, г. Алматы, Казахстан

Нержавеющие стали широко используются в качестве конструкционных материалов атомных реакторов. Они успешно применяются в качестве материала оболочек твэлов и других деталей тепловыделяющих сборок в исследовательских и энергетических реакторах. Стали работают при экстремальных условиях эксплуатации, т.е. при повышенных температурах, механических нагрузках и под воздействием ионизирующего излучения.

Молибден используется для легирования сталей, как компонент жаропрочных и коррозионностойких сплавов. Молибден-один из немногих легировующих элементов, способных одновременно повысить прочностные, вязкие свойства стали и коррозионную стойкость.

В данной работе методами конверсионной мессбауэровской спектроскопии по электронному каналу (КЭМС) и в режиме на поглощение (МС), электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа исследованы пластины молибдена прокатанные до толщины 20 мкм. Проведенный сразу после прокатки рентгеноструктурный анализ показал наличие текстуры образца. Проведены термические отжиги при температуре 800°C в течение 2 ч. Для облучения образцов ионами  $^{57}\text{Fe}$  на УСП-2-1 в РГП ИЯФ использовались заготовки молибдена размером 0.5x1.0 см. Время облучения длилось ~ 13 часов. Ток варьировался в интервале 90÷260 нА, в среднем 180 нА, доза облучения составила  $5 \times 10^{16}$  частиц.

Локальное окружение атомов железа по завершении процесса имплантации определяли методами мессбауэровской спектроскопии на спектрометре MS-110Em при комнатной температуре. Источником  $\gamma$ - квантов служил  $^{57}\text{Co}$  в матрице хрома. Анализ и обработку мессбауэровских спектров проводили методом модельной расшифровки с помощью программы SpectrRelax. Для расчета степени воздействия ионного пучка на кристаллическую решетку матрицы использовали компьютерную программу SRIM-2008.

МС-спектр  $^{57}\text{Fe}$ , имплантированного в матрицу молибдена, представляет собой одиночную линию с изомерным сдвигом  $0.038 \pm 0.003$  мм/с и шириной  $0.276 \pm 0.009$  мм/с. Это указывает на кубическую симметрию в окружении мессбауэровского атома, т.е. атомы имплантанта занимают узлы в кристаллической решетке мишени, имеющей кубическую сингонию. Кроме того, парамагнитное состояние атомов железа указывает на то, что среди ближайших соседей мессбауэровских атомов отсутствует железо. Конверсионная мессбауэровская спектроскопия, дающая информацию о локализации мессбауэровских атомов в приповерхностном слое (~ 100 нм), также показывает одиночную линию с изомерным сдвигом таким же, как и в спектре на поглощение.

Полученный рентгеноструктурный анализ молибденовых образцов показал уменьшение параметра кристаллической решетки на облученной стороне образца.

По результатам, проведенных исследований молибдена, облученного высокоэнергетическими однозарядными ионами  $^{57}\text{Fe}$  с энергией 1 МэВ, сделан вывод о локализации и электронной структуре имплантированных ионов железа в кристаллической решетке молибдена.

**SYNTHESIS of Zn ON A NOCRYSTALS in SiO<sub>2</sub>/Si TRACK TEMPLATES by ELECTROCHEMICAL DEPOSITION of ZINC**

*Dauletbekova A. <sup>1</sup>, Kozlovskii A. <sup>2</sup>, Baimukhanov Z. <sup>1</sup>, Usseinov A. <sup>1,2</sup>, Akilbekov A. <sup>1</sup>, Zdorovets M. <sup>2,3</sup>, Murzagaliev M. <sup>1</sup>, Zhurkin E. <sup>1</sup>, Nauryzbayeva R. <sup>1</sup>*

<sup>1</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana Kazakhstan

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Astana, Kazakhstan

<sup>3</sup>Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

Amorphous silicon oxide layer with 700 nm thickness was formed by the thermal oxidation method of n-type silicon substrate. Latent SHI tracks in SiO<sub>2</sub> layer were created by irradiation of Xe ions ( $E=200\text{MeV}$ ,  $\Phi = 10^8 - 10^9 \text{ cm}^{-2}$ ). After etching of ion tracks in 1% water solution of hydrofluoric acid (HF) at 300K, a precipitation of Zinc was performed by electrochemical deposition (ECD) at room temperature. Frontal surface and cross-section studies by SEM and AFM showed filled nanochannels. The formation regime of nanocrystals and nanotubes of zinc oxide in the track template is developed. The changes in luminescence and photovoltaic characteristics of deposited samples were investigated. The X-ray diffraction analysis made it possible to monitor the obtained structures.

For a detailed study of nanocrystals synthesis at atomic level, an analysis of absorption processes of various impurities on the oxides surfaces was carried out using computer simulation methods. The energy band structure of pure/doping surface was modeled, where total and partial density of states (DOS) signatures of surface host atoms and impurity atoms was computed. Also, the effective charges on atoms and chemical bounds have been estimated using the Mulliken population analysis.

ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАТУРНОГО И ПРОТОТИПНОГО КОРИУМОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРА НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ

<sup>1</sup> Скаков М.К., <sup>1</sup> Дерявко И.И., <sup>2</sup> Мухамедов Н.Е., <sup>1</sup> Барбатенков Р.К.

<sup>1</sup> Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup> Государственный университет им. Шакарима города Семей, Казахстан

В настоящее время повышенное внимание уделяется проблемам безопасности эксплуатации атомных реакторов. Для оценки риска использования энергетических реакторов и повышения их безопасности чрезвычайно важны работы по расчетному прогнозированию возможных аварийных ситуаций, а также по экспериментальному изучению процессов развития тяжелых аварий в модельных испытаниях, выполняемых на исследовательских реакторах. В реакторных испытаниях, моделирующих тяжелые аварии, обычно получают расплавы кориума (расплавы конструкционных и топливных материалов активной зоны реактора), последующее изучение которых дает надежную информацию, необходимую для выявления механизмов протекания тяжелых реакторных аварий, и для выработки мер по их устранению.

В ходе послереакторных исследований кориумов анализируются структурно-фазовые состояния материалов кориума и определяются основные их свойства, к числу которых относятся прежде всего теплофизические свойства (температуропроводность  $a$ , удельная теплоемкость  $C_p$  и теплопроводность  $\lambda$ ). Экспериментальные изучения теплофизических свойств (ТФС) материалов кориумов (в особенности изучения изменений этих свойств с температурой) необходимы для построения базы данных, которая могла бы быть использована при моделировании процессов, являющихся неотъемлемой частью сценариев гипотетически возможных тяжелых аварий на энергетических реакторах. В связи с отмеченными экспериментальными изучениями ТФС материалов кориумов быстрого энергетического реактора с натриевым теплоносителем, выполненные в настоящей работе, представляют несомненный научный и практический интерес. При этом следует иметь в виду, что настоящие исследования выполнялись на материалах кориумов, полученных (выплавленных) как на исследовательском реакторе ИГР, так и на стенде высокотемпературных испытаний ВЧГ-135.

Целью настоящей работы являлось проведение реакторных и вне реакторных экспериментов по получению образцов соответственно натуральных и прототипных кориумов быстрого энергетического реактора и по измерениям ТФС этих кориумов в диапазоне температур от комнатной до примерно 500 °С.

Получение натурального кориума выполнялось в ампульном внутри реакторном экспериментальном устройстве, ТВС которого была укомплектована топливными таблетками типа БН-350 из диоксида урана с обогащением до 17 % по <sup>235</sup>U в оболочках из нержавеющей стали Х16Н15М3Б. Из слитка кориума, застывшего в ловушке экспериментального устройства, были изготовлены пять образцов натурального кориума в форме дисков диаметром ~11 мм и толщиной ~4 мм (все образцы были взяты из области слитка, содержащей преимущественно керамическую составляющую, т.е. диоксид урана). Получение прототипного кориума выполнялось в камере индукционного нагрева стенда ВЧГ-135, в которой находился графитовый тигель с защитной вставкой из карбида тантала, загруженный шихтой из диоксида UO<sub>2</sub> и стали Х16Н15М3Б. Из слитков, полученных в пяти плавках на стенде ВЧГ-135, были изготовлены пять дисковых образцов прототипного кориума, содержащих от ~2 до ~6 % (мас.) стали, что полностью соответствовало диапазону концентраций стали в образцах натурального кориума.

Рентгенографическими и микроскопическими исследованиями и элементным анализом на образцах натурального и прототипного кориумов было установлено, что структурно-фазовые состояния обоих типов кориумов очень близки: фазовый и элементный составы кориумов одного типа практически повторяли фазовый и элементный составы кориумов другого типа, хотя структура прототипного кориума обладала несколько более высокой пористостью в сравнении с пористостью натурального кориума.

Измерения ТФС образцов натурального и прототипного кориумов, выполненные на установке УТФИ-2, реализующей известный метод тепловой вспышки, показали достаточно хорошее совпадение значений  $a$ ,  $C_p$ , и  $\lambda$  у натурального и прототипного кориумов при комнатной температуре. Температурные же зависимости ТФС оказались близкими только для температуропроводности и удельной теплоемкости, но температурная зависимость теплопроводности у прототипного кориума оказалась заметно отличной от таковой у натурального кориума: в небольшом температурном диапазоне выявлялся заметный подъем  $\lambda$ , что связано в основном с различием в состояниях структур у натурального и прототипного кориумов.

По результатам исследований можно было сделать следующие выводы: впервые изготовлены материалы прототипного кориума быстрого энергетического реактора; впервые получены данные по ТФС натурального и прототипного кориумов быстрого энергетического реактора; впервые проведено сравнение данных по температурным зависимостям ТФС у натуральных и прототипных кориумов быстрого энергетического реактора.

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОКРИСТАЛЛОВ Ge И ZnSe В ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКЕ  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$ 

Бобоев А.Й., Каланов М.У.

Институт ядерной физики АН РУз, г. Ташкент, рес. Узбекистан. [aboboevscp@gmail.com](mailto:aboboevscp@gmail.com)

В настоящей работе приводятся результаты экспериментальных исследований по структурным характеристикам эпитаксиальной пленки  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$ , полученной методом жидкофазной эпитаксии. Структурные исследования выполнены при 300 К на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3М. В рентгенограмме эпитаксиальных слоев  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  присутствуют несколько селективных структурных рефлексов с различной интенсивностью (рис.1 а). Анализ показал, что выращенная пленка имеет сфалеритную структуру (ZnS) и является монокристаллической с ориентацией (100). Размер нанокристаллитов пленки, оцененный по ширине основного пика (400), составляет около 52 нм. Параметр решетки пленки, определенный по трем рефлексам (200), (400) и (600) с помощью экстраполяционной функции Нельсона–Рейли  $\xi = (1/2) \cdot [(\cos^2\theta/\theta + (\cos^2\theta/\sin\theta))] - a_f = 0.56568$  нм, несколько больше, чем параметр решетки подложки  $a_s = 0.56532$  нм. Это позволяет предположить, что базовая решетка исследуемого твердого раствора состоит из двойного полупроводникового соединения GaAs и элементарного полупроводника Ge, то есть  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Ge}_x$ . Близость параметров решетки GaAs и Ge (порядкового номера в периодической системе и множителя атомного рассеяния элементов As, Ga и Ge) говорит о неразличимости дифракционных спектров GaAs и  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Ge}_x$ , что и наблюдается в эксперименте. Структурный максимум (440) с  $d/n = 0.1001$  нм принадлежит кристаллической решетке нанокристаллов Ge с размером  $\sim 44$  нм, значение параметра решетки нанокристаллов Ge, определенное из рентгенограммы, составило  $a_{\text{Ge}} = 5.6625$  Å.

В многокомпонентных твердых растворах искажение решетки стимулирует формирование нановключений различных фаз для энергетической стабилизации пленки, которые наблюдаются в виде двух селективных рефлексов с существенной интенсивностью. Анализ показал, что они вызваны нанокристаллитами селенида цинка (ZnSe): (220) с  $d/n = 0.2010$  нм ( $2\theta = 45.1^\circ$ ) и (420)  $d/n = 0.1230$  нм ( $2\theta = 74.95^\circ$ ). Несмотря на различие в направлении роста, для этих нанокристаллитов характерны почти одинаковые размеры, равные 59 нм. Этот факт позволяет предположить, что нанокристаллиты селенида цинка растут на поверхности твердого раствора  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Ge}_x$  в форме островков – квантовых точек. Было обнаружено, что при многослойном росте полупроводников с параметрами кристаллической решетки, отличающимися от параметров решетки подложки, можно получить на поверхности роста почти одинаковые по размеру островки. Оказывается, энергетически более выгодным становится формирование квантовых точек другой фазы на поверхности матричной решетки пленки по сравнению с однородно – напряженным слоем. Экспериментально определенные значения параметров решетки селенида цинка и арсенида галлия составили  $a_{\text{ZnSe}} = 5.6697$  Å и  $a_{\text{GaAsGe}} = 5.6697$  Å, соответственно.

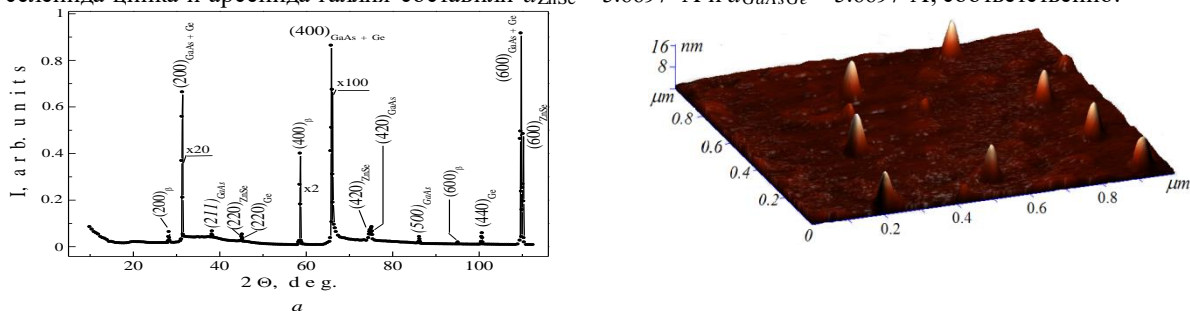


Рис.1. Рентгенограмма (600) (а) и трехмерное изображение поверхности (б) эпитаксиальной пленки  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$

Исследования рельефа поверхности выращенных эпитаксиальных слоев с помощью атомно-силового микроскопа, показали (рис.1 б), что на поверхности эпитаксиальной пленки  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  образуются трехмерные изображения. Видно, что во время роста пленки в приповерхностной области формируются островки высотой  $\sim 15 \div 16$  и шириной  $\sim 55 \div 60$  нм

Таким образом, рентгенодифракционные исследования показали, что выращенные эпитаксиальные слои твердого раствора  $(\text{GaAs})_{0.69}(\text{Ge}_2)_{0.17}(\text{ZnSe})_{0.14}$  имеют сфалеритную структуру и являются монокристаллическими, с размерами блоков 52 нм и ориентацией (100), соответствующей ориентации подложки. Парные атомы Ge частично заменяют молекулы GaAs в дефектоспособных областях матричной решетки на границах и приграничных областях фаз и раздела с последующей сегрегацией ионов германия с образованием нанокристаллов в этих местах. Молекулы селенида цинка образует островки на поверхностном слое твердого раствора  $\text{GaAs}_{1-x}\text{Ge}_x$ .

ДЕГРАДАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ

Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.

Институт ядерной физики Министерства энергетики РК, Алматы, Казахстан

Одной из проблем термоядерных установок является выбор материалов облицовки первой стенки и пластин дивертора. Эти материалы подвергаются высоким энергетическим потокам при срывах плазмы и ионному облучению, в частности альфа-частицами с энергиями ~ 200-500 эВ. Это приводит к деградации структуры и физико-механических свойств приповерхностных слоев, в частности, к шелушению. Вольфрам, является одним из кандидатов для использования в качестве материала облицовки.

Задачей исследований в данной работе является разработка модели и выполнение расчетов критического флюенса облучения альфа-частицами для вольфрама, необходимого для шелушения (флекинга) обучаемой поверхности за счет имплантированного гелия. Теоретические оценки флюенса сопоставляются с результатами выполненных нами экспериментальных исследований по имплантации в вольфрам альфа-частиц с энергией 45 кэВ.

**Эксперимент.** Облучение:  $E_{\text{He}^{++}} = 45\text{кэВ}$  ионами гелия  ${}^4\text{He}^{++}$  дозой  $\Phi = 1.5 \cdot 10^{18}$  ион/см<sup>2</sup>. при температуре < 200 °С привело к образованию вздутий на поверхности с размерами порядка нескольких микрон. Средний размер вздутий (флекинги) составил 15 мкм, при этом большая часть вздутий раскрыта, т.е. явно наблюдается шелушение поверхности.

**Теория.** Расчетная модель выполнена в рамках теории термоупругости. Концентрация атомов гелия в матрице определит напряжения в рамках методов термоупругости простой заменой члена термического расширения матрицы в уравнении равновесия  $\alpha \cdot T$  на  $C_{\text{He}} \cdot \Omega_{\text{He}}$ . В приближении Гаусса, распределение ионов по глубине матрицы рассчитанной Пакетом SRIM определялось следующими параметрами: средняя длина пробега  $R = 10^3$  Å; дисперсия по глубине пробега  $\sigma_z = 500$  Å; радиальная дисперсия пучка ионов  $\sigma_r = 0.7$  мм в цилиндрической системе координат  $(z, \rho, \varphi)$ , облучаемая поверхность  $z = -R$ . Максимальная концентрация атомов  $C_{\text{He}m} = 8 \cdot 10^4$  He/(см<sup>3</sup>·ион). Уравнение равновесия решалось без учета граничных условий на поверхности  $z = -R$ . Критерий Треска, т.е. напряжение разрушения материала, определится найденным решением. Соответствующее критерию Треска равенство определит критическую дозу  $\Phi_{\text{cr}}$  необходимую для отслаивания поверхности:

$$(2/3 \cdot \mu) \cdot (1 + \nu) / (1 - \nu) \cdot \Phi_{\text{cr}} \cdot C_{\text{He}m} \cdot \Omega_{\text{He}} \cdot \exp(-z^2/2\sigma_z^2) = \sigma_{\text{в}},$$

где  $\Phi_{\text{cr}} \sim 10^{19}$  ион/см<sup>2</sup>.

Полученное значение критического флюенса явно занижено, нет соответствия эксперименту. Это обусловлено неучетом граничных условий, а также и использованием объема атома He -  $\Omega_{\text{He}}$ . Учет граничных условий значительно усложняет задачу, возмущение предыдущего решения, обусловленное граничными условиями, находится в форме Папковича-Нейбера [1], методом интегрального преобразования Ганкеля [2,3]. Использование атомного объема  $\Omega_{\text{He}}$  также не совсем корректно. Более корректно использование значения  $\delta V_{\text{He}}$  полученное методом функционала плотности. Уточненное значение интегральной дозы  $\Phi_{\text{cr}} \sim 10^{22}$  ион/см<sup>2</sup> не противоречит эксперименту по полному отслаиванию облучаемой поверхности.

1. Лурье А.И. Теория упругости ., Физ.-Мат. лит: М., 1970 - 940 с.
2. Hall В.О. Stress distribution in helium-ion implantations // J.Nucl. Mat. – 1976 - V.63 - P. 285-291
3. Ганеев Г.З. Распределение внутренних напряжений в материале, содержащем замкнутый распухающий слой с гелием. 1986 – ФММ - Т. 62 - Вып.6 - С.1203-1207.

## ГЕТЕРОГЕННЫЙ ГАММА-РАДИОЛИЗ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНО-ЦИРКОНИЯ

Агаев Т.Н., Гусейнов В.И., Алескеров А.М.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143, г.Баку, ул. Б. Вагабаде, 9

Цирконий- один из ключевых конструкционных металлов ядерной энергетики, являющейся одним из основных компонентов сплава, используемых для изготовления оболочек, тепловыделяющих элементов (ТВЭЛ) ядерных реакторов. Цирконий обладает достаточно высокой коррозионной стойкостью по отношению к воде и пару и относительно малым поперечным сечением поглощения тепловых нейтронов. В последнее время открылись новые перспективы применения циркония в атомной энергетике, связанные с вариантами вовлечения тория в ядерный топливный цикл. Металлургия циркония получила интенсивное развитие после того, как цирконий стал основным компонентом конструкционных сплавов для атомной техники. Цирконий обладает рядом уникальных свойств – малое сечение захвата тепловых нейтронов 0,18 барн, высокая температура плавления, коррозионные свойства. Все это сделало цирконий незаменимым материалом в атомной промышленности, как методом получения циркония "реакторной чистоты".

В настоящей работе с целью выявления влияния металлического нано-циркония на радиолиз воды, исследована кинетика накопления молекулярного водорода при радиолитическом разложении воды в системе нано-Zr + H<sub>2</sub>O при T=300K,  $\rho_{H_2O}=5\text{Мг/см}^3$  и D=0,15Гр/сек. На основе кинетических кривых, определены значения скорости процесса и радиационно-химического выхода молекулярного водорода G(H<sub>2</sub>), рассчитанные на энергию поглощенную водой. При этом выявлено, что радиационно-химический выход молекулярного водорода G(H<sub>2</sub>) при T=300K составляет 1,30 молекул/100эВ, который больше чем для чистой воды, равный G(H<sub>2</sub>)=0,45 молекул/100эВ. Наблюдаемый прирост значений G(H<sub>2</sub>) при радиолизе воды в присутствии нано-Zr по сравнению с выходом радиолиза чистой воды, объясняется вкладом эмитированных из нано-Zr при воздействии гамма-квантов  $\delta$ -электронов, а также образованием на поверхности оксида металла активных центров разложения воды.

Поиски исследования по гетерогенному гамма- радиолизу воды на поверхности нано-циркония при различных температурах в этой области продолжаются.

## РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и TiO<sub>2</sub> ВЫЗВАННЫЕ ОБЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ

Скуратов В. <sup>1</sup>, Акилбеков А. <sup>2</sup>, Здоровец М.В. <sup>3,4</sup>, Даулетбекова А. <sup>2</sup>, Аралбаева Г. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан,

<sup>3</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Материалы инертных разбавителей композитного ядерного топлива, в качестве которых рассматриваются такие керамики и оксиды, как TiO<sub>2</sub>, MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, SiC, AlN, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, должны сохранять высокую радиационную стойкость при воздействии нейтронов,  $\gamma$  - и  $\beta$  - излучений, осколков деления и само облучения от  $\alpha$ -распада. При этом структурные изменения в объеме и на поверхности материала, вызванные осколками деления, являются наименее изученными из-за невозможности исследовать их методом классической низкоэнергетической имплантации, и облучение быстрыми тяжелыми ионами дает уникальную возможность моделировать радиационные повреждения, индуцированные осколками деления. Эти структурные нарушения в объеме и на поверхности твердых тел, включая и радиационно-стойкие диэлектрики, имеют порог по ионизационным потерям энергии (электронным). В настоящей работе представлены результаты по формированию структурных дефектов на поверхности кандидатных материалов - инертных разбавителей (матриц) ядерного топлива (TiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) вызываемых высокоэнергетическими тяжелыми ионами.

Монокристаллы TiO<sub>2</sub> со структурой рутила и имеющей поверхность [110], кристаллы A<sub>2</sub>O<sub>3</sub> производства корпорации МТИ (США) и облучены ионами на циклотронах DC-60 в Астане, Казахстан, IC-100 (DC-40) и У-400 ЛЯР ОИЯИ в Дубне, Россия и. Для исследования структурных дефектов использовалась АСМ, СЭМ и ПЭМ.

Исследование образцов облученных ионами Вi 700 МэВ и Хе (220 МэВ и 167 МэВ) показали что в результате облучения на поверхности данных монокристаллов образуются наноразмерные структурные дефекты в виде хиллоков конической формы. Плотность наблюдаемых хиллоков совпадает с флюенсом ионов в пределах экспериментальной ошибки ( $\pm 10\%$ ). Это позволяет утверждать, что каждый дефект появляется в результате воздействия единичного иона. Анализ полученных АСМ изображений показал, что геометрические размеры

наблюдаемых дефектов зависят от энергии ионов. Наиболее сильно от энергии ионов зависит высота наблюдаемых хиллоков. Важные результаты получены при ПЭМ исследовании приповерхностной области  $\text{TiO}_2$ , облученного ионами висмута. ПЭМ в светлом поле в сечении вдоль траектории ионов для  $\text{TiO}_2$ , облученного ионами 700 МэВ Вi, показывает треки конической формы на рисунке 2. Эти конические объекты также присоединены к поверхностным хиллокам и простираются внутрь кристалла до глубины 70–80 нм. После этой глубины треки становятся прерывистыми, а темный дифракционный контраст говорит о том, что эти области состоят из напряженного кристаллического материала. Сами конические структуры состоят из небольших 1–2 нм частичек. Конические структуры хорошо видны в приповерхностной области. Установлено, что хиллоки расположены вдоль пути ионов, поддерживая идею о том, что хиллоки образуются в результате выхода материала на поверхность из конического участка, который после этого имеет пониженную плотность. ПЭМ исследования показали, что хиллоки имеют кристаллическую структуру и эпитаксиально связаны с исходным кристаллом.

### СИНТЕЗ МОЩНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ КЕРАМИК $\text{MgF}_2$ АКТИВИРОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОМ: ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА

Лисицын В.М.<sup>1</sup>, Карипбаев Ж.Т.<sup>2</sup>, Мусаханов Д.<sup>2</sup>, Козловский А.Л.<sup>3</sup>, Лисицына Л.А.<sup>4</sup>, Даулетбекова А.К.<sup>2</sup>, Акилбеков А.Т.<sup>2</sup>, Мархабаева А.А.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

<sup>3</sup>АФ ИЯФ, Астана, Казахстан

<sup>4</sup>Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск, Россия

<sup>5</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Керамика является перспективным материалом для использования в различных областях техники, в том числе и в оптике [1-3]. Оптическая керамика, в отличие от монокристаллов механически изотропна и более прочна, зерна керамики разориентированы, поэтому свойства их изотропны. направление решеток все время меняется: нет плоской спаянности, двойного лучепреломления. Интерес представляет оптическая керамика на основе  $\text{MgF}_2$

Изготовление образцов проводилось с использованием в качестве нагревателя мощный поток электронов. В шихту из порошка  $\text{MgF}_2$  добавлялся для активации оксид вольфрама ( $\text{WO}_3$ ) и со-активатор в виде гидроксида лития ( $\text{LiOH}$ ) с весовыми концентрациями от 0.05 до 0.3%.

Поток электронов с энергией 1.4 МэВ и плотностью мощности 18 кВт на  $\text{см}^2$  от ускорителя ЭЛВ-6, который сканировал вдоль конструкции со скоростью 1  $\text{см}\cdot\text{с}^{-1}$  и с сечением у поверхности тигля 1  $\text{см}^2$  в течении 1 с плавил шихту, которая после воздействия быстро застывала, образуя керамический образец с заданным по шихте соотношением примесей.

После однократного облучения всей поверхности конструкция охлаждалась

Рентгеноструктурный анализ синтезированных образцов керамики проводился с использованием дифрактометра D8ADVANCE ECO с рентгеновской трубкой с Cu – анодом и графитовым монохроматором.. Дифрактограммы записывались в диапазоне углов 20–110° 2 $\theta$ , шаг 0,02° 2 $\theta$ . Количественное соотношение фаз определяется в программе TOPAS 4.2. Полуширины измеренных рефлексов использовались для определения размеров кристаллитов и микронапряжений в образце, а отношение интегральной интенсивности рефлексов к полной интенсивности рентгенограммы для оценки степени кристалличности образца. Результаты анализа дифрактограмм показали, что синтезированная керамика имеет высокую степень кристалличности.

Спектры фотолюминесценции керамик фторида магния, измеренные на спектрофлуориметре Agilent Cary Eclipse. Активаторное свечение в исследованных нами активированных керамиках  $\text{MgF}_2$  возбуждается в области 200-300 нм, спектр свечения зависит от активатора и его концентрации.

1. Третьяков Ю.Д. Керамика в прошлом и настоящем и будущем, Статьи Соросовского Образовательного журнала, 1998, Химия.
2. Третьяков Ю.Д. Керамика - материал будущего. М.: Знание, 1987. 48 с.
3. Басиев Т.Т. Фторидная оптическая нанокерамика // Изв. РАН Сер.хим. 2008. № 5. С. 863–872.



**ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 316NG И G-91 \***

Диков А.С. <sup>1,2</sup>, Кислицин С.Б. <sup>1,2</sup>, Максимкин О.П. <sup>1,2</sup>, Мережко М.С. <sup>1</sup>, Рофман О.В. <sup>1</sup>, Турубарова Л.Г. <sup>1</sup>, Сильнягина Н.С. <sup>1</sup>, Чернов И.И. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики МЭ РК

<sup>2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» – НИЯУ МИФИ

Выполнены исследования структуры и физико-механических свойств облученных в исследовательском реакторе ВВР-К до сравнительно невысоких флюенсов нейтронов конструкционных сталей 316NG и G91. Сталь 316NG представляет собой модификацию известной и широко используемой в ядерной технике нержавеющей аустенитной стали 316. Модификация стали 316NG заключается в добавке легирующих элементов, в числе, в увеличении содержания азота. Введение азота в нержавеющую сталь преследует целью частично заменить дорогостоящий никель. Положительный эффект от присутствия азота состоит в том, что как хорошо известно, он улучшает коррозионную стойкость. Азот также повышает пределы текучести и прочности, препятствует сенсбилизации, т.е. формированию карбидов хрома на границах зерен и предотвращает образование сигма-фазы.

Сталь феррито-мартенситного типа G91 (Grade-91: 9Cr-1Mo) позиционируется как материал, обладающий высокими коррозионной стойкостью, прочностью и пластичностью при высоких температурах. Модифицированная сталь этого типа с добавками ванадия, ниобия, вольфрама, азота рассматривается как конструкционный материал для реакторов поколения 4 с жидкометаллическим теплоносителем.

Исследования структуры и свойств стали 316NG и G91 до и после облучения в реакторе проводились на образцах в состоянии поставки из Аргонской Национальной лаборатории без дополнительной термомеханической обработки.

Облучение проводилось в «мокром» канале реактора ВВР-К, плотность потока по тепловым нейтронам составила  $4.8 \times 10^{13}$  н/см<sup>2</sup>с и  $2.77 \times 10^{12}$  н/см<sup>2</sup>с по быстрым нейтронам. Облучены две партии образцов сталей 316NG и G91. Суммарный нейтронный поток для образцов первой партии составил:  $2.3 \times 10^{19}$  н × см<sup>-2</sup> по быстрым нейтронам и  $4 \times 10^{20}$  н × см<sup>-2</sup> по тепловым нейтронам. Для второй партии образцов суммарный поток составил  $6.17 \times 10^{19}$  н × см<sup>-2</sup> по быстрым нейтронам и  $7 \times 10^{20}$  н × см<sup>-2</sup> по тепловым нейтронам. Температура облучения составляла ~ 90 °С.

Исследования структуры и физико-механических свойств сталей выполнялось как до облучения, так и после облучения. Исследования проводились методами оптической микроскопии, измерений гидростатической плотности, измерений микротвердости, просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) и механических испытаний с постоянной скоростью деформации.

По результатам исследований получены зависимости изменений структуры стали 316NG от флюенса быстрых нейтронов, микротвердости, плотности и характеристик пластичности (относительное удлинение) и прочности (пределов текучести и прочности). По данным ПЭМ, основные изменения структуры для стали 316NG состоят в появлении в теле зерен мелких скоплений точечных дефектов (black dots), образованием которых можно объяснить изменение прочностных свойств стали. Отметим высокие антикоррозионные свойства стали 316NG – после девяти кампаний облучения (~ один год), т.е. нахождения в мокром канале реактора, следов коррозии на поверхности образцов стали 316NG не наблюдается. Облучение также не приводит к заметному появлению мартенситной фазы.

Для стали G91 наиболее характерными оказались существенная коррозия и практически полная потеря пластичности после облучения до флюенса  $6.17 \times 10^{19}$  н × см<sup>-2</sup> по быстрым нейтронам. Сильная коррозионная повреждаемость стали G91 оказалась неожиданным фактом, поскольку эта сталь используется для производства теплообменников и других коррозионно-стойких изделий. Потеря пластичности является следствием коррозионных повреждений, т.к. разрушение образцов при механических испытаниях связано с местами питтинговой коррозии.

\* Исследования выполнены в рамках партнерского проекта МНТЦ К-1985. Образцы для исследований предоставлены партнером – Аргонской национальной лабораторией США.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯГР СПЕКТРОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-ЦИРКОНИЙ

Жубаев А.К. <sup>1</sup>, Кантарбай Е.А. <sup>2</sup>, Торемурат А.Х. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Актюбинский региональный государственный университет им.К.Жубанова, г.Актобе, Казахстан

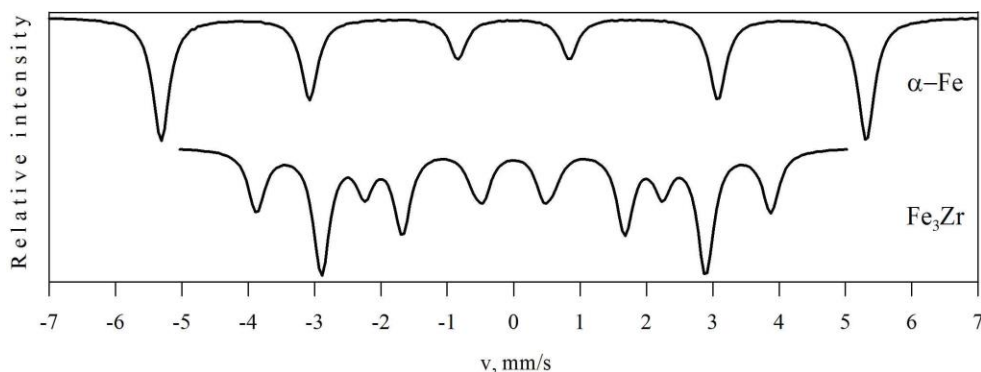
<sup>2</sup>Международный университет информационных технологий, г.Алматы, Казахстан

В настоящей работе представлены результаты моделирования ЯГР спектров интерметаллических фаз бинарной системы Fe–Zr.

В системе Fe-Zr установлено существование четырех интерметаллидных фаз [1, 2]: FeZr<sub>3</sub> (орторомбическая решетка типа Re<sub>3</sub>V), FeZr<sub>2</sub> (решетка типа NiTi<sub>2</sub>), Fe<sub>2</sub>Zr (фаза Лавеса с кубической решеткой типа MgCu<sub>2</sub>) и Fe<sub>3</sub>Zr (плотноупакованная ГЦК структура).

Мессбауэровские спектры первых двух фаз представляют собой дублеты с изомерными сдвигами  $\delta = 0,319 \pm 0,005$  мм/с [3] и  $\delta = -0,151 \pm 0,005$  мм/с [4] и квадрупольными расщеплениями  $\Delta = 0,91 \pm 0,01$  мм/с и  $\Delta = 0,24 \pm 0,02$  мм/с, соответственно. Известно [5], что для фазы Fe<sub>2</sub>Zr характерны два секстета с эффективными магнитными полями на ядрах <sup>57</sup>Fe  $H_n = 190 \pm 5$  кЭ и  $H_n = 200 \pm 5$  кЭ с отношением интенсивностей 1:3. Фаза Fe<sub>3</sub>Zr характеризуется тремя секстетами с полями  $H_n = 180 \pm 5$ ,  $224 \pm 5$  и  $241 \pm 5$  кЭ с отношением интенсивностей 2:1:1 [6].

С помощью программы SPECTR [7] были созданы спектры всех фаз бинарной системы. Так как атомы железа занимают несколько позиций в интерметаллических соединениях Fe<sub>2</sub>Zr и Fe<sub>3</sub>Zr, которым соответствуют 2 секстета в первом случае и 3 секстета – во втором, то для получения окончательного варианта спектров этих фаз была применена программа PHASAN [7], которая предназначена для количественного фазового анализа с использованием спектров эталонных образцов. В качестве примера представлены спектры ядер <sup>57</sup>Fe в α-Fe и интерметаллиде Fe<sub>3</sub>Zr.



1. Хансен М., Андерко К. Структура двойных сплавов: в 2-х томах – М.: Металлургиздат, 1962. – 1488 с.
2. Свечников В.Н., Пан В.М., Спектор А.Ц. // Ж. неорг. химии. 1963. т.8. №9. С.2118-2123.
3. Дехяр И.Я. // Металлофизика, 1984. Т.6. №6. С.100-102.
4. Vincze I. et al // Solid State Commun., 1981. Vol.37. No 7. P.567-570.
5. Congiu F. et al // J. Magn. Magn. Mater. 2004. Vol.272-276, E1123.
6. Ghafari M. et al // Nucl. Instr. Meth. 1982. Vol.199. P.197.
7. Русаков В.С. Мессбауэровская спектроскопия локально неоднородных систем. – Алматы, 2000. 341с.

РАЗРАБОТКА СПЛАВОВ-ПРИПОЕВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

Калин Б.А., Севрюков О.Н., Сучков А.Н., Иванников А.А., Федотов И.В., Бачурина Д.М., Пенязь М.А.

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ» (НИЯУ МИФИ), г.Москва, Россия

В НИЯУ МИФИ на кафедре «Физические проблемы материаловедения» совместно с инновационным малым предприятием МИФИ АМЕТО, НИИЭФА им Д.В. Ефремова, ФЭИ им. А.И. Лейпунского и другими предприятиями разработана серия быстрозакаленных аморфных и нанокристаллических ленточных и порошковых сплавов-припоев (БЗП) на основе Al, Cu, Ni, Fe, Ti, Zr для пайки широкого спектра материалов в атомной, термоядерной, аэрокосмической, автомобильной, авиационной и др. промышленности, включая стали и сплавы, в том числе тугоплавких металлов, графита и различных керамик без предварительной металлизации поверхностей.

Достоинствами БЗП, получаемых при закалке металлических расплавов со скоростями  $10^4$ – $10^6$  К/с, являются: состояние пересыщенного твердого раствора; высокая химическая однородность, определяющая достаточно равномерное плавление сплава-припоя по объему; хорошая смачиваемость поверхности и высокая капиллярная активность расплава; высокая диффузионная подвижность компонентов в процессе пайки. Это обеспечивает эффективное распределение компонентов в зоне пайки, снижает вероятность непропаев, минимизирует образование хрупких фаз, и, в конечном итоге, обеспечивает оптимальную прочность и коррозионную стойкость паяных соединений вследствие образования узкой зоны шва (менее толщины исходной ленты) и отсутствия крупных интерметаллидов (соединений) в шве и примыкающей диффузионной зоне.

В результате физико-химического анализа многокомпонентных сплавов основных металлов для аморфизации выбраны оптимальные эвтектические составы с минимальными температурами плавления (и, соответственно, пайки). Разработана технология производства особо тонкой быстрозакаленной ленты сплавов-припоев, отработаны режимы вакуумной инерционной и быстрой пайки ячеек циркониевых дистанционирующих решеток (ЦДР) тепловыделяющих сборок (ТВС) ВВЭР-440 из сплавов Э110 при температуре 780 °С, переходников «цирконий (Э110) – сталь (X18Н10Т)» при температуре пайки 850 °С, «титан (ВТ-5) – сталь (X18Н10Т)» при температуре пайки 870 °С. Паяные соединения ЦДР показали удовлетворительную коррозионную стойкость и высокие механические характеристики после коррозионных испытаний под облучением в течение 125 эфф. суток (до флюенса  $5 \cdot 10^{24}$  нейтр./м<sup>2</sup>). Титановые и циркониевые припои успешно применяют для пайки металлов с графитами (элементы рентгеновских излучателей), керамиками (пайка резцов из кубического нитрида бора с твердым сплавом), борнитридной керамики с титановым сплавом ВТ1-0 (BN/ВТ1-0) как с применением компенсаторов термонапряжений из тантала и молибдена, так и без них.

Разработаны составы и режимы пайки антидебризных фильтров ТВС ВВЭР-440 из коррозионно-стойкой ленты. Совместно НИИЭФА им. Д.В. Ефремова ведутся работы по разработке припоев и технологии пайки элементов первой стенки «бронза БрХЦр-Ве» и дивертора «бронза БрХЦр-W» термоядерного реактора ИТЭР. В частности, паяное соединение БрХЦр/W выдержало циклические испытания 1000+1000 циклов при импульсных тепловых нагрузках от 3 до 5 МВт/м<sup>2</sup>. Циклические испытания импульсной дейтериевой плазмы с нагрузкой 5 МВт/м<sup>2</sup> торцевой поверхности такого соединения не привели к разрушению целостности соединения. Нейтронное облучение ( $E > 0,1$  МэВ) при 200 °С (флюенс  $1,8 \cdot 10^{24}$  н/м<sup>2</sup>) так же не привело к деградации паяного соединения. Экспериментальный макет соединения «БрХЦр-Ве», спаянный медным припоем при температуре 720 °С пропусканьем тока, прошел термоциклические испытания (15000 циклов) под воздействием импульсной тепловой нагрузки 0,5–5,9 МВт/м<sup>2</sup> без разрушения.

Разработана группа сплавов-припоев на основе никеля с температурой пайки от 1010 °С до 1200 °С и выше. Основное применение эти припои нашли в авиастроительной (пайка теплообменников, лопаток газотурбинных двигателей), ракетно-космической (пайка сопел ракетных двигателей), автомобильной (пайка каталитических нейтрализаторов выхлопных газов) и атомной (пайка заглушек тепловыделяющих элементов) технике, а также при пайке жаропрочных никелевых сплавов и сталей различного класса.

В процессе разработки сплавов-припоев использованы современные методы изучения структурно-фазового состояния и механических свойств паяных соединений.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОБЛУЧЕНИЮ СВИНЦОВО-ЛИТИЕВОЙ  
ЭВТЕКТИКИ  $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$

Заурбекова Ж.А. <sup>1</sup>, Ситников А.А. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Атомной Энергии, Национальный Ядерный Центр РК, Курчатов, Казахстан  
<sup>2</sup>Алтайский Государственный Технический университет им. И.И. Ползунова, Барнаул, Россия

В настоящий момент свинцово-литиевая эвтектика рассматривается в качестве материала blankets реактора ДЭМО, предназначенного для демонстрации коммерческой привлекательности термоядерной энергетики [1]. Работы в направлении создания оптимальной конструкции blankets ДЭМО ведутся во всем мире. Прорабатывается несколько концепций Тестовых Blankетных Модулей (ТБМ) с дальнейшим их тестированием на реакторе ИТЭР: а) гелий-охлаждаемый свинцово-литиевый blanket (HCLL – Helium Cooled Lithium Lead) в Евросоюзе [2]; б) водо-охлаждаемый свинцово-литиевый blanket (WCLL – Water Cooled Lithium Lead) [3]; в) двухконтурный свинцово-литиевый blanket (DCLL – Dual Coolant Lithium Lead) в США [4]. Более того, в Японии ведутся работы по созданию blankets на основе свинцово-литиевой эвтектики для лазерного термоядерного реактора КОУО-FAST [5].

Существует очень ограниченное число работ, посвященных вопросам выделения трития из свинцово-литиевой эвтектики. Большинство исследований по оценке параметров диффузии, растворимости, выделения изотопов водорода, и, в частности, трития, для данного материала, были выполнены в обычных условиях, т.е. это были эксперименты с необлученными материалами, либо эксперименты с образцами после облучения [6,7].

В представляемой работе приводится анализ экспериментов по исследованию процессов генерации и выделения гелия и трития из свинцово-литиевой эвтектики в условиях облучения на реакторе ИВГ1.М. Разработана феноменологическая модель выделения гелия и трития из эвтектики, определены основные параметры модели.

1. A. Li-Puma et al., Consistent integration in preparing the helium cooled lithium lead DEMO-2007 reactor, Fusion Eng. Des. 84, 2009, P. 1197-1205;
2. A.I. Barrado et al., Towards the development of technical specifications for the production of lithium-lead alloys for the ITER HCLL TBM, Fusion Eng. Des. 87, 2012, P. 1297-1300;
3. L. Candido et al., Tritium transport in HCLL and WCLL DEMO blankets, Fusion Eng. Des. 109-111, 2016, P. 248-254;
4. M.E. Sawan et al., Three-dimensional nuclear analysis for the US dual coolant lead lithium ITER test blanket module, Fusion Eng. Des. 85, 2010, P. 1027-1032;
5. S. Fukada et al., Tritium recovery system for Li-Pb loop of inertial fusion reactor, Fusion Eng. Des. 83, 2008, P. 747-751;
6. T. Terai et al., In-reactor tritium release experiment from molten lithium-lead alloy ( $\text{Li}_{17}\text{Pb}_{83}$ ), J. Nucl. Mater. 179-181, 1991, P. 871-874;
7. T. Terai et al., Tritium release behavior from liquid tritium breeding materials for fusion reactor blanket under neutron irradiation, Progress in Nuclear Energy. 32, 1/2, 1998, P. 97-112.

ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ ПРИ  $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИИ

Амонов М.З., Ибрагимова Э.М., Есемуратов Б.

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан, e-mail: [amonov@inp.uz](mailto:amonov@inp.uz); [ibragimova@inp.uz](mailto:ibragimova@inp.uz)

Кварцевые волоконные световоды (ВС) используются в системах оптической регистрации ионизирующих излучений [1-3]. Цель работы – определить дозовые пределы системы в зависимости от потерь из-за наведенных центров окраски в области 200-800 нм.

Объектами исследования являлись ВС марки FVP-300 “Polimicro”, в сердцевине которых концентрация ОН групп в кварцевом стекле составляет  $\sim 1000$  млн<sup>-1</sup>, алюминия  $\sim 0.1$  млн<sup>-1</sup>.

Образцы облучали  $\gamma$ -лучами в интервале доз от  $10^3$  до  $10^9$  рад от источника <sup>60</sup>Co при мощности 670 Р/с в ИЯФ АН РУз. В спектре потерь облученных ВС при дозах  $\gamma$ -облучения до  $10^3$  рад наблюдается полоса поглощения (ПП) при 210 нм и интенсивность её с ростом дозы возрастает. При дозе более  $5 \cdot 10^7$  рад потери в полосе 210 нм превышают предел измерения прибора. Отмечено, что в спектрах поглощения  $\gamma$ -облученных ВС отсутствует интенсивная ПП при 260 нм (4.77 эВ) немостиковых атомов кислорода (НАК). До дозы  $10^6$  рад отсутствуют явные максимумы в интервале длин волн 250-400 нм. В области длин волн 400-800 нм в спектре потерь ВС  $\gamma$ -облученных при дозе  $5 \cdot 10^6$  рад появляются две ПП при 610 нм и 550 нм, интенсивность которых при повышении дозы от  $5 \cdot 10^6$  рад до  $10^8$  рад линейно возрастает. Далее до дозы  $10^9$  рад интенсивность ПП при 550 нм продолжает расти, в то время как наблюдается спад интенсивности ПП при 610 нм от дозы  $10^8$  рад и полное её исчезновение при дозе  $10^9$  рад.

Сравнивая свои результаты с данным работ [1-3] мы отнесли ПП при 210 нм в  $\gamma$ -облученных ВС к известному  $\equiv\text{Si}$  (E) центру, образуемому при захвате электрона вакансией кислорода, 550 нм - алюмодырочному центру, 610 нм НАК ( $\equiv\text{Si-O}^+$  центр). Авторами работы [1] было показано, что с ростом концентрации ОН групп от  $1 \cdot 10^{-2}$  до  $1 \cdot 10^{-3}$  вес% в кварцевых стеклах интенсивность ПП НАК при 260 нм уменьшается при  $\gamma$ -облучении. На основании схемы уровней НАК ( $\equiv\text{Si-O}^+$  центра) с полосами 260 и 630 нм, приведенной в работе [3] для ВС с разным содержанием ОН, в нашем случае ВС с высоким содержанием ОН-групп полное отсутствие коротковолновой ПП при 260 нм и исчезновение длинноволновой ПП при 610 нм при  $\gamma$ -облучении  $10^9$  рад объясняется 2<sup>x</sup> - каскадным концентрационным тушением ПП НАК. Другими словами, концентрация НАК в ВС при высоких дозах гамма облучения настолько возрастает, что возбужденные уровни близких центров НАК перекрываются.

В исследованных нами ВС в пределах доз  $\gamma$ -облученных от  $5 \cdot 10^6$  рад до  $10^8$  рад образуются два центра.

- Аллюмодырочный центр с ПП при 550 нм образуется, когда дырка локализуется на кислородо-гидроксильной группы.

- центр НАК с ПП при 610 нм образуется при удалении водорода из  $\equiv\text{Si-OH}$  центра. Замечено отсутствие интенсивной ПП НАК при 260 нм после  $\gamma$ -облучения дозой  $5 \cdot 10^6$  рад и выше, и исчезновение слабой ПП НАК при 610 нм при максимальной дозе  $\gamma$ -облучения  $10^9$  рад.

1. А.В. Амосов, Г.А. Дорфман и др. Физика и химия стекла, 9, 1983, стр. 741.
2. С.М. Бреховских, В.А. Тюлькин. Радиационные центры в неорганических стеклах –М.; Энергоатомиздат, 1988. -200с.
3. В.Б. Гаврилов, А.И. Голутвин и др. Спектры поглощения волоконных световодов из чистого кварца, облученных гамма-квантами от <sup>60</sup>Co. Техника ядерного эксперимента, 1997, №4, с.23-32.

ЭВОЛЮЦИЯ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ

Карников А.Н., Кислицин С.Б., Козырева М.С.

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы, Казахстан

Различные фрагменты шероховатой поверхности имеют разные коэффициенты распыления, и, следовательно, распыляются с разной скоростью. Это, в свою очередь, приводит к изменению первоначального профиля шероховатой поверхности.

Этот эффект рассматривается на примере двухфрагментной симметричной поверхности, имеющей период  $L$ . Поток ионов падает перпендикулярно глобальной поверхности. Поведение локальных фрагментов, нормаль к которым составляет  $-\alpha_1$  и  $\alpha_1$ , в данном случае идентично, поскольку и коэффициент, и скорость распыления являются четными функциями, и зависит лишь от абсолютного значения угла ( $S(\alpha) = S(\cos\alpha)$ ). В процессе распыления профиль распыляемой поверхности неизбежно проходит через конфигурации *a*, *б* и *в* на рисунке 1. Определяющим моментом в этом случае будет зарождение и развитие фрагментов типа  $l_2$ , параллельных глобальной поверхности  $S_0$ , которые распыляются с меньшей скоростью, чем наклонные фрагменты с проекцией  $l_1$ .

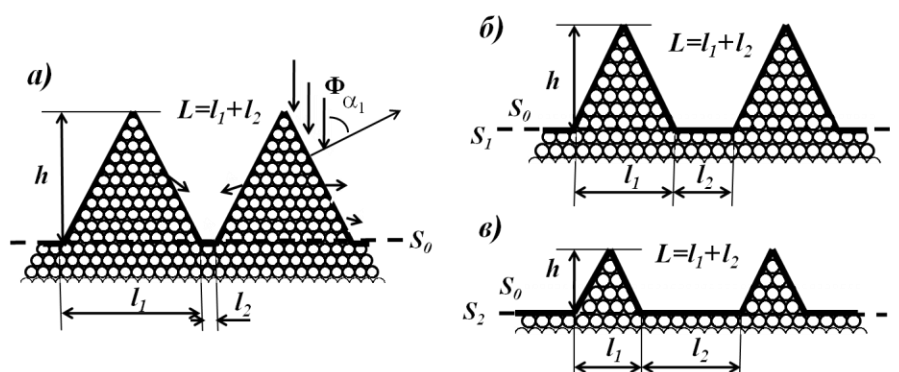


Рис. 1. Схематическое представление изменения профиля распыляемой поверхности с ростом дозы облучения  $\Phi$ .

При облучении поверхности до дозы  $\Phi$ , высота рельефа поверхности (амплитуда шероховатости) уменьшается на величину  $\Delta h$ , равную

$$\Delta h = \frac{\hat{O}}{\rho_{\hat{a}\hat{o}}} (S(\alpha_1) - S(0)),$$

где  $\rho_{at}$  – атомная плотность облучаемого материала. При этом длина нормальных к направлению ионов фрагмента  $l_2$  увеличится (соответственно,  $l_1$  уменьшится) за счет переориентации части фрагментов на

$$\Delta l_2 = \frac{2S(\alpha_1)\hat{O} \cos\alpha_1}{\rho_{\hat{a}\hat{o}} \sin\alpha_1}.$$

Расчеты проведены для изменения профиля поверхности вольфрама, облучаемого ионами  $He$  с энергией 100 кэВ, при различных углах наклона фрагментов  $\alpha$  и значениях амплитуды шероховатости  $h$ . Коэффициенты распыления  $S_i$  были получены путем моделирования с использованием программы *SRIM-2012*.

Показано, что увеличение дозы облучения  $\Phi$  приводит к сглаживанию поверхности, а его интенсивность определяется углами наклона фрагментов. При дозах порядка  $\sim 10^{22}$  ион/м<sup>2</sup> поверхность становится гладкой. Однако следует отметить, что такая ситуация справедлива лишь при нормальном падении ионного потока. С изменением угла падения  $\alpha$  или при более сложной конфигурации исходной поверхности распыление может приводить к увеличению шероховатости, также как и наличие на ней примесных выделений с другим коэффициентом распыления.

**РОЛЬ ПРИМЕСЕЙ И СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В ОБРАЗОВАНИИ РАДИАЦИОННЫХ ЦО В КРИСТАЛЛАХ ГРАНАТА**

*Курбанов А.М., Нуриддинов И.*

ИЯФ АН РУз, г. Ташкент, Узбекистан.

Широкое применение монокристаллов со структурой граната в лазерной технике в качестве как активных, так и пассивных элементов требует детального изучения их физических свойств, а также особенностей влияния на эти свойства различных факторов, в том числе и ионизирующих излучений.

В последние годы получение эффективной генерации в кристаллах на основе кальций-ниобий-галлиевого граната (КНГГ) является весьма важным исследованием. Влияния ИИ на формирование радиационных ЦО и установление роли примесных и структурных дефектов в этих процессах является очень актуальным.

После  $\gamma$ -облучении кристаллов неактивированного КНГГ при 300 К дозой  $10^6$  р наблюдается появление широкой бесструктурной полосы наведенного поглощения в области 330-800 нм с максимумом 400 нм и уменьшение интенсивности при  $\lambda < 320$  нм, вплоть до просветления. Для определения знака полосы была проведена высокотемпературная обработка в окислительных и восстановительных условиях. После обработки на воздухе при 1000 оС оптическая плотность в области  $\lambda < 340$  нм уменьшается, а в УФ области  $\lambda > 340$  нм увеличивается. Последующее  $\gamma$ -облучение увеличивает наведенного поглощение и просветление в УФ области. Гораздо заметнее изменение в СП наблюдаются при термообработке в вакууме. Во-первых, кристалл слегка мутнеет за счет появления рассеивающихся центров, что приводит к общему повышению фона поглощения, во-вторых увеличивается интенсивность поглощения при 400 нм, относительное интенсивности поглощение при  $\lambda > 340$  нм уменьшается по сравнению с исходным образцом, вплоть до просветления

ЦО образующиеся в кристаллах после вакуумной обработки, идентичны с  $\gamma$ -облученными образцами. После повторной термообработки на воздухе в кристаллах, предварительно отожженных в вакууме, СП приобретают практически исходный вид. С последующим  $\gamma$ -облучением у кристаллов КНГГ термообработанных в восстановительной среде наблюдается уменьшения наведенного поглощения с максимумом при 400нм. Сравнение полученных данных со спектроскопическими исследованиями монокристаллов кальций-ниобий-галлиевого граната (КНГГ), активированного ионами Mn [1] позволило идентифицировать ряд наблюдаемых ПП, и люминесценции, как относящиеся к ионам  $Mn^{4+}$  и  $Mn^{2+}$ . Можно предполагать, что наблюдаемое наведенное поглощение связано с перезарядкой ионов марганца. В исходном кристалле примеси марганца присутствует в виде ионов  $Mn^{4+}$  и  $Mn^{2+}$  [1]. После  $\gamma$ -облучении и термообработки в вакууме ионы марганца переходят в более низкое зарядовое состояние. Это предположение подтверждается экспериментальными данными по  $\gamma$ -люминесценции. В спектрах  $\gamma$ -люминесценции кристаллов КНГГ наблюдается широкополосная люминесценция с максимумами 600, 680 и 740нм, соответствующие ионам  $Mn^{4+}$ ,  $Mn^{2+}$  и  $Cr^{3+}$ . После термообработки в вакууме при 900К, интенсивность люминесценции 680нм падает, а при 1100К полностью исчезает. Очевидно, восстановительная высокотемпературная обработка, вызывает переход ионов марганца из состояния  $Mn^{4+}$  в более низковалентное состояние, т.е.  $Mn^{2+}$ .

Таким образом, можно заключить, что за радиационно-наведенную окрасу в кристаллах КНГГ ответственны структурные и примесные ( $Mn^{4+}$  и  $Mn^{2+}$ ) дефекты *не контролируемо вошедшие во время синтеза кристаллов.*

1. Асафев Н.В., Есков Н.А., Кочурихин В.В. и др. Спектроскопические исследования монокристаллов кальций-ниобий-галлиевого граната активированных ионами Mn. // Оптика и спектроскопия. -1990. – Т.69, -В.2, -С. 380-383.

THE METAL–INSULATOR TRANSITIONS AND NANOSCALE PHASE SEPARATION AND THEIR  
MANIFESTATIONS IN ELECTRONIC PROPERTIES OF DOPED HIGH- $T_c$  CUPRATE  
SUPERCONDUCTORS

*Dzhumanov S., Kurbanov U.T.*

Institute of Nuclear Physics, Uzbekistan Academy of Sciences, 100214, Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan.  
e-mail: [dzhumanov@inp.uz](mailto:dzhumanov@inp.uz), [ukurbanov@inp.uz](mailto:ukurbanov@inp.uz)

Understanding the mechanisms of carrier localization, metal–insulator transitions (MITs) and nanoscale phase separation in doped high- $T_c$  cuprate superconductors remains one of the unsolved problems in condensed matter physics. The doped cuprates are inhomogeneous systems (where the dopants and charge carriers are distributed inhomogeneously) and the underdoped cuprates are more inhomogeneous than overdoped ones [1,2]. In such inhomogeneous materials, the phenomena of carrier localization, MITs and phase separation are very complicated by many factors, such as dopant-driven and carrier-driven inhomogeneities, carrier-dopant (defect)-lattice and carrier-lattice interactions, specific types of charge ordering. Because the strong electron correlation (i.e. on-site Coulomb repulsion) causes the carrier localization and Mott-type MIT in undoped cuprates, which are charge-transfer (CT)-type Mott–Hubbard (MH) insulators [3,4], but it is not obvious which processes will dominate in doped cuprates. Actually, the insulating and metallic states of doped cuprates are essentially different from those of ordinary metals and undoped cuprates. Because the electronic structure of the cuprates are changed dramatically with doping and the low-energy electronic structure of the doped cuprates is quite different from the high-energy electronic structure of the CT-type MH insulators. In doped cuprates, the electronic inhomogeneity and charge ordering play an important role in nanoscale phase separation in real space [1], which is intimately related to carrier localization and MITs in these materials. So far, the analyses of the carrier localization and MITs and their relation to nanoscale phase separation in inhomogeneous doped cuprates are still inconclusive and the mechanisms of these electronic processes are not well understood yet. In this work, we study the relevant mechanisms of MITs and nanoscale phase separation in inhomogeneous hole-doped cuprates. We present the new criteria for MITs, which are used to study the relevant MITs and nanoscale phase separation in inhomogeneous hole-doped cuprates. The theoretical predictions are compared with experimental results for MITs and stripe formation in various doped cuprates.

The study of the temperature dependence of the magnetic susceptibility of high- $T_c$  cuprates  $\chi(T)$  at different doping levels may provide useful information on the mechanisms of metal-insulator transitions and the formation of a pseudogap in these materials. Here we have developed a theoretical approach to the determination of the temperature dependence of the magnetic susceptibility of doped high- $T_c$  cuprates, which goes beyond the theory of ordinary metals. In the lightly doped cuprates, the defect centers and polarons which are products of the thermal dissociation of bipolarons, contribute to  $\chi(T)$ . We have shown that  $\chi(T)$  in the lightly doped cuprates first decreases with increasing temperature, reaches a minimum at a certain temperature and then increases in accordance with the experimental temperature dependences  $\chi(T)$  in lightly doped samples LSCO  $x = 0.04 - 0.05$  [6]. We have established the nature of the unusual behavior of the magnetic susceptibility  $\chi(T)$  in the metallic state of underdoped high- $T_c$  cuprates YBCO (i.e., above  $T_c$ ) and determined the laws of its change under which  $\chi(T)$  at high temperatures (i.e., at  $T \gg T^*$ ) is weakly dependent on the temperature  $T$ . Below the temperature  $T^* (> T_c)$  decrease in  $\chi(T)$  with decreasing  $T$  becomes faster due to Cooper pairing polaron carriers and the emergence of the BCS-like pseudogap  $\Delta^*(T)$  in the excitation spectra of high- $T_c$  cuprates.

This work is supported by the Grant “OT- $\Phi$ 2-17” of the Uzbek Academy of Sciences.

1. T. Kato, T. Noguchi, R. Saito, T. Machida, H. Sakata, *Physica C* 460–462, 880 (2007).
2. S. Dzhumanov, O.K. Ganiev, Sh.S. Djumanov, *Physica B* 427, 22 (2013).
3. P.A. Lee, N. Nagaosa, X.-G. Wen, *Rev. Mod. Phys.* 78, 17 (2006).
4. S. Dzhumanov, *Theory of Conventional and Unconventional Superconductivity in the High- $T_c$  Cuprates and Other Systems*, Nova Science Publishers, New York, 2013.
5. M. Imada, A. Fujimori, and Y. Tokura, *Rev. Mod. Phys.* 70, 1039 (1998).
6. T. Nakano, M. Oda, C. Manabe, N. Momono, Y. Miura, M. Ido, *Phys. Rev. B* 49, 16000 (1994).



РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОКРЫТИИ TiMoN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ  
НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ ГЕЛИЯ И КРИПТОНА

Ларионов А.С., Диков А.С., Кислицин С.Б., Углов В.В.

Институт ядерной физики, Министерства энергетики РК, Алматы, Республика Казахстан

Исследование, изложенное в предлагаемой вниманию работе, учитывая развитие современной термоядерной энергетики, предпринято в связи с существующим в науке интересом к созданию материалов, способных к удовлетворительной радиационной защите деталей конструкции термоядерных реакторов. Повышение стабильности свойств может быть обеспечено защитными покрытиями на поверхности деталей конструкции реактора [1]. В данном случае рассматривается влияние облучения низкоэнергетическими ионами гелия и криптона, при разном флюенсе, на свойства покрытия TiMoN.

Покрытия TiMoN синтезированы на стальной (12X18H10T) подложке методом конденсации с ионной бомбардировкой. Толщина покрытий составляет ~ 2500 нм, элементный состав покрытия, определенный методом Резерфордского обратного рассеяния на протонах, следующий: Ti – 50 %, Mo – 30 %, N – 20 %. Кристаллическая структура покрытий, определенная методом рентгеновской диффрактометрии на диффрактометре D8 ADVANCE, представляет собой соединение TiMoN с ГЦК решеткой типа NaCl. Параметр решетки этого соединения составляет  $0.4298 \pm 0.0006$  нм. Содержание Mo неоднородно по толщине покрытия и увеличивается по мере увеличения расстояния от поверхности.

Облучение образцов с покрытиями TiMoN на конструкционной стали 12X18H10T и самой стали, выполнялось на низкоэнергетическом канале ускорителя ДЦ-60, Астанинского филиала ИЯФ, ионами  ${}^4\text{He}^{2+}$  и  ${}^{84}\text{Kr}^{14+}$  с энергией 20 кэВ/заряд до флюенсов  $f = 1 \times 10^{18} \text{ м}^{-2}$  и  $f = 5 \times 10^{18} \text{ м}^{-2}$ , при температуре не превышающей 150°C.

Нанотвердость до и после облучения измерялась на сканирующем нанотвердомере «Наноскан-компакт» методом склерометрии, коррозионная стойкость – с помощью фундаментальной коррозионной ячейки «Gamri Instruments» [2].

Впервые по результатам исследования влияния параметров ионного облучения на физико-механические свойства покрытия TiMoN установлены следующие радиационные эффекты:

- образование различных по твердости приповерхностных слоев, связанное с различным типом радиационных дефектов;
- различное содержание Mo по глубине покрытие приводит к появлению границы, способной длительное время сдерживать продвижение дефектов вглубь материала;
- облучение ионами  ${}^{84}\text{Kr}^{14+}$  вызывает физическое распыление поверхности, приводящее к ионному травлению материала;
- сравнительные исследования коррозионной стойкости покрытия TiMoN до и после ионного облучения показали снижение коррозионной стойкости покрытия, выявлен питтинговый механизм коррозии. Коррозионная стойкость необлученных покрытий TiMoN на 3 порядка превосходит коррозионную стойкость стали 12X18H10T, после облучения порядок не меняется;
- механические свойства и коррозионная стойкость покрытий, облученных низкоэнергетическими тяжелыми ионами, превосходит эти же характеристики стали 12X18H10T даже после облучения. Следовательно, покрытия TiMoN могут рассматриваться для защиты конструкционных материалов от облучения.

1. Ивановский А.Л. Тройные карбиды и нитриды на основе переходных металлов и элементов ППВ- и IVB-подгрупп: электронное строение и химическая связь. // Успехи химии – 1996. - Т.65. - №6. - С. 499-518.
2. Kislitsin S., Uglov V., Larionov A.S.: Radiation effects in stainless steel and TiMoN coatings at low-energy helium, krypton and xenon ion impacts// AIP Conference Proceedings 1783,020091 (2016) ISBN 978-0-7354- 1445-7

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта 2798/ГФЗ МОН РК

## СТРУКТУРА И СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

*Лисицын В.Н., Жаканбаев Е.А.*

Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан

Одним из направлений улучшения экономических показателей тонкоплёночных солнечных элементов (СЭ) является понижение стоимости материалов преобразователей и технологий их производства. Среди подобных материалов перспективными являются халькогениды, в частности гетероструктуры CdS/CdTe. СЭ на основе теллурида кадмия при использовании прозрачной гибкой несущей основы получают дополнительные технические преимущества. Формирование многослойных СЭ по схеме ПТО/CdS/CdTe/Ag проведено последовательно с использованием методов магнетронного напыления, электрохимического осаждения, а также лазерного испарения.

Осаждение прозрачного фронтального электрода ПТО на основе оксидов индия и олова проведено реактивным магнетронным методом с использованием составной мишени из сплава индий-олово, содержащей 45 ат.% In. Термообработка образцов, проведённая в атмосферной среде, позволила увеличить оптическую прозрачность ПТО в видимом диапазоне спектра до 90 % и уменьшить удельное сопротивление до 2-3 мОм·см.

Покрытия из сульфида кадмия после осаждения подвергали термообработке на воздухе для упорядочения структуры слоя CdS и увеличения его прозрачности. Плёнки n-CdS, полученные при лазерном испарении сульфида кадмия, имеют удельное сопротивление на порядок выше, чем при электрохимическом осаждении, а также более чёткий край оптического поглощения в области запрещённой зоны. Полученные на атомно-силовом микроскопе АСМ-изображения образцов с покрытием n-CdS, показали увеличение эффективной площади поверхности кластеров и, соответственно, увеличение рассеяния падающего света при электрохимическом методе синтеза по сравнению с лазерным методом.

Слой теллурида кадмия CdTe осаждён магнетронным способом из сборной мишени Cd:CdTe, в которой 40 % поверхности активной зоны занимает CdTe. Синтез плёнки p-CdTe проведён при пониженной мощности магнетрона для уменьшения концентрации металлических компонентов на границе гетероструктуры n-CdS/p-CdTe, что улучшает электрофизические параметры гетероперехода. Использован также метод лазерного испарения исходного материала для осаждения плёнок p-CdTe.

Для перекристаллизации базового слоя образцы выдерживали в насыщенном растворе хлорида кадмия в этаноле, после этого проводили их термическую обработку на воздухе. Исследование кластерной структуры базового слоя на атомно-силовом микроскопе показало увеличение размеров кластеров после перекристаллизации от 5-10 нм до 15-30 нм, при этом обнаружено отсутствие влияния фазового состава базового слоя и рельефа подложки на структуру слоя теллурида кадмия. Установлено, что хлоридная термообработка снижает концентрацию дефектов, и при этом происходит перекристаллизация слабо связанных междуузельных конгломератов в структуре p-CdTe.

Измерение вольтамперных характеристик (ВАХ) и фоточувствительности образцов CdS, CdTe а также базового слоя CdS/CdTe после перекристаллизации показало формирование у базового слоя полупроводниковых свойств, при этом интервалы фоточувствительности базового слоя увеличились до 0,85 мкм, а для слоя CdTe до 1,1 мкм. Лазерное испарение по сравнению с магнетронным распылением позволяет получить образцы CdTe с более высокой фоточувствительностью и с более высоким удельным сопротивлением, близким к значениям для полупроводников. Рассмотрены способы изменения структуры для улучшения электрофизических и фотозлектрических свойств, повышающих эффективность СЭ.

Работа выполнена при поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, грант 1457/ГФ4.

## ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ЭД-20/НАНО- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$

Байрамов М.Н., Магеррамов А.М., Алиев Н.Ш.

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана  
AZ 1143, Баку, Азербайджан, Б.Вахабзаде, 9  
m.bayramov51@mail.ru

В настоящей работе исследовано поведение температурной зависимости диэлектрической проницаемости  $\epsilon$ , тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  и удельной объемной электрической сопротивляемости  $\rho_v$  на постоянном токе композита на основе эпоксидной диановой смола ЭД-20 и нано- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  в области температур  $T=293-473$  К до и после  $\gamma$ -облучения дозой до 300кГр.

В настоящее время, одним из перспективных направлений при создании эпоксидных нанокомпозитов является модификация полимерной матрицы различными наноразмерными глинами и оксидами металлов. Нами использован нано- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  в качестве электроактивного наполнителя.

Образцы изготовлены из матрицы -смола типа ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) отверждаемой изотетрафталевым ангидридом МТГФА (ТУ 38.103149-85) и ускорителем УП-606/2 (ТУ У 6-00209817.035-96) с пластификатором Лапрол 503 (ТУ 2226-009-10488057-94). С введением в эту смесь при температуре 323К наполнителя-нано- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  размером 40 нм (производство компании «Skyspring Nanomaterials, Inc.» США). Соотношение компонентов в матрице взято в стехиометрическом количестве, а в композиции в матрицу введено 1 и 5 об.% нано- $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  в виде 10% эмульсии в этиловом спирте. Образцы диаметром 43 мм и толщиной 150-200 мкм, изготавливались в заливочной форме путем отверждения ступенчатом режиме при температуре 353-453К [1,2].

Диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  и тангенса угла диэлектрических потерь  $\text{tg}\delta$  образцов измерялось измерителем иммитанса Е7-20, а удельное объемное электрическое сопротивление  $\rho_v$  измеряли с помощью термометра Е6-13А при постоянном токе 100V, по двухэлектродной схеме в диапазоне температур 293-473К с применением специальной экранированной и заземленной обогреваемой измерительной

ячейки типа «сэндвич», имеющий систему измерительного и потенциального электродов диаметрами 10 и 20мм соответственно. Скорость изменения температуры 2К/мин. Образцы композитов подвергались  $\gamma$ -облучению при комнатной температуре на установке RXM- $\gamma$ -25 с источником излучения  $^{60}\text{Co}$ . Мощность поглощенной дозы  $16,5 \cdot 10^{-2}$  Гр/сек.

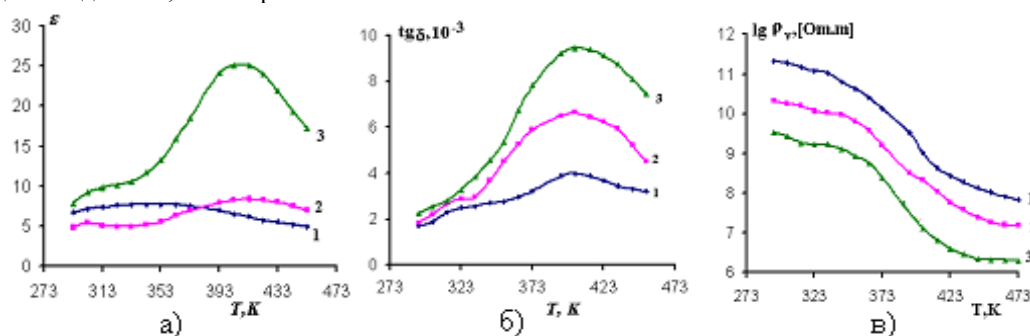


Рис.1. Зависимость  $\epsilon = f(T)$  (а),  $\text{tg}\delta = f(T)$  (б) и  $\lg \rho_v = f(T)$  (в)  $\gamma$ -облученных образцов композиций ЭД-20/ 5об.% нано- $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ : 1-до облучения; 2-100кГр, 3-300кГр .

Как видно из зависимостей  $\epsilon = f(T)$ ,  $\text{tg}\delta = f(T)$  и  $\lg \rho_v = f(T)$  (рис.1 а; б и в), в образцах композита ЭД-20/ 5об.% нано- $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  значения  $\epsilon$  и  $\text{tg}\delta$  начиная с температуры 333К с повышением дозы  $\gamma$ -облучения увеличиваются, а после 403К происходит их снижение. Это объясняется тем, что максимумы при 403-410К образуются под действием  $\gamma$ -облучения и наполнителя нано- $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$  за счет структурных изменений и подвижности кислородсодержащих молекулярных групп.

1. А.А. Набиев, А.М.Магеррамов, М.А.Нуриев, С.А.Гусейнов, Ш.Д. Рамазанов. Особенности диэлектрических свойств  $\gamma$ -облученных нано- и микро композитов полиэтилен- $\text{SiO}_2$ . Научн.Конф. «Актуальные проблемы химии высоких энергий».М., Изд. «Граница», 20-22 октября,2015г., с.259- 262.
2. Рустамова Д.Ф., Магеррамов А.М.,Багирбеков Х.И., Нуриев М.А. Диэлектрические свойства и особенности радиотермолюминисценции высоконаполненных композиций полипропилен/ $\alpha$ -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . //Электронная обработка материалов,2013,т.49, №2,с.87-90.

**ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИСТИРОЛ /Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>**

Магеррамов А.М. \*, Рустамова Д.Ф. \*, Алиев Н.Ш. \*, Байрамов М.Н. \*, Сабзалиева З.Е. \*, Аббасов И.И. \*\*

\*Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана  
Az 1143, Баку, ул.Б.Вахабзаде, 9

\*\* Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности  
Az 1010, Баку, пр. Азадлыг 20, [arifm50@yandex.ru](mailto:arifm50@yandex.ru)

Постоянное магнитное поле (ПМП) эффективно влияет на структуру и микротвердость электреты и диэлектрические свойства полиэтилена [1]. Действие магнитных полей на полимеры может привести к изменению скорости и кинетику их кристаллизации, и тем самым получению новых композиционных материалов. Ориентация диполей полярных групп в макроцепях полимеров под влиянием магнитного поля ослабляет различия в способности к кристаллизации и в результате полимерные материалы приобретают новые свойства. Влияние постоянного магнитного поля на свойства диамагнитных материалов объясняется ориентацией молекул, обусловленной анизотропией диамагнитной восприимчивости. Следует отметить что, ПМП в структурах полимеров повышает степень упорядоченности молекул, уменьшает размеры кристаллитов и вызывает анизотропию надмолекулярных образований [2,3].

В данной работе исследовано влияние ПМП на структуру и диэлектрические свойства полистирола и композиции ПС/10%Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>.

Изменения, происходящие в структуре тонких образцов полистирола (ПС) под действием постоянного магнитного поля изучались методом ИК-спектроскопии с помощью спектрофотометра Varian 640-IR FT при комнатной температуре в области 400-4000 см<sup>-1</sup>.

В табл. приведены, происходящие изменения в оптической плотности ИК-спектрах поглощения образцов ПС закристаллизованных из раствора в бензоле под действием постоянного магнитного поля. Надо отметить, что в полосе поглощения (1280-3600см<sup>-1</sup>) ИК-спектра указанной в таблице образуются полосы характеризующие группы -СН, -СН<sub>2</sub>, С=О, С-О, и это обуславливает изменения в структуре ПС происходящее под действием постоянного магнитного поля. Здесь группы -СН, -СН<sub>2</sub> характеризуют деформационные колебания.

По результатам проведенных нами экспериментов также было выявлено, что ПМП влияет на диэлектрические свойства композита ПС/10%Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>, то есть на диэлектрическую проницаемость ε' и тангенс угла диэлектрических потерь tgδ. Так как, под действием ПМП диэлектрические свойства композита ПС/10%Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> изменяются в зависимости от температуры и частоты.

Для образцов ПС/10%Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> получены петли гистерезиса, показывающая зависимость удельной намагниченности М от интенсивности магнитного поля Н. Установлено, что после прекращения воздействия магнитного поля в композитных образцах образуется остаточная намагниченность, которая может быть связано существованием внутри образца определенной остаточной поляризации.

Таблица - Изменение значений оптической плотности ИК- спектрах поглощения образцов ПС закристаллизованных из растворов в бензоле и толуоле под действием постоянного магнитного поля

ν, см <sup>-1</sup>	1500	1600	1280	1350	1554	1750	3450-3600
Исх.ПС	0,745	0,468	0,129	0,158	0,069	0,087	0,019
В бензоле	1,878	0,997	0,179	0,287	0,098	0,121	0,028
Н=2,6 кЭ	1,234	1,466	0,234	0,448	0,158	0,160	0,038
Н=3,6 кЭ	0,685	1,510	0,396	0,716	0,223	0,275	0,030

1. Н.Н.Песчанская, П.Н.Якушев. Деформации твердых полимеров в постоянном магнитном поле. ФТТ, 2003, том 45, вып.6.
2. Магеррамов А.М., Рустамова Д. Ф. Влияние магнитного поля на структуру и электрическую прочность полистирола. Azerb. Journal of Physic., 2012, vol. XVIII, №2, зз.32-35.
3. Магеррамов А.М., Рустамова Д. Ф. Диэлектрические и электреты свойства нанокмпозитов полиэтилен-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> закристаллизованных в постоянном магнитном поле. // Перспективные материалы, 2016, №3.с.27-34.

**«АНОМАЛЬНЫЕ» ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ И НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛИ 12Х18Н10Т В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ПОСТРАДАЦИОННЫХ ОТЖИГОВ**

*Максимкин О.П.*

РГП Институт ядерной физики, г. Алматы

К настоящему времени общепринятым является представление о том, что облучение металлов и сплавов нейтронами приводит к эффектам радиационного упрочнения и охрупчивания. Это положение находит подтверждение во множестве экспериментов, анализ результатов которых является основой для принятия инженерных решений. Как правило, эти обобщения носят статистический характер, при котором вопросы механизмов изменения свойств облученных материалов рассматриваются поверхностно, а единичными случаями отклонений от полученных закономерностей пренебрегают. В то же время с научной точки зрения могут быть интересны именно случаи, не вписывающиеся в обычную закономерность, поскольку в их основе могут лежать пока не изученные, но потенциально важные явления.

В данной работе рассматриваются три «аномальных» (на сегодняшний день!) эффекта, обнаруженных в последнее время при исследовании изменений структуры и свойств металлических материалов, облученных в ядерных реакторах ВВР-К и БН-350. Прежде всего, это так называемый «эффект малых доз», когда оказалось, что в результате контролируемого облучения в исследовательском реакторе при 80°C и флюенсах нейтронов не выше  $10^{17}$  н/см<sup>2</sup>, наблюдается эффект разупрочнения предварительно аустенизированной (1050°C 30 мин) хромоникелевой стали 12Х18Н10Т, который при дальнейшем облучении вплоть до  $2 \cdot 10^{20}$  н/см<sup>2</sup> сопровождается «обычным» упрочнением стальных образцов. Во вторых это новый для высокооблученных (>20 сна) реакторных сталей эффект достижения аномально высоких значений пластичности – до 30% и более вместо обычно наблюдаемых при данных повреждающих дозах 3-5%. На сегодняшний день этот эффект наблюдали в целом ряде научных работ на конструкционных аустенитных сталях, облученных до 115 сна. Предложена гипотеза, что в основе данного явления лежит образование и развитие «волны фазового перехода» связанной с протеканием при деформации метастабильных сталей мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha$  превращения. Сформулированы необходимые и достаточные условия проявления «волны» и показана возможность ее воспроизведения в специально обработанных сталях.

И наконец, это эффект дополнительного упрочнения и роста намагниченности аустенитной стали, высокооблученной и холоднодеформированной, а затем отожженной в районе температуры 400°C. Разработана физическая модель этого, впервые наблюдаемого для облученной стали 12Х18Н10Т явления, которая увязана с релаксацией внутренних напряжений сжатия и инициированием процесса обратного  $\alpha \rightarrow \gamma$  превращения.

Полученные данные могут служить исходным материалом, в частности, для анализа безопасности обращения с отработавшими тепловыделяющими сборками на этапах транспортировки и хранения.

**ПРЕЦИЗИОННАЯ СТРУКТУРНАЯ ИНТРОСКОПИЯ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ**

*Ласица М.В.<sup>1),2)</sup>, Семенухин С.Ю.<sup>1),2)</sup>, Воронин В.В.<sup>1),2)</sup>, Федоров В.В.<sup>1),2)</sup>, Кузнецов И.А.<sup>1)</sup>*

<sup>1</sup> НИЦ КИ ФГБУ "Петербургский институт ядерной физики им. Б.П. Константинова", Гатчина, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

Для эксперимента по исследованию фундаментальных свойств нейтрона нами был предложен новый метод контроля за параметром межплоскостного расстояния кристаллов [1,2], отличающийся чрезвычайно высокой точностью относительного измерения (вплоть до  $\Delta d/d \sim 10^{-7}$ ). Данный метод позволяет исследовать кристаллы произвольной формы и огранки, размерами до нескольких десятков сантиметров, по всему их объему и без специальной предварительной подготовки. Сравнительно невысокая стоимость экспериментального оборудования, необходимого для проведения таких исследований, и относительная простота измерений позволяет использовать данный метод для широкого круга задач. Проведенный анализ показал, что данный метод возможно использовать для исследования внутренних напряжений, однородности примесей и состава совершенных кристаллических материалов (например, кремния), приводящих к деформации кристаллической решетки с точностью недостижимой другими методами. Это является важной и актуальной задачей при выращивании кристаллов с заданными свойствами, например, для полупроводниковой и оптической промышленности, а также при создании оптических и кристалл-дифракционных приборов высокого разрешения применяемых в физических исследованиях.

ТЕРМО- И ФОТО ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ НЕЙТРОННО-КОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ

Ташметов М.Ю., Махкамов Ш., Махмудов Ш.А., Сулаймонов А.А., Рафиков А.К.

Институт ядерной физики АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан, [rafikov@inp.uz](mailto:rafikov@inp.uz)

Создание высокочувствительных полупроводниковых преобразователей световой и тепловой энергии в электрическую, на базе широко применяемых монокристаллов и их соединений, является актуальной задачей физики и техники твердотельной электроники.

В последние годы для получения фото-, термо- и других датчиков предлагается использовать кремний, компенсированный различными примесями, создающими глубокие энергетические уровни (ГЭУ) в запрещенной зоне кристалла. Однако, получение однородного компенсированного материала с идентичными фотоэлектрическими и электрофизическими характеристиками для изготовления датчиков является технологически сложным процессом. Во-первых, весьма трудно обеспечить требуемую точность компенсации n- и p-типа кремния путем введения акцепторной (или донорной) примеси, соответственно, из-за не высокого коэффициента диффузии и малой концентрации электрически активных составляющих компенсирующих примесей в кремнии. Во-вторых, из-за не высокой термостабильности компенсированного кремния с ГЭУ в технологическом процессе изготовления датчиков происходит отжиг электрически активных составляющих глубоких центров и степень компенсации существенно изменяется.

В настоящей работе предлагается управляемая технология получения компенсированного кремния методом радиационной модификации путем введения компенсирующих дефектных центров облучением быстрыми нейтронами. Применение радиационных методов в технологических целях позволяет управлять составом образующихся дефектов, с одной стороны, и разработать оптимальные режимы получения компенсированного материала радиационной обработкой. Для получения компенсированного материала был использован монокристаллический кремний n-типа проводимости с удельным сопротивлением  $70 \div 150 \text{ Ом} \cdot \text{см}$ , в котором уровень Ферми при комнатной температуре расположен в области  $E_c - (0,32 \div 0,36) \text{ эВ}$  от дна зоны проводимости, что позволило получить однородно компенсированный кремний при малых флюенсах облучения.

Размеры образцов для изготовления датчиков составляли  $5 \times 5 \times 0,5 \text{ мм}^3$ , а n<sup>+</sup>-p-n<sup>+</sup> структуры были получены методом диффузии фосфора при  $\sim 1100^\circ\text{C}$  в течение  $\sim 120$  мин.

Фотоэлектрические параметры компенсированных образцов контролировались на основе изменения отношения  $-R_T/R_c$ , где  $R_T$  – темновое сопротивление, Ом;  $R_c$  – сопротивление при освещении, Ом, которое измерялось при освещенности  $E=200$  лк.

Подготовленные образцы с сформированными p-n структурами помещались в кварцевую ампулу и подвергались нейтронному облучению в канале атомного реактора (при интенсивности быстрых нейтронов  $\phi \approx 6 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ) до полной компенсации основных носителей заряда радиационными дефектами. Темновое сопротивление контролировалось измерением температурной зависимости в интервале  $30 \div 100^\circ\text{C}$ .

Полученные результаты показали, что фоторезисторы и термодатчики, полученные на основе кремния, компенсированного радиационными дефектами, имеют высокую чувствительность и термическую стабильность до температур  $\sim 100^\circ\text{C}$ .

В настоящее время обсуждаются технологические возможности повышения выхода датчиков с однородными параметрами и характеристиками при применении радиационной компенсации по сравнению с кремниевыми датчиками, полученными из легированного примесями материала.

КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН И МЕТАЛЛОВ ПОДГРУППЫ МЕДИ

*Машенцева А.А., Корольков И.В., Есжанов А.Б., Горин Е.Г., Здоровец М.В.*

Астанинский филиал Института ядерной физики, Астана, Казахстан,

Нанокатализ – одно из наиболее интенсивно развивающихся и перспективных направлений практического применения полимерных трековых мембран (ТМ). Композитные катализаторы на основе ТМ и осажденных различными методами металлических наночастиц (НЧ) или нанотрубок (НТ) обладают развитой удельной поверхностью (плотность пор исходных ТМ может варьироваться от  $1 \cdot 10^4$  до  $1 \cdot 10^{10}$  ион/см<sup>2</sup>), высокой прочностью и могут быть легко удалены из реакционной смеси после окончания реакции.

Пероксид водорода широко используется во многих промышленных процессах, в т.ч. в пищевой и текстильной промышленности, при производстве лекарственных препаратов и косметических средств. Благодаря своей высокой окислительной способности  $H_2O_2$  также используется в очистке сточных вод от органических реагентов. С одной стороны, пероксид водорода является одной из наиболее агрессивных форм кислорода (англ. Reactive Oxygen Species) и его избыточное количество в организме человека может способствовать развитию многих заболеваний, с другой – может служить дополнительным источником кислорода, выделяющегося при его разложении, и использоваться, например, в аквариумах и т.д. Несмотря на то, что исследование каталитического разложения  $H_2O_2$  в присутствии НЧ металлов детально рассматривается в ряде работ, проблема выбора эффективной подложки для наноразмерных металлических катализаторов остается весьма актуальной, так как большинство используемых носителей являются одноразовыми.

Нами проведено систематическое исследование каталитических свойств полученных композитов на примере реакции разложения пероксида водорода. Изучено изменение каталитических свойств композитов в зависимости от плотности пор исходного ПЭТФ темплата и продолжительности химического темплатного синтеза нанотрубок серебра. Структура Ag/ПЭТФ ТМ была исследована методом РЭМ, фазовый состав и размерность кристаллитов - методом рентгеновской дифракции. При исследовании кинетических параметров реакции в температурном диапазоне 25–45 °С были рассчитаны значения энергии активации как композитных образцов, так и пленки ПЭТФ с осажденными на поверхности НЧ серебра, минимальное значение энергии активации было найдено для композитов Ag/ПЭТФ ТМ с плотностью пор  $1 \cdot 10^9$  ион/см<sup>2</sup>.

Определены оптимальные условия, позволяющие синтезировать композитные катализаторы Ag/ПЭТФ ТМ, сохраняющие целостность и механическую прочность при проведении испытаний, а также обеспечивающие максимально быстрое протекание исследуемой реакции. Проведено исследование стабильности свойств катализаторов, показано, что при 25°С активность уменьшается на 35% после третьего цикла испытаний.

Реакция Манниха является весьма востребованной и широкой используемой в синтезе сложных органических молекул, таких как аминокислоты, пептиды, лактамы и др. Впервые нами были исследована возможность применения композитных катализаторов на основе ПЭТФ ТМ и металлов подгруппы меди в реакции Манниха на примере взаимодействия ацетофенона, бензальдегида и анилина, а также реакции индола с диэтиламино и формальдегидом.

В нейтральных условиях и при низкой температуре незамещенный индол реагирует со смесью формальдегида и диметиламина по атому азота; эта реакция протекает при низкой равновесной концентрации индолил-аниона. В нейтральном растворе при более высокой температуре или в уксусной кислоте происходит превращение в термодинамически более стабильное 3-замещенное соединение — N,N-диэтил-1H-индол-3-амин.

Для повышения выхода конечного продукта реакции в качестве катализаторов нами были использованы ранее полученные образцы НЧ меди в матрице ПЭТФ ТМ (Cu-ПАК-ПЭТФ ТМ, средний размер НЧ меди 70 нм) и НТ золота (Au/ПЭТФ ТМ) данной реакции конденсации по Манниху. Следует отметить, что без катализатора реакция в данных условиях проходит с выходом 1,73%, тогда как добавление катализаторов Cu-ПАК-ПЭТФ ТМ и Au/ПЭТФ ТМ (1мг), позволяет увеличить выход продукта до 78% и 63% соответственно.

## К ВОПРОСУ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПЭТФ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Корольков И.В.<sup>1,2</sup>, Есжанов А.Б.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Горин Е.Г.<sup>1,2</sup>, Машенцева А.А.<sup>1,2</sup>, Гювен О.<sup>3</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана Казахстан

<sup>3</sup>Университет Хаджеттепе, Анкара, Турция

В связи с возрастающей потребностью потребительского рынка в гидрофобных материалах, не только технического, но и бытового назначения, весьма актуальной является задача получения водоотталкивающих покрытий на активно используемых трековых мембран на основе полиэтилентерефталата (ПЭТФ ТМ). Одним из перспективных направлений использования таких ПЭТФ ТМ с гидрофобными свойствами поверхности является процесс мембранной дистилляции. Несмотря на то, что поверхность ПЭТФ ТМ обладает средне-гидрофобными свойствами, для использования их в процессе МД, необходимо максимально повысить водоотталкивающие свойства поверхности. Среди множества предлагаемых в литературе методик гидрофобизации полимерных поверхностей является создание на их поверхности слоя тонкой полимерной пленки гидрофобной природы. В этом случае одновременно могут решаться две задачи: изменение поверхностной энергии ТМ и снижение среднего диаметра пор до оптимального значения. Однако большинство используемых методов не удовлетворяют потребности МД, так как созданный гидрофобный слой недолговечен и подвержен смыванию при длительном контакте с водой. Наиболее часто используемые для модификации полисилоксановые полимеры и сополимеры обладают выраженной гидрофобной природой, однако проблема их промышленного применения заключается в непрочности связи данных полимеров с поверхностью мембраны. Таким образом, создание устойчивой гидрофобной поверхности ПЭТФ ТМ является задачей актуальной и требующей незамедлительного решения.

Гидрофобизация поверхности ПЭТФ ТМ была изучена методом фотоиницированной прививочной полимеризации (ФПП) гидрофобных мономеров триэтоксивинилсилана (ТЭВС), 3-(триметоксисил)пропилметакрилата (ТМПА). Вследствие того, что указанные кремнийорганические соединения имеют минимальную способность к ФПП, нами были проведены исследования с добавлением в реакционную смесь от 0,3 до 6,6% (об.) мономеров акриловой кислоты (АК) и N-винилимидазола (ВИ), значительно повышающих эффективность процесса прививки. Так как АК и ВИ обладают очень большой тенденцией к полимеризации по сравнению с кремнийорганическими мономерами, таким образом, добавление АК и ВИ в реакционную смесь способствует созданию центров полимеризации на поверхности ПЭТФ ТМ, тем самым вовлекая кремнийсодержащие мономеры в привитое звено. При увеличении времени облучения наблюдается повышение параметра степени прививки, однако ТЭВС обладает намного большей склонностью к прививке, чем ТМПА, что вероятней всего обусловлено более низкой способностью метакрилатов к полимеризации. Для оценки гидрофобных свойств полученных образцов использовали метод определения краевого угла смачиваемости (КУС). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения КУС для ПЭТФ ТМ, модифицированных ТЭВС при различных условиях

Добавка	АК					ВИ			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ образца									
Концентрация добавки, %	-	0,3	0,8	1,6	3,3	0,8	1,6	3,3	6,6
Степень прививки, %	0	3,9	6	16,9	29,3	0,5	1,4	2,5	3,8
КУС, °	62,7	62,7	73,5	71,7	57,6	72,9	78,33	104,9	54,5

Стабильность привитого слоя была исследована путем длительного выдерживания модифицированных мембран в воде при 70-80°C, результаты показали изменение КУС в пределах ошибки. Также была исследована производительности модифицированных ПЭТФ ТМ при давлениях, близких при использовании в МД. Обнаружено, что модифицированные мембраны при оптимальных условиях не пропускают воду, т.е. являются приемлемыми для использования в процессе МД. Таким образом, были найдены оптимальные условия гидрофобизации ПЭТФ ТМ с минимальным воздействием на поровую структуру мембран. Рекомендуется проводить прививку в 20% растворе ТЭВС в дихлорэтаноле в течение 1 ч с добавкой ВИ в количестве 3,3 %.

Данная работа выполнена в рамках программы целевого финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан № 561 от 07.04. 2015 г.



**КИНЕТИКА МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ СТАЛЯХ 12X18H10T И AISI 304 В ПРОЦЕССЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ**

*Мережко Д.А., Мережко М.С., Максимкин О.П.*

Институт ядерной физики РК, г. Алматы, Республика Казахстан.

Прочность и пластичность метастабильных аустенитных сталей во многом зависит от протекающих в них в процессе холодной деформации бездиффузионных фазовых превращений, в частности, от образования в аустенитной матрице пластин  $\alpha'$ -мартенсита, более твердого по сравнению с  $\gamma$ -фазой.

Образцы промышленных нержавеющих сталей 12X18H10T и AISI 304, были облучены нейтронами до флюенса  $5 \cdot 10^{23}$  н/м<sup>2</sup> в активной зоне исследовательского реактора ВВР-К (ИЯФ, Алматы) при температуре не выше 80°C. В процессе одноосного растяжения проводилась цифровая фотосъемка и магнитометрия рабочей поверхности образца с целью определения локальных характеристик прочности и пластичности и содержания мартенситной фазы. Деформирование исследуемых материалов производилось при комнатной температуре со скоростью растяжения 0,5 мм/мин на универсальной испытательной установке "Instron 1195" (Англия).

В результате были определены характеристики прочности и пластичности, которые для стали AISI 304 оказались значительно выше чем для 12X18H10T, по-видимому за счет  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -перехода, который в материале AISI 304 начинается и протекает раньше по шкале деформаций и напряжений, а к концу растяжения в ней образуется значительно больше мартенситной фазы.

Построены кинетические кривые мартенситного  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -превращения в процессе растяжения и выявлены закономерности накопления мартенситной  $\alpha'$ -фазы в зависимости от деформации и напряжений в необлученных и облученных материалах. Проведена аппроксимация кривых "истинное" напряжение - "истинная" локальная деформация и кинетических кривых  $\gamma \rightarrow \alpha'$ -перехода с использованием известных уравнений [1-4]. Анализируется влияние нейтронного облучения на параметры аппроксимирующих уравнений.

*Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК (Грант № 0380/ГФ4).*

1. Ludwigson D. C., Berger J. A. Plastic behaviour of metastable austenitic stainless steels // Iron Steel Inst. – 1969. – Т. 207. – №. 1. – С. 63-69.
2. Olson G. B., Cohen M. Kinetics of strain-induced martensitic nucleation // Metallurgical and Materials Transactions A. – 1975. – Т. 6. – №. 4. – С. 791-795.
3. Shin H. C., Ha T. K., Chang Y. W. Kinetics of deformation induced martensitic transformation in a 304 stainless steel // Scripta Materialia. – 2001. – Т. 45. – №. 7. – С. 823-829.
4. Gussev M.N., Byun T.S., Busby J.T. Description of strain hardening behavior in neutron-irradiated fcc metals // J. Nucl. Mater. – 2012. – V.427. – P.62-68.

**ЯДЕРНЫЙ МИКРОЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО БЕРИЛЛИЯ**

*Бузовера М.Э., Карнов И.А., Городнов А.А., Архипов А.Ю., Валекжанина Е.И., Курейчева В.И.*

РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

В работе приведены результаты структурно-элементного анализа металлического бериллия, полученного современными методами порошковой металлургии. Учитывая доминирующую роль структуры в реализации свойств порошкового бериллия, особый интерес представляет исследование многоуровневой структуры этого материала [1,2].

В материаловедческих исследованиях особо остро стоит вопрос надежной интерпретации данных структурного анализа. В настоящей работе применение высокоразрешающей атомно-силовой микроскопии и ядерного микрозондирования позволило определить природу примесей, их распределение на поверхности и в объеме, особенности структуры самого бериллия в микро- и наномасштабе.

Особенно интересные результаты были получены с помощью специально разработанного автоматизированного подхода к обработке данных элементного анализа образцов, полученных методом RBS (резерфордовского обратного рассеяния).. Применение автоматизированной обработки карт распределения как основного, так и примесных элементов, значительно повысило достоверность полученного экспериментально материала.

1. Тузов Ю.В., Горохов В.А., Пахомов Я.Д., Пронин В.Н.. Бериллий – материал ядерной и термоядерной техники// Вопросы атомной науки и техники, 2009. №2. (93), с. 124-127.
2. Панин В.А. Актуальные проблемы физической мезомеханики деформируемого твердого тела // Физическая мезомеханика, 2006, № 3, т.9, с.5-8.

## МЕМБРАННАЯ ДИСТИЛЛЯЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОФОБНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН

Горин Е.Г. <sup>1,2</sup>, Корольков И.В. <sup>1,2</sup>, Есжанов А.Б. <sup>1</sup>, Козловский А.Л. <sup>1,2</sup>, Машенцева А.А. <sup>1,2</sup>, Загребова А.С. <sup>1</sup>  
Здоровец М.В. <sup>1,2</sup>, Жанботин А. Ж. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана Казахстан

В настоящее время большинство проводимых исследований в области разделения жидких и газообразных смесей направлены на разработку экологически чистых, энергосберегательных и эффективных систем основанных на мембранных процессах разделения. К таким процессам относится и метод мембранной дистилляции (МД).

Мембранная дистилляция вызывает интерес, прежде всего, как метод очистки и опреснения воды, а также концентрирования технологических растворов. По сравнению с баромембранными методами (обратный осмос, ультра- и микрофльтрация) МД имеет преимущества, заключающиеся в возможности концентрирования растворов по обе стороны мембраны, для проведения МД может быть использовано низкоэнергетическое тепло. Кроме того, для МД не требуется избыточное рабочее давление, как в случае микро-, ультрафльтрации и особенно обратного осмоса.

В процессах МД на сегодняшний день применяются различные виды мембран. Одной из наиболее важных и определяющих характеристик является материал мембраны. В качестве материалов для изготовления мембран применяются как неорганические, так и широкий спектр органических материалов. Получить мембраны можно из расплавов полимеров, формированием из раствора, прессованием или спеканием слоев волокон заданной толщины на металлической основе. Еще один из вариантов получения мембран, это облучение полимерной пленки тяжелыми ионами на ускорителе или осколками деления урана в реакторе с последующей ее физико-химической обработкой. В результате, мы получаем так называемые трековые или ядерные мембраны.

Трековые мембраны нашли широкое применение в фильтрации газовых и жидких сред. Способность трековых мембран (ТМ) к строгому размерному разделению делает их весьма перспективными для работы в различных областях. В настоящее время наиболее широко в качестве основы трековой мембраны используют пленки полиэтилентерефталата (ПЭТФ). Свойства таких мембран достаточно хорошо изучены. К числу основных характеристик пленочных материалов на основе ПЭТФ следует отнести высокие прочностные и оптические характеристики, малые набухание и усадка, термостабильность, химическую индифферентность по отношению к сопряженным средам.

Несмотря на то, что поверхность ПЭТФ ТМ обладает средне-гидрофобными свойствами, для использования их в процессе МД, необходимо повысить водоотталкивающие свойства таких мембран. Одним из наиболее часто используемых методов гидрофобизации мембран является создание на их поверхности слоя тонкой полимерной пленки гидрофобной природы. В этом случае одновременно могут решаться две задачи: изменение поверхностной энергии ТМ и снижение среднего диаметра пор до оптимального значения. Однако большинство используемых методов не удовлетворяют потребности МД, так как созданный гидрофобный слой подвержен смыванию при длительном контакте с водой. Чаще всего используют полисилоксановые полимеры и сополимеры, обладающие выраженной гидрофобной природой. Проблема заключается в непрочности связи данных полимеров с поверхностью мембраны. Таким образом, гидрофобизация ПЭТФ ТМ является на сегодняшний день актуальной задачей. Нами были проведены первичные испытания по МД с использованием гидрофобных ПЭТФ ТМ.

Данная работа выполнена в рамках программы целевого финансирования Министерства образования и науки Республики Казахстан № 561 от 07.04. 2015 г.

## ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРОСИЛИКАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Меликова С.З., Исмаилов Ш.С.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143, г.Баку, ул.Б.Вагабаде 9, e-mail: sevinc.m@rambler.ru

Боросиликатные материалы обладающие высокой термической и радиационной стойкостью применяются в качестве конструкционных материалов в ядерных реакторах и оптических материалах в микроэлектронике. Исходя из этой точки зрения изучение электрофизических и диэлектрических свойств исходных и гамма-облученных образцов  $B_2O_3/SiO_2$  представляет большой практический интерес.

В данной работе представлены результаты измерений диэлектрические проницаемости и потери в интервале температур  $T=(300\div 550)K$ , исходных и  $\gamma$ -облученных образцов  $B_2O_3/SiO_2$ . На основе полученных результатов построены зависимости  $\epsilon(T)$ ,  $tg\delta(T)$ , выявлены природа и свойства дефектообразования в системе  $B_2O_3/SiO_2$ .

Как известно, при облучении  $\gamma$ -квантами, создающими повреждения в образцах, кристаллах и сплавах происходят сложные процессы, приводящие к образованию различных дефектных структур в виде электронно-дырочных и решеточных дефектов, пор, и т.д. Именно с этим связано исследования температурной и частотной зависимости электросопротивления, диэлектрических проницаемости и определения диэлектрических потерь ( $tg\delta$ ), который позволяет изучать свойств и дефектности исследуемых материалов.

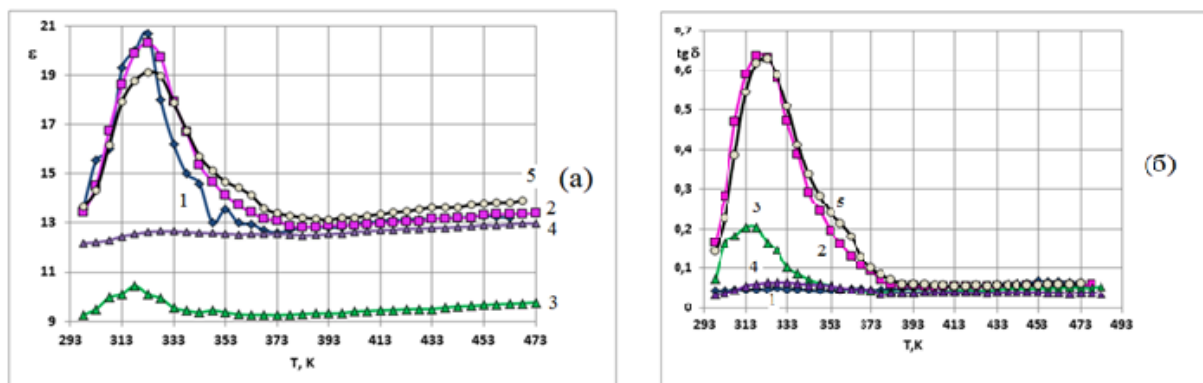


Рис.1 (а) Зависимость диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) от температуры ( $T$ ) в  $\gamma$ -облученных  $B_2O_3/SiO_2$  (1- исходный; 2- 25 кГр; 3- 75 кГр; 4- 100 кГр; 5- 200 кГр)

С ростом температур ( $T>373K$ ) чувствительность ослабевают и в пределах погрешности эксперимента можно пренебречь и можно считать постоянной ( $\epsilon\approx 13$ ;  $tg\delta\approx 0,05$ ) (рис.1 а, б). Из рис.1 видно, что значения диэлектрических проницаемости ( $\epsilon$ ) и диэлектрической потери ( $tg\delta$ ) в зависимости от поглощенных дозы ( $D$ ) и температур в интервале  $T=(293\div 373)K$  сильно отличается, т.к. при температуре  $T\approx 320K$  значения  $\epsilon$  и  $tg\delta$  проходя через максимум, а затем уменьшается. Особенно сильно влияет на изменение  $\epsilon$  и  $tg\delta$  при поглощенных доз  $D_1=25$  кГр,  $D_2=75$  кГр и  $D_3=200$  кГр. В этих поглощенных дозах значения диэлектрических проницаемости возрастает на 48,9%, а диэлектрические потери почти на 3,3 раза.

В исследуемых образцах с ионной структурой диэлектрические потери отличается некоторыми особенностями. За релаксацию ответственные слабосвязанные ионы ( $B^{3+} - O^{2=}$ ), совершающие перескоки из одной ячейки пространственной структурной сетки в другую. Потенциальные барьеры, ограничивающие движение слабосвязанных ионов неодинаковы, вследствие локальных неоднородностей структуры образца. Поэтому релаксационные потери в образцах определены широкой набором времени релаксацией.

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННОГО ВОЛЬФРАМА В РЕЗУЛЬТАТЕ  
ДЛИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В СРЕДЕ ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ**

*Миниязов А.Ж., Скаков М.К., Тажиббаева И.Л., Ситников А.А., Коянбаев Е.Т., Кульсартов Т.В., Сапатаев Е.Е.,  
Гордиенко Ю.Н.*

РГП Национальный ядерный центр Республики Казахстан  
Филиал Институт атомной энергии, E-mail: [miniyaov@nnc.kz](mailto:miniyaov@nnc.kz)

Серьезную озабоченность относительно известных на сегодняшний день сортов промышленно изготавливаемого вольфрама вызывает его устойчивость и сопротивление к термическим нагрузкам в реакторе – токамаке, особенно в присутствии нейтронного и других типов излучения [2]. В этом случае, может произойти разрушение материала и повышенная эрозия поверхности, что приведет к поступлению вольфрама в центральные зоны разряда и ухудшению удержания плазмы. Пополнение расчетной и экспериментальной базы по свойствам конструкционных материалов, работающих в условиях плазменных воздействий и гамма-нейтронного излучения важно для прогнозирования поведения материалов, в частности реактора ИТЭР до момента его запуска в эксплуатацию.

Целью данной работы являлось исследование радиационно-поврежденного вольфрама в среде водорода и гелия и изучение степени изменения микроструктуры и сорбционной характеристики вольфрама по отношению к водороду после облучения. Реакторное облучение вольфрама было выполнено на реакторе ВВР-К (ИЯФ, г. Алматы, Казахстан). Проведение имитационных экспериментов по влиянию реакторного облучения на характеристики взаимодействия изотопов водорода с конструкционными материалами ТЯР позволит установить корреляцию и синергетические эффекты между воздействием реакторов деления и синтеза на материалы ТЯР.

Материаловедческие исследования были проведены на экспериментально-аналитической базе Института атомной энергии (филиал РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан). В результате исследований облученного нейтронами вольфрама в среде водорода и гелия были получены сравнительные характеристики микроструктуры и определены сорбционные характеристики вольфрама по отношению к водороду в процессе реакторного облучения. Показано, что микроструктура поверхности образцов вольфрама, облученных в среде водорода, характеризуется наличием эрозии, обнаружены микропоры, включения и блистеры в виде пузырей, что не наблюдалось ранее при облучении в реакторе в водородной среде. Концентрация водорода в образцах вольфрама, облученных в водороде, была выше, чем в образцах, облученных в атмосфере гелия. Вычисленные значения константы растворимости несколько превышают опубликованные данные, которые могут быть связаны с влиянием нейтронного облучения на процесс растворимости водорода в вольфраме.

1. Канашенко С.Л., Шарапов В.М. *Материаловедение*, ВАНТ, №3, с. 17-25, 2007.
2. Nygren R., Raffray R., Whyte D. and all. "Making tungsten work. Overview of ICFRM-14 session Plasma facing materials", *J.Nuclear Materials*, v.417, issues 1-3, p.451-456, 2011.
3. M. Wirtz, J. Linke, G. Pintsuk, J. Rapp, G. M.Wright; "Influence of high flux hydrogen plasma exposure on the thermal shock induced crack formation in tungsten"; *Journal of Nuclear Materials*. V.420, Issues 1–3, Pages 218-221, January 2012.
4. В.М. Шарапов, С.Л. Канашенко. Структурные нарушения в вольфраме после взаимодействия с низкоэнергетичной гелиевой плазмой с допороговыми энергиями ионов. *Вопросы атомной науки и техники. Сер. Термоядерный синтез. Вып. 2., стр. 20-25. 2008.*

**ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

<sup>1)</sup>Мукашев К.М., <sup>1)</sup>Мурадов А.Д., <sup>2)</sup>Умаров Ф.Ф., <sup>1)</sup>Яр-Мухамедова Г.Ш.

<sup>1)</sup>Казахский национальный университет им. Аль-Фараби

<sup>2)</sup>Казахско-Британский технический университет

Как известно, все элементы конструкции активной зоны реактора в процессе эксплуатации испытывают значительные внутренние напряжения вследствие циклического воздействия высокой температуры, мощного нейтронного потока, а так же подвергаются статической, динамической и вибрационной нагрузке как в результате неравномерного энерговыделения по объему, так и из-за различия в величине коэффициента теплового расширения. В связи с этим представляется не менее важным изучение процесса воздействия расплавленного металла на твердое тело из напряженного и ненапряженного состояний, а так же до и после наводороживания из этих состояний. Было установлено, что диффузионное проникновение атомов Li в кристалл и образование локализованных состояний из ненапряженного состояния происходит относительно легче, чем из напряженного, что, видимо, связано остаточными силами взаимодействия атомов напряженного металла, которые препятствуют проникновению атомов инородного металла. Наоборот, процесс наводороживания напряженного металла снижает (может быть, снимает) внутренние напряжения, созданные внешними силами, и атомы Li относительно легко диффундируют в решетку матрицы, вызывая соответствующее возрастание степени локализованного состояния ее электронов.

В результате многочисленных и разнообразных исследований, связанных с воздействием электронного и нейтронного облучений, процессов насыщения водородом из напряженного и ненапряженного состояний, направленных на установление оптимальных условий использования жидкометаллического теплоносителя при условии применения в качестве бланкета ядерных энергетических условий, было установлено, что облучение электронами при двух флюенсах приводит к сужению спектра угловой корреляции аннигиляционного излучения от 13 до 25 % при соответствующем повышении эффективности захвата позитронов от 53 до 133%. Такие аномально высокие изменения параметров являются следствием возникновения структурных нарушений в изучаемых материалах под воздействием тех факторов, которые для сталей данного сорта являются более действенными, чем другие. Непрерывная тысячасовая обработка стали в расплавленном литии при  $T = 600^{\circ}\text{C}$  так же приводит к возрастанию параметра, определяющего эффективность захвата позитронов возникающими структурными нарушениями. Вероятной причиной этого процесса могут быть последствия специфического взаимодействия расплавленного лития с материалами первой стенки реактора, конечный результат которого определяется диаграммой состояния между ними. Изучение воздействия расплавленного лития на нержавеющую сталь при различных условиях выявило ряд интересных моментов, важнейшим из которых является установление неоднозначности его влияния на радиационную повреждаемость металла и умеренная агрессивность на процессы коррождения стали.

1. Петунин В.П. Теплоэнергетика ядерных установок. – М.: Атомиздат. 1960 300 с.
2. Левин В.Е. Ядерная физика и ядерные реакторы. – М.: Атомиздат 1979. 400 с.3.
3. Джесси Рассел. Реактор с жидкометаллическим теплоносителем. – М.: Атомиздат.1989. 255 с.
4. Мукашев К.М. Структурные превращения в металлах и сплавах переходных групп.- Palmarium. 2015. 450 стр.

**К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЙ АМПУЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ**

*Скаков М.К., Мухамедов Н.Е., Вурим А.Д., Пахниц А.В., Дерявко И.И.*

Филиал «Институт атомной энергии» НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

Одной из важнейших задач атомной энергетики является обеспечение безопасной эксплуатации ядерных установок в различных режимах работы, в том числе при возникновении тяжелой аварии с плавлением активной зоны реактора. В этой связи важным является реализация научно-исследовательских программ по изучению процессов, протекающих в активной зоне реактора в ходе развития тяжелой аварии. Наиболее информативные данные о возможных последствиях тяжелых аварий энергетических реакторов, могут быть получены в условиях экспериментов в исследовательских реакторах, позволяющих обеспечить максимально приближенное к реальным условиям моделирование таких процессов.

В рамках программы по исследованию тяжелых аварий быстрых энергетических реакторов в ИАЭ НЯЦ РК была разработана и изготовлена серия ампульных экспериментальных устройств (ЭУ) и проведены их испытания на исследовательском реакторе ИГР в целях изучения закономерностей плавления и перемещения расплава топлива модельной ТВС, а также особенностей взаимодействия расплава с конструкционными материалами и теплоносителем. Важнейшим этапом подготовки внутриреакторных испытаний ЭУ с модельными ТВС является обоснование режимов их испытаний. Сложность решения данной задачи обусловлена необходимостью реализации заданных параметров в объекте испытаний, которые позволяют создать условия для реализации требуемой последовательности событий в эксперименте и получить качественные экспериментальные данные. С другой стороны, существует ряд условий, определяемых, в первую очередь, требованиями безопасности, которые должны быть соблюдены в процессе эксперимента и которые накладывают ограничения на выбор режимов испытаний.

Целью данной работы является определение теплового состояния толстостенной стальной капсулы в ампульном экспериментальном устройстве, предназначенном для получения расплава материалов активной зоны быстрого энергетического реактора в условиях, моделирующих тяжелую реакторную аварию.

Нейтронно-физические расчеты для предварительного определения коэффициентов связи между удельным энерговыделением в топливе ампульного ЭУ и энерговыделением в активной зоне исследовательского реактора ИГР, как и расчеты неравномерности энерговыделения по объему ТВС выполнялись с использованием объединенной модели, созданной на базе бенч-марк модели импульсного графитового реактора (ИГР) и расчетной модели ампульного облучательного устройства с использованием расчетного кода MCNP с библиотекой ENDF/B-VI для холодного состояния реактора.

Расчет теплового состояния капсулы в ампульном ЭУ при предварительном разогреве и реализации диаграммы энерговыделения в топливе модельной ТВС выполнялся с применением трехмерной расчетной модели. Расчеты проводились с использованием программного комплекса ANSYS.

С целью наиболее точного описания тепловых процессов ампульное ЭУ была детально описана трехмерной расчетной моделью, которая использовалась для оценки теплового состояния ЭУ при следующих двух ситуациях: предварительный разогрев капсулы ЭУ омическим нагревателем и разогрев топлива за счет внутреннего энерговыделения.

Результаты расчетов (выполненных при выбранной диаграмме энерговыделения в топливе) позволили сделать следующие выводы:

- при реализации выбранной диаграммы изменения мощности электронагревателя в режиме предварительного разогрева плавление натрия начнется сверху и будет перемещаться вниз;
- плавление топлива начнется на четвертой секунде от начала реализации диаграммы энерговыделения в топливе;
- при плавлении топлива обеспечивается целостность танталового стакана и стальной капсулы экспериментального устройства.

ЦЕНТРЫ ОКРАСКИ СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ

Муссаева М.А., Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н.

Институт Ядерной Физики Академии Наук Республики Узбекистан,  
Ташкент, 100214, Узбекистан, [ibragimova@inp.uz](mailto:ibragimova@inp.uz), [mussaeva@inp.uz](mailto:mussaeva@inp.uz)

Одной из проблем физики конденсированного состояния и микроэлектроники является снижение диэлектрической постоянной  $k$  между слоями микросхем. Силикатные стекла, имеющие низкую  $k$ , используют как межслойный диэлектрик. Снижение  $k$  можно достичь созданием межфазных границ или наведением радиационных дефектов. В работе [1] описано формирование оптического волновода в силикатном стекле К8, содержащем ионы В, Na, К, Ва, при облучении электронами с энергией 50 keV интегральными потоками от  $0,8 \cdot 10^{14}$  см<sup>-2</sup> до  $1,3 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup>. Показано, что послыйный рост и снижение показателя преломления вызвано миграцией ионов щелочных металлов в область отрицательного объемного заряда, структурным разрушением сетки стекла.

Ранее нами [2] экспериментально установлено, что при облучении стекла в тепловой колонне атомного реактора или в гамма-установке Со-60 происходят фазовые превращения нанокристаллитов SiO<sub>2</sub> кристобалит в тридимит, ВаО в ВаО<sub>2</sub>, ВаSiO<sub>3</sub>. Локализация носителей заряда на межфазных границах вызывает коричневую окраску, ослабление интенсивности люминесценции, уменьшение микротвердости в результате снятия механических напряжений и снижение показателя преломления, то есть  $k$ .

**Целью настоящей работы** было определение оптических центров (поглощение и рассеяние), наведенных в силикатном стекле при облучении ускоренными электронами.

В составе бесцветного силикатного стекла были Na, К и Ва, образцы имели одинаковую форму полированных дисков диаметром 16 мм и толщиной 2 мм. Облучения проводили при комнатной температуре на ускорителе ЭЛУ-003 электронами со средней энергией 4 МэВ при плотности тока пучка 50 нА/см<sup>2</sup>, что соответствовало потоку  $0,3 \cdot 10^{12}$  эл/см<sup>2</sup>с. Интегральная доза накапливалась в 6 этапов последовательного облучения от  $1,8 \cdot 10^{13}$  до  $1,8 \cdot 10^{15}$  эл/см<sup>2</sup>, что соответствовало ионизационной дозе от 0,3 до 30 МР. Глубина проникновения электронов в материал  $R_0$  (нм) определялась из выражения Канайя-Окаяма:

$$R_0 = 0,0276 A E_0^{1,67} / \rho Z^{0,889}$$

где  $R_0$  – глубина проникновения электронов в мишень,  $E_0$  – энергия первичных электронов, кэВ,  $Z$  – атомный номер,  $A$  – атомный вес, г/моль,  $\rho$  – плотность материала мишени, г/см<sup>3</sup>. Энергия электронов для (ЭЛУ-003) 4000 кэВ. Плотность стекла  $\rho = 2,9$  г/см<sup>3</sup>. Для сложной молекулы многоэлементного стекла средние значения атомного веса  $A \approx 22,78$  г/мол и заряда  $Z = 11, 49$ . Глубина проникновения электронов в данное стекло составила  $R_0 = 25,6$  мкм, что намного меньше толщины образца 2 мм и обеспечивало накопление неравновесного заряда в объеме диэлектрика. Спектры оптического поглощения снимали на спектрофотометре СФ-56 в интервале длин волн 190-1100 нм.

Спектр поглощения необлученного стекла не содержит селективных полос поглощения, уровень ахроматического рассеяния не превышает  $D = 0,1$ , а УФ-край спектра находится при 275 нм, что обусловлено присутствием Ва. Нестабильный резонанс при 215 нм появляется при повторных измерениях, что может быть связано с плазмонным поглощением К после захвата электрона. После электронного облучения, начиная с флюенса  $1,8 \cdot 10^{13}$  см<sup>-2</sup>, появляется узкий интенсивный резонанс при 225 нм, обусловленный  $E_1'$  центрами ( $\equiv$  Si<sup>-</sup> электрон, захваченный вакансией мостикового кислорода), который наблюдается и при повторных измерениях. А после максимальной дозы  $1,8 \cdot 10^{15}$  см<sup>-2</sup> этот резонанс смещается к 230 нм. Край поглощения, обусловленный зарядом, локализованным на интерфейсах ВаО-SiO<sub>2</sub>, сдвигается от 300 нм до 500 нм по мере нарастания дозы облучения и следовательно концентрации локализованных носителей. Такое дозовое поведение характерно для наноразмерных частиц. Ионы щелочных металлов расположены в ячейках трехмерной Si-O сетки около дефектов – немостиковых атомов кислорода (поглощение в широкой полосе 620 нм) и  $E_1'$  центров. Они не имеют прочной химической связи, что и обеспечивает им высокую подвижность. При облучении стекла электронами со средней энергией 4 МэВ в облученной зоне происходит разрыв и переключение химических связей сетки стекла и миграция щелочных металлов к поверхности, как наблюдалось в работе [1]. Уравновешивание локализованных носителей заряда между парными дефектами на интерфейсах приводит к снижению  $k$ .

Работа поддерживается грантом ККРНТ РУз ОТ-Ф2-26.

1. О.А. Подсвилов, А.И. Сидоров, Д.В. Чураев. Особенности формирования оптических волноводов в силикатном стекле при высокой энергии и дозе электронного облучения. Журнал технической физики, 2014, том 84, вып. 11. стр.96–100.
2. М.А. Муссаева, Э.М. Ибрагимова. Влияние гамма радиации и воздействие нейтронов на фотолюминесценцию и микротвердость бариевосиликатных стекол. Физика и Химия Стекла. 2017. том 43, №2, стр.191–198.

ВОЗВРАТНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ПЛЕНОЧНОМ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНЕ, ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ

Воронова Н.А.<sup>1</sup>, Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>, Лисицын В.М.<sup>3</sup>, Тлебаев К.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, Казахстан

<sup>3</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический Университет, Томск, Россия

Политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт, тефлон) является наиболее распространенным видом фторопласта [1]. Основной способ его получения – это радикальная полимеризация в органической или водной среде в присутствии различных инициаторов [2]. Он устойчив к действию разбавленных кислот, масел, спиртов, минеральных солей и органических соединений за исключением сильных щелочей и некоторых растворителей. ПТФЭ минимально адсорбирует запахи и проявляет свойства хорошего газового барьера [3]. Одним из лучших методов улучшения характеристик вещества является воздействие радиации. Практически все виды излучений влияют на свойства полимерных материалов, и приводят к изменению их структуры и свойств в зависимости от различных факторов. Работа посвящена изучению зависимости деформации от времени в политетрафторэтилене для различных доз электронного облучения. С целью проведения исследований зависимости деформации  $\varepsilon$  от времени  $\tau$  нами была разработана и изготовлена установка, которая обеспечивает возможность измерений деформации и напряжений. В качестве исследуемого материала был выбран промышленный ПТФЭ толщиной 100 мкм. Облучение пленочных образцов электронами проводилось на линейном ускорителе ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Выполнены исследования рельефов поверхностей пленок, необлученных и облученных дозами 5 и 10 кГр ПТФЭ на атомно-силовом микроскопе (АСМ).

Проведены исследования по зависимости возвратной деформации  $\varepsilon$  (деформация, составляющая некоторую часть от относительного удлинения в процентах, которая появляется после прекращения воздействия силы, что приводит к уменьшению длины образца) от времени. Первые 10 секунд происходит резкое возрастание возвратной деформации, затем  $\varepsilon$  постепенно выходит на насыщение. Увеличение напряжения от 5 до 25 МПа приводит к росту возвратной деформации более чем в два раза. Изменение расстояния между зондом и поверхностью соответствует повышению контактной адгезии на локальных участках поверхности ПТФЭ. Уровень максимального изменения значения расстояния характеризует максимальное изменение в структуре, увеличение плотности упаковки структурных элементов, что приводит к изменению свойств материала, а именно – к увеличению хрупкости и уменьшению пластичности. Анализ приведенных закономерностей позволяет сделать вывод о том, что радиация нарушает совершенство кристаллических областей ПТФЭ затрудняя, таким образом, развитие гомогенного скольжения в них. С другой стороны для пластичного ПТФЭ характерен сильно выраженный неупругий компонент деформации. Таким образом, можно сделать следующие выводы: 1. Зависимость возвратной деформации от времени при больших статических нагрузках и дозах облучения 5 и 10 кГр фторопласта претерпевают значительные изменения. Уменьшение пластичности пленок ПТФЭ вызвано радиационными эффектами, приводящими к нарушению совершенства кристаллических областей фторопласта, которые затрудняют развитие гомогенного скольжения. 2. Возрастание кристалличности усиливает эффект затрудненного сдвига. В процессе дальнейшей вытяжки полимер утончается вплоть до разрыва. 3. Полученные АСМ-изображения пленок подтверждают изменение механизма кристаллизации, приводящего к уменьшению пластичности.

1. Gregory L. Fisher, Rollin E. Lakis, Charles C. Davis, Christopher Szakal, John G. Swadener, Christopher J. Wetteland, Nicholas Winograd. Mechanical properties and the evolution of matrix molecules in PTFE upon irradiation with MeV alpha particles // Applied Surface Science. – 2006. – Vol. 253, Is.3. – P. 1330 – 1342.
2. Jiazhen Sun, Yuefang Zhang, Xiaoguang Zhong. Radiation cross linking of polytetrafluoroethylene// Polymer – 1994. – Vol. 35, Iss. 13. – P. 2881 – 2883.
3. Komarov F. F., Kupchishin A. I., Pivovarov S. P., Tlebaev K. B., Kusainov A. T., Rukhin A. B. Pozdeeva T.V. Influence of  $\gamma$  - irradiation on the conformation of free radicals in polytetrafluoroethylene // J. of engineering physics and Thermophysics. – 2012. – vol. 85, No.2. – P. 455 – 458.
4. Golden J.H. The degradation of polytetrafluoroethylene by ionizing radiation //J. Polymer Sci. –1960. – Vol.45 (№146). – P.534 – 536.
5. Rama K., Layek, Arun K. Nandi // A review on synthesis and properties of polymer functionalized graphene. V. – 2013. – No.1–15. – P. 5087 – 5103.



ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Достык, 13, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

Широкое применение полимерных материалов и композитов на их основе объясняется наличием у них определенного комплекса свойств. Одной из важнейших характеристик является сохранение высокой механической прочности при внешних воздействиях [1]. Среди всех материалов политетрафторэтилен (ПТФЭ, фторопласт) обладает довольно хорошими свойствами. Он имеет высокую точку плавления, а плотно упакованные линейные цепи, придают ему жесткость при повышенных температурах [2,3]. В данной работе проведены экспериментальные исследования по влиянию температуры, статической нагрузки и электронного облучения на деформацию необлученных и облученных ряда полимеров (фторопласт, лавсан, полиимид и их композиты). Для проведения экспериментов по комплексному воздействию температуры, нагрузки и облучения нами была разработана и изготовлена соответствующая экспериментальная установка. Предварительно с помощью специальных грузов определялась предельная нагрузка, при которой наступает разрыв испытуемого полимера. Для данного эксперимента напряжение составляло 21 МПа. Затем рассчитывалось напряжение, составляющее определенную часть от предельного напряжения. Следующим этапом являлась фиксация деформации при комнатной температуре для данной нагрузки. При проведении эксперимента нагрузка не менялась. После закрепления образец помещался в камеру и включался термоэлектронный нагреватель. Далее определялись все необходимые параметры. Облучение образцов проводилось на линейном ускорителе электронов ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Доза составляла 5 кГр.

Проведены экспериментальные работы по исследованию зависимости деформации от температуры при различных значениях напряжения:  $\sigma_1 = 9$ ;  $\sigma_2 = 11$  и  $\sigma_3 = 13$  МПа. Опыты проводились при температурах в интервале 23 – 120 °С. В результате проведения ряда экспериментов было обнаружено, что ПТФЭ ведет себя по-разному на разных этапах нагревания. При приложении большого напряжения происходят разрушающие процессы, идущие в нескольких стадиях: I. Выпрямление свободных полимерных цепей (23 °С); II. Выпрямление связанных цепей (23 – 35 °С); III. Катастрофическое разрушение (35 – 45 °С); IV. Разрушение цепей с сильными связями (45 – 120 °С). При приложении нагрузки и температуры происходит резкое удлинение исследуемых образцов. Причиной такого поведения фторопласта является выпрямление макромолекул, которые представляют собой закрученные комплексы. Далее в интервале 19 – 35 °С наблюдается небольшое увеличение относительного удлинения, что связано с выпрямлением жестких связанных цепей. В интервале 35 – 45 °С происходит катастрофическое разрушение слабых цепей. При  $t > 40$  °С зависимость  $\varepsilon(t)$  имеет тенденцию постепенного выхода на насыщение. Это связано с разрывом жестких, более прочных цепей. Максимальная деформация при  $t = 85$  °С и  $\sigma = 13$  МПа достигает 500 %. Облучение образцов политетрафторэтилена приводит к потере пластичности, существенному уменьшению деформации (по сравнению с необлученным материалом) ~ на 240 %, что связано с деструкцией всех цепей полимера. При этом прочность практически уменьшается до нуля. Экспериментальная зависимость деформации от напряжения как для необлученного, так и для облученного материала удовлетворительно описывается в рамках каскадно-вероятностной модели.

1. Паншин Ю.А., Малкевич С.Г., Дунаевская Ц.С. Фторопласты. – Л.: Химия. 1978. – 228 с.
2. Kupchishin A. I., Taipova B. G., Kupchishin A. A., Voronova N. A., Kirdyashkin V. I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012037. – 2016. – P. 1 – 5.
3. Kupchishin A. I., Kupchishin A. A., Voronova N. A., Kirdyashkin V. I., Gyngazov V.A. Computer simulation radiation damages in condensed matters// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012039. – 2016. – P. 1 – 4.
4. Surzhikov A.P., Galtseva O.V., Vasendina E.A., Vlasov V.A., Nikolaev E.V. Processing line for industrial radiation-thermal synthesis of doped lithium ferrite powders// IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 110 012002. – 2016. – P. 1 – 4.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА АКТИВНЫЙ ИЛ

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>, Таупова Б.Г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая, Достык, 13, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан

Биологическая очистка сточных вод с помощью активного ила (биоматериала) в аэрируемых аппаратах является одним из основных методов очистки сточных вод [1]. Сам активный ил состоит из взвешенных частиц, не задержанных в первичных отстойниках и адсорбируемых коллоидных веществ с размножающимися на них микроорганизмами: бактериями, плесневыми грибами, дрожжами, актиномицетами, водорослями, простейшими, личинками насекомых и другими организмами [2]. Одним из известных методов обезвреживания избыточного биоматериала, содержащего тяжелые металлы (термическая и/или термохимическая обработка) [3], несмотря на внешнюю привлекательность, экологически не безопасны, поскольку в той или иной мере происходит загрязнение атмосферы, требуются сложные системы очистки газовых выбросов от загрязняющих веществ, очистки вторичных сточных вод [4]. Интенсификация биологической очистки путем реконструкций действующих сооружений связана с нерентабельностью и техническими трудностями, в связи с этим в настоящее время более перспективна разработка гидробиологических, микробиологических и биохимических методов улучшения работы сооружений [5]. Степень загрязненности определяется иловым индексом. В данной работе рассмотрено влияние электронного облучения на парциальную плотность активного ила.

Для определения параметров активного ила была создана экспериментальная установка. Она состоит из лазерного источника, детектора излучения, электронного блока, стоек и различных держателей. Ил в количестве 1 г, помещенный в колбу с водой объемом 100 мл, тщательно взбалтывался и устанавливался между лазером и детектором. Снималась зависимость освещенности (интенсивности) света (зеленые и красные линии лазера) от времени, которые в последующем пересчитывались в зависимость парциальной плотности от времени. Облучение образцов активного ила электронами проводилось на линейном ускорителе ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Доза облучения была равна 500 кГр и 3 Р [6].

В результате исследований (зеленый и красный луч) получено, что полное оседание ила происходит в течение около 100 секунд. Из кривых зависимости  $\rho$  (парциальной плотности) от  $t$  (времени), получены закономерности как для красного лазерного излучения, так и для зеленого. С течением времени в обоих случаях (500 кГр и необлученный ил) парциальная плотность постепенно уменьшается. При этом облучение существенно влияет на конкретные зависимости. В результате исследований также выявлено, что причиной этого является сокращение числа живых микроорганизмов. Кривые зависимости парциальной плотности ( $\rho$ ) от времени ( $t$ ) удовлетворительно описываются в рамках экспоненциальной модели.

1. Захтаева Н. В., Шеломков А. С. Активный ил как управляемая экологическая система. – М.: Экспо- медиа-пресс., 2013. – 650 с.
2. Брызгина Е.Ю., Насыров Р.Р., Латыпова З.А., Хазимова Л.Р. Способ обезвреживания и утилизации активного ила// Стерлитамак Уфимский государственный нефтяной технический университет: Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – С. 124 – 133.
3. Ермилов О.М. Стратегия развития нефтегазовых компаний. – М.: Наука, 1997. – 621 с.
4. Алимов А.Ф. Структурно-функциональный подход к изучению сообществ водных животных // Пятый съезд Всесоюзного гидробиологического общества: Тез. докл. – Куйбышев: Издательство АН СССР, 1986. – С. 132 – 133.
5. Андреюк Е.И., Яновер С.В., Коптева Ж.П. и др. Микроорганизмы первичной пленки обрастания стали СТ – 3 в условиях моря // Микробиол. журн. 1981. – Вып. 43, 6. – С. 683 – 686.
6. Esyrev O.V., Kupchishin A.A., Kupchishin A.I., Voronova N.A. Optical research of biomaterials of Sorbulak// IOP Conf. Series: Material Science and Engineering. 110. 012036. – 2016. – P. 1 – 5.

ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В ОБЛУЧЕННЫХ ИОННО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛАХ

Нурахметов Т.Н., \* Салиходжа Ж.М., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Жанылысов К., Дауренбеков Д.Х.,  
Кутербеков К.А., Темиркулова Н.И.

Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

К ионно-молекулярным кристаллам относятся сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов, вольфраматы двухвалентных металлов, оксидные кристаллы с редкоземельными элементами и др. сложные ионные кристаллы. Активированные и беспримесные ионно-молекулярные кристаллы широко используются как материалы для твердотельной сцинтилляционной и дозиметрической аппаратуры, а также для детекторов различных излучений.

В облученных ионно-молекулярных кристаллах дефектообразование связано с образованием электронно-дырочных центров захвата при локализации электронов и дырок на собственной матрице или примесях, а также с образованием френкелевских пар дефектов при распаде собственных электронных возбуждений. Протекание этих процессов во многом зависит от специфических особенностей электронной структуры конкретных ионно-молекулярных кристаллов. К наиболее изученным кристаллам из названных групп относятся сульфаты щелочных и щелочноземельных металлов. Известно, что в ионно-молекулярных кристаллах за дефектообразование ответственны анионные комплексы. Например, в облученных сульфатах щелочных и щелочноземельных металлов методом ЭПР обнаружены радикалы типа  $SO_4^-$ ,  $SO_3^-$ ,  $SO_2^-$ ,  $O^-$ ,  $O_3^-$  которые должны образовываться при радиолизе анионных комплексов  $SO_4^{2-}$ . Аналогичным образом, протекает дефектообразование в вольфраматах свинца ( $PbWO_4$ ), которые используются в работе большого адронного коллайдера (ЦЕРН) как сцинтилляционные материалы.

В этой системе за образование центров захвата и френкелевских пар дефектов ответственен анионный комплекс  $WO_4^{2-}$ . В названных сульфатах валентная зона образована из орбиталей анионного комплекса. Помимо этого нижняя часть зоны проводимости состоит из незаполненных орбиталей  $4t_2$  и  $3a_1$  кислорода и состояний катиона основания. Авторами [1] обнаружено, что верхняя часть валентной зоны состоит из  $1t_1$ ,  $3t_2$ ,  $1e$ ,  $2t_2$  орбиталей анионного комплекса  $SO_4^{2-}$ . На основе измерения спектров диффузного отражения авторы предполагают, что во время возбуждения электроны из орбиталей валентной зоны, отличающихся между собой от 3,0 до 5,5 эВ, могут переходить в возбужденное состояние анионного комплекса  $SO_4^{2-}(4t_2^x \text{ и } 3a_1^x)$  и S состояние катиона основания. Таким образом, в возбужденных состояниях сульфатов могут осуществляться до 6 электронных переходов с различной энергией.

В настоящей работе обсуждается образование электронно-дырочных центров захвата и дефектов при селективном создании электронно-дырочных пар различной энергии, а также при возбуждении анионного молекулярного комплекса, который эффективно распадается с созданием радиационных дефектов.

1. В.Г. Шолох, Н.И. Алешкевич, А.И. Комяк, //Журнал Прикладной спектроскопии 42 (1985) 400.

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ПРИМЕСНЫМИ И СОБСТВЕННЫМИ ТОЧЕЧНЫМИ  
ДЕФЕКТАМИ В НАНОЧАСТИЦАХ КРЕМНИЯ

Махкамов Ш.М., Нормуродов А.Б., Сулайманов Н.Т., Ташметов М.Ю.

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан, [normurodov@inp.uz](mailto:normurodov@inp.uz)

В последние годы обнаруженные новые свойства в наноматериалах на основе кремния и их существенное отличие от монокристаллического кремния привлекли пристальное внимание исследователей из-за возможности управляемой модификации структур сформированных наночастиц. Кремниевые наноматериалы, такие как кристаллический кремний, могут содержать различные дефектные состояния, как в объеме, так и на поверхности, влияющие на фотоэлектрические и электрофизические свойства. Наиболее распространенными дефектами в кристаллическом кремнии являются точечные, вызванные собственным междоузельным атомом и вакансией, а в легированных материалах - атомами примесей III и V групп (например, В и Р). Причем, местоположение в кристаллической решетке как собственных, так и примесных дефектов может существенно повлиять на свойства полученных наноматериалов.

Наличие точечных дефектов в Si приводит к искажению кристаллической решетки, образуя сильно локализованные дефектные центры и глубокие локальные уровни в запрещенной зоне. Целенаправленное изменение концентрации точечных дефектов как в кристаллическом, так и нанокремнии можно осуществить

воздействием различными внешними физическими факторами или путем введения активных примесей в объем кристалла.

Одним из таких примесей для кремния, внедренных в структуру, является атом водорода. Добавление водорода приводит к пассивации точечных дефектов и снятию локальных уровней с запрещенной зоны в Si. Однако в литературе данные о пассивации вакансий и образовании ее комплексов с водородом внутри наночастицы кремния практически отсутствуют, а результаты с участием атомов примесей В и Р в комплексобразовании с водородом носят противоречивый характер.

В данной работе приводятся результаты исследований компьютерного моделирования кремниевых кластеров в рамках комплексного метода ORCA в приближении локальной плотности электронных состояний DFT BLYP:

а) рассматривается стабильность кластера с вакансией Si<sub>29</sub> с пассивированной поверхностью при внедрении атомов водорода в полость вакансии с целью ее деактивации, а также влияние водорода на стабильность формирующих кластерных структур;

б) анализируется структура кластера Si<sub>29</sub> с пассивированной поверхностью при внедрении атомов водорода вокруг атома бора или фосфора с целью образования водородосодержащего дефектного комплекса для управления энергетическими характеристиками кремниевого наноматериала.

Моделирование структур и расчет проводились для кластера Si<sub>29</sub>, центрированного на атоме Si и содержащего 29 атомов, с гидrogenизированной поверхностью. Кластер состоит из центрального атома и двух координационных сфер кремния и оболочки из атомов водорода.

Проведенные теоретические расчеты позволили получить данные о плотности энергетических состояний дефектных электронных уровней, связанных с водородом в комплекс, силе взаимодействия между этими атомами и другие квантовохимические параметры кластера.

Полученные результаты позволяют моделировать структуру формирующегося кластера взаимодействием собственного точечного дефекта и вакансии с внедренным атомом водорода и предсказывать вероятность образования дефектных комплексов [Si-H-B] и [Si-H-P] внутри наноразмерного Si<sub>29</sub> кластера.

## НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПО СХЕМЕ «SHEAR PUNCH» ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЕЙ

*Нұрғали Е.Е., Рубан С.В., Максимкин О.П.*

Институт Ядерной Физики МЭ РК, г.Алматы

В работе приведены и анализируются результаты механических испытаний аустенитных нержавеющей сталей X18N9 и 08X16N11M3 необлученных, а также облученных нейтронами в ядерных реакторах ВВР-К и БН-350, и деформированных в интервале температур 20-250°C. Впервые для механических испытаний облученных микрообразцов при повышенных температурах применяли модифицированный метод Shear Punch, в результате чего получены корреляционные зависимости напряжений течения «на сдвиг» и «на растяжения», для различных флюенсов нейтронов ( $1 \cdot 10^{19}$ - $1 \cdot 10^{22}$  н/см<sup>2</sup>). Методами металлографии детально исследованы участки материала вблизи отверстий, проделанных пуансоном, в пластинчатых образцах и определены области повышенных внутренних напряжений что позволило представить диаграммы механических испытаний более наглядно в координатах «напряжении сдвига – деформация образца». Построены распределения микротвердости по длине образца при различных температурах испытания. В результате отжига деформированных образцов при 450°C (30 мин) зарегистрирован эффект радиационноотжигового упрочнения, когда значения микротвердости стали вблизи края отверстия увеличилось на 24%.

Полученные результаты дают основания для более широкого использования метода Shear Punch, позволяющего экономно расходовать уникальные высокооблученные образцы, вырезанные из реакторных конструкций, а также время, необходимое для безопасного проведения работ с радиоактивными материалами.

**ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОБРАЗЦОВ ЛИТИЕВОЙ КПС НА ОСНОВЕ  
УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ, АРМИРОВАННОЙ УНТ**

Понкратов Ю.В. <sup>1</sup>, Абдуллин Х.А. <sup>2</sup>, Гордиенко Ю.В. <sup>1</sup>, Заурбекова Ж.А. <sup>1</sup>, Кульсартов Т.В. <sup>1</sup>, Бакланов В.В. <sup>1</sup>,  
Тулубаев Е.Ю. <sup>1</sup>, Чихрай Е.В. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Атомной Энергии, Национальный Ядерный Центр РК, Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Проведенные в последние годы исследования, которые были реализованы в рамках различных международных программ по исследованию материалов создаваемых термоядерных реакторов ИТЭР и ДЕМО, показали, что одним из наилучших материалов для применения в качестве ОПМ (обращенного к плазме материала) в установках термоядерного синтеза является жидкий литий и материалы на его основе. Использование жидкого лития в качестве плазмообращенного материала установок термоядерного синтеза особенно перспективно, если литий заключен в так называемую капиллярно-пористую систему (КПС). Основными преимуществами КПС по сравнению с твердыми материалами являются их устойчивость к деградации свойств и способность к самовосстановлению поверхности на основе капиллярных сил в условиях нормального плазменного разряда в установках термоядерного синтеза, а также при срывах плазмы и возникновении ЭЛМ-ов.

На настоящий момент имеется технология изготовления литиевых КПС, где основной матрицы, в которую заключен литий, являются традиционные материалы: W, Mo, нержавеющие стали. Материал основы КПС должен иметь хорошую совместимость с жидким литием: высокую коррозионную стойкость при рабочих режимах на установках термоядерного синтеза, а также при температурах технологической подготовки вакуумной камеры; нечувствительность к охрупчиванию жидким металлом; стойкость к радиационным повреждениям; хорошую смачиваемость жидким металлом; хорошую теплопроводность; высокие объемные и поверхностные коэффициенты пористости; минимальный размер структурных элементов основы КПС.

Имеющаяся технология изготовления КПС требует дальнейшего развития с точки зрения оптимизации материала основной матрицы, в которую заключен жидкий литий. Важно определить технологические процедуры изготовления литиевых КПС с новым, ранее не применяемым материалом матрицы, таким как карбоновая ткань с синтезированными на поверхности волокон углеродными нанотрубками.

В данной работе описана технология изготовления литиевой КПС на основе углеродной ткани, армированной УНТ, которая включала в себя следующий комплекс работ: создание экспериментального устройства для изготовления литиевых КПС; разработка и определение технологических процедур для заполнения матрицы КПС из углеродной ткани, армированной УНТ; изготовление исследовательского образца литиевой КПС на основе углеродной ткани, армированной УНТ; микроструктурные исследования и определение свойств исследовательского образца.

Работа выполнена в рамках грантового финансирования исследований Министерством образования и науки Республики Казахстан, договор № 4136/GF4.

ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ TiCrN НА СТАЛИ И ВЫСОКОНИКЕЛЕВОГО СПЛАВА 03X20H45M4БЧ

Сатпаев Д.А.<sup>1,2</sup>, Кислицин С.Б.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики Министерства энергетики РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан

Представлены результаты сравнительных исследований изменений структурно-фазового состава и морфологии поверхности покрытий TiCrN и высоконикелевого сплава 03X20H45M4БЧ (сталь ЧС-42), вызванных облучением альфа-частицами, моделирующими накопление трансмутантного гелия в конструкционных материалах ядерных реакторов при нейтронном облучении.

Титан-хром-азотные покрытия, обладающие высокими прочностными свойствами и коррозионной стойкостью, рассматриваются как перспективные материалы для защиты изделий ядерной техники от ионизирующих излучений [1]. Разработанная в 80 годах сталь ЧС-42, создавалась как конструкционный материал ядерных реакторов, обладающей более низкой степенью распухания при нейтронном облучении по сравнению со сталью 12X18H10T [2]. В данной работе проведены сравнительные исследования изменений структуры и формирования газовой пористости при облучении низкоэнергетическими альфа-частицами.

Титан-хром-азотные покрытия наносились на поверхность подложки из углеродистой стали (< 0.2 вес. % С) методом вакуумно-дуговой конденсации с ионной бомбардировкой (КИБ). Подложки представляли собой диски диаметром 15 мм и толщиной ~ 1 мм. В результате была получена серия образцов с TiCrN покрытиями толщиной 50-150 нм.

Образцы высоконикелевого сплава 03X20H45M4БЧ представляли собой пластины размерами 15×15×1 мм, приготовленные прокаткой с последующим гомогенизирующим отжигом при 800 °С в течение 1 часа.

Облучение двухзарядными ионами гелия с энергией 40 кэВ выполнялось на низкоэнергетическом канале (канал ЭЦР источника) ускорителя тяжелых ионов ДЦ-60 Астанинского филиала ИЯФ. Флюенс облучения варьировался от 10<sup>16</sup> ион/см<sup>2</sup> до 10<sup>18</sup> ион/см<sup>2</sup>, температура облучения не превышала 200 °С.

Морфология поверхности изучалась методами растровой электронной микроскопии (РЭМ) на микроскопе JSM-7500F (фирмы JEOL) с энергодисперсионным рентгеновским микроанализом (ЭДРА) и атомно-силовой микроскопии (АСМ) на сканирующем нанотвердомере «Наноскан-Компакт». Рентгеноструктурный анализ (РСА) выполнялся на диффрактометре D8 ADVANCE фирмы BRUKER с использованием медного излучения с монохроматором на дифрагированном пучке в геометрии съемки Брега-Брентано.

Исследования выполненные описанными выше методами показали, что в стали ЧС-42 имплантация альфа-частиц с энергией 40 кэВ не приводит к стимулированному облучением частичному переходу исходной  $\gamma$ -структуры аустенита с ГЦК решеткой в  $\alpha$ -структуру мартенсита с ОЦК решеткой, как это наблюдалось нами для стали 12X18H10T [2]. Для сформированных методом конденсации с ионной бомбардировкой покрытий TiCrN облучение низкоэнергетическими альфа-частицами в интервале флюенсов 10<sup>16</sup> – 10<sup>17</sup> ион/см<sup>2</sup> также не приводит к фазовым переходам с изменением типа кристаллической решетки.

В то же время облучение низкоэнергетическими альфа-частицами флюенсом > 5·10<sup>17</sup> ион/см<sup>2</sup> инициирует формирование в приповерхностной области стали ЧС-42 наполненных гелием пузырьков, проявляющихся на поверхности в виде выступов сферической формы. При флюенсе альфа-частиц 10<sup>18</sup> ион/см<sup>2</sup>, газонаполненные пузырьки раскрываются, вызывая шелушение поверхности. Облучение низкоэнергетическими альфа-частицами покрытий TiCrN в том же интервале флюенсов 10<sup>16</sup> – 10<sup>17</sup> ион/см<sup>2</sup> не приводит к блистерингу и шелушению поверхности. Более высокая по сравнению со сталью 12X18H10T стойкость покрытий TiCrN, по-видимому, является следствием высокой прочности соединения TiCrN.

1. Uglov V.V., Rusalski D.P., Zlotski S.V., Sevriuk A.V., Abadias G., Kislitsin S.B., Kadyrzhhanov K.K., Gorlachev I.D., Dub S.N.// Surface & Coatings Technologies - Vol. 204, 2010, pp. 2095 – 2098.
2. Паршин А.М. Структура, прочность и радиационная повреждаемость коррозионно-стойких сталей и сплавов. Челябинск: Металлургия, 1988. – 656с.
3. Кислицин С.Б., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Озерной А.Н., Сатпаев Д.А., Тулеушев Ю.Ж. // Вопросы атомной науки и техники. Сер. физика радиац. поврежд. и радиац. материаловед. – 2013. – №2 (84). – С.17-22.

О СТРУКТУРЕ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$

Нуритдинов И., Эсанов З.У., Саудахмедов К.Х.

Институт ядерной физики АН Республики Узбекистан, г.Ташкент  
[izzatilloh@yahoo.com](mailto:izzatilloh@yahoo.com)

Кристаллы оксиортосиликата лутетия  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  (LSO) имеют моноклинную структуру, ионы Lu занимают два кристаллографически независимых положения с координационными числами по кислороду 6 и 7 соответственно [1, 2]. Активированные церием кристаллы  $\text{LSO}:\text{Ce}$  являются одним из перспективных сцинтилляционных материалов для позитронно-эмиссионной томографии и другого медицинского оборудования, и поэтому исследования оптических, спектрально-люминесцентных, кинетических и радиационных характеристик данного материала находятся под пристальным вниманием исследователей [3-6]. Ионы  $\text{Ce}^{3+}$  в  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}^{3+}$  заменяют ионы  $\text{Lu}^{3+}$ , спектры поглощения, люминесценции и возбуждения люминесценции в основном обусловлены двумя типами активаторных  $\text{Ce}^{3+}$ - (так называемых Ce1- и Ce2-) центров. Центру Ce1 приписываются полосы люминесценции с максимумами 393 и 422 нм, которые возбуждаются на полосах 210, 262, 294 и 345 нм, в то же время полосу люминесценции с максимумом 462 нм и ее полосу возбуждения 323 и 376 нм – относят к центру Ce2 [4-6]. В настоящее время нет единого мнения о локальной структуре этих центров. Целью данной работы является экспериментальное установление структуры этих центров.

Исследованные номинально-чистые и легированные церием кристаллы  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  были выращены методом Чохральского индукционным нагревом, с использованием иридиевых тиглей, в инертной атмосфере. Концентрация церия в активированных кристаллах составляла примерно 0,1 ат.%. Кристаллы облучались гамма-лучами источника  $^{60}\text{Co}$  дозами  $10^5$ - $10^8$  рад и нейтронами реактора ВВР-СМ с флюенсами  $10^{15}$ - $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>. Часть образцов отжигалась в восстановительной (с использованием порошкообразного графита) и окислительной (на воздухе) атмосферах при температурах 700 и 800°C в течение 1-4 ч. Были исследованы спектры оптического поглощения, люминесценции и возбуждения люминесценции образцов при комнатной температуре в спектральной области 200-800 нм.

Полученными результатами показано, что высокотемпературная окислительная обработка кристаллов  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  не приводит к существенному изменению оптических спектров. При облучении гамма лучами или нейтронами, а также при восстановительной термообработке кристаллов часть ионов кислорода уходит из семерного окружения в том месте, где он соединяется с кремний-кислородными тетраэдрами через общие ребра. Семерные окружения при этом превращаются в шестерные, создаются вакансии кислорода в кремний-кислородных тетраэдрах (полоса поглощения с максимумом 235 нм). Соответственно уменьшаются поглощение (полосы с максимумами в 262, 294 и 360 нм) и люминесценция (полосы с максимумом в 393 и 422 нм) Ce1-центров (т.е. ионов  $\text{Ce}^{3+}$  в семерном окружении по кислороду) и увеличиваются поглощение (полосы с максимумами в 323 и 376 нм) и люминесценция (полоса с максимумом в 462 нм) Ce2- центров (т.е. ионов  $\text{Ce}^{3+}$  в шестерном окружении по кислороду). Таким образом экспериментально подтверждается положение о том, что полосы поглощения с максимумами в 262, 294 и 360 нм и полосы фотолюминесценции с максимумами 393 и 422 нм в кристаллах  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  относятся к ионам  $\text{Ce}^{3+}$  в семерном окружении по кислороду - Ce1 центрам, а полосы поглощения в 323 и 376 нм и полоса фотолюминесценции с максимумом 462 нм относятся к ионам  $\text{Ce}^{3+}$  в шестерном окружении по кислороду - Ce2 центрам.

1. T. Gustafsson, M. Klintonberg, S.E. Derenzo, M. J. Weber, J. O. Thomas.  $\text{Lu}_2\text{SiO}_5$  by single-crystal X-ray and neutron diffraction. Act. Cryst. C, 57, 2001, pp. 668-669
2. Guohao Ren, Laishun Qin, Sheng Lu, Huanying Li. Scintillation characteristics of lutetium oxyorthosilicate ( $\text{Lu}_2\text{SiO}_5:\text{Ce}$ ) crystals doped with cerium ions. Nucl. Instr. And Meth. A531, (2004), 560-565
3. C.L.Melcher, J.S. Schweitzer. A promising new scintillator: cerium-doped lutetium oxyorthosilicate, Nucl. Instr. And Meth. A314, 212-214 (1992).
4. D.W.Cooke, B.L.Bennett, K.J.McClellan, J.M.Roper, M.T,Whittaker, A.M.Porter. Electron-lattice coupling parameters and oscillator strengths of cerium-doped lutetium oxyorthosilicate. Phys. Rev. B, 2000, 61, 11973.
5. H. Suzuki, T.A.Tombrello, C.L.Melcher, J.C.Schweitzer. UV and gamma-ray excited luminescence of cerium-doped rare earth oxyorthosilicates, Nucl. Instr. and Meth. A 320, 263-272 (1992).
6. H. Suzuki, T.A.Tombrello, C.L.Melcher, J.C.Schweitzer. Light Emission Mechanism of  $\text{Lu}_2(\text{SiO}_4)_0:\text{Ce}$ . IEEE Transactions on Nuclear Science, V.40, No. 4, (1993), p.380-383.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ВЗРЫВА

Олешко В.И.<sup>1</sup>, Плотников С.В.<sup>2</sup>, Тұрлыбекұлы А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет, 634050, г.Томск, пр.Ленина30, Российская Федерация

<sup>2</sup>Восточно-Казахстанский государственный технический университет имени Д.Серикбаева, 070004, ул. Серикбаева 19, г. Усть-Каменогорск, Республика Казахстан, [aturlybekuly@gmail.com](mailto:aturlybekuly@gmail.com)

В задачах, связанных с созданием взрывостойких конструкций для хранения и транспортировки объектов, содержащих токсичные, радиоактивные и взрывчатые материалы, или проведение в них испытаний, особенно важно знать поведение прочности материалов этих конструкций, в частности сталей различных марок в широком диапазоне давлений действующих на них ( $p=1\div 13$  ГПа) при скоростях деформации ( $\dot{\epsilon} = 10^3 \div 10^5$  с<sup>-1</sup>). Большое количество экспериментальных наблюдений установило взаимосвязь между ударноволновыми эффектами и пост-ударными микроструктурными параметрами для каждого материала при определенных условиях и характеристиках ударной волны. Повышение плотности дислокаций, точечные дефекты, деформационное двойникование, ударноспровоцированные фазовые переходы или мартенситные превращения ведут к увеличению пост-ударных механических свойств таких как: твердость, напряжение текучести. Высокоскоростные деформационные процессы приводят к локализации деформации, так называемым полосам адиабатического сдвига. Данные структурные образования являются источниками разрушения в процессе эксплуатации изделия. Энергия пластической деформации при высокоскоростном протекании процесса переходит в тепло, что является причиной термического разупрочнения и образования полос адиабатического сдвига.

Воздействие ударных волн давлением  $>13$  ГПа в низкоуглеродистых сталях делают возможными наблюдения фазового превращения железа  $\alpha(\text{ОЦК}) \rightarrow \epsilon(\text{ГПУ}) \rightarrow \alpha(\text{ОЦК})$ . Одиночная ударная волна создает давление порядка 13 ГПа, однако в области суперпозиции ударной волны давление может возрасти, провоцируя переходы, «остатки» которых могут наблюдаться в микроструктуре образца. На сегодняшний день, несмотря на многочисленные исследования природа явления, как локализация деформации в полосах адиабатического сдвига, до конца не ясна.

Новизна данной работы заключается в новом подходе постановки эксперимента с контактным применением малого количества взрывчатого вещества (~11mg), при условии наблюдения откольных явлений и полос адиабатического сдвига в стали. Целью настоящей работы является определение природы локализации деформации в полосах адиабатического сдвига и как следствия откольного разрушения и исследования механических свойств пост взрывного состояния. Проведено исследование процесса локализации деформаций в низкоуглеродистой стали при ударно-волновом нагружении взрывом. Определена глубина формирования ударной волны. Проведен расчет амплитуды давления на фронте ударной волны. Математическое моделирование проведено в программной среде COMSOL Multiphysics v.5.2a.

Установлено, что откольное разрушение наблюдается для образцов, где ударная волна выходила на свободную поверхность, тем самым происходила интерференция волн разгрузки. Откол происходил параллельно свободной поверхности на глубине ~ 400 мкм.

Обнаружено, что всех образцах наблюдается повышение микротвердости в два раза в области от 120 до 400 мкм и на ~25% по всей глубине образца. Увеличение твердости в два раза связано образованием мартенситной фазы, что подтверждается исследованиями микроструктуры. Выход ударной волны на свободную поверхность оказывает одинаковое воздействие на механические свойства образца. Глубина формирования фронта ударной волны, исходя из данных исследования микротвердости, не зависит от условий выхода ударной волны на свободную поверхность.

Образование полос локализованной деформации при импульсном нагружении, с точки зрения волновой механики, является результатом интерференции волн разгрузки. Причиной откольного разрушения является волны разрежения свободные поверхности. Таким образом, зарождение и рост трещин в образцах исследованных сплавов определяется условиями ударно-волнового нагружения: воздействием первичных и отраженных волн напряжения, свойствами материала образцов, их макро- и микроструктурой.

Моделирование формирования фронта ударной волны проведено с применением уравнений механики твердого тела, результат которых строго соответствует экспериментальным данным повышения микротвердости.

Причиной прироста твердости и других связанных механических свойств после воздействия высокоскоростной деформации ударной волной взрыва является пространственные изменения характеристики микроструктуры. То есть образованиями мартенситной фазы и адиабатических полос сдвига.



**ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОСРЕДСТВОМ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ**

*Полтавцева В.П.*

Институт ядерной физики Министерства энергетики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

В соответствии с техническими возможностями ускорительного комплекса ДЦ-60 (Астана, Казахстан) имеется широкий выбор тяжелых ионов и параметров облучения для радиационной модификации металлических материалов. Проведенные исследования структуры и свойств облученного тяжелыми ионами газовых элементов сплава на основе никелида титана [1-3], показали, что наиболее перспективным направлением для создания многослойной модифицированной структуры является применение тяжелых ионов инертных газов МэВ – энергий и с максимальными значениями заряда ионов и интенсивности тока пучка.

В работе представлены особенности изменений структуры и упрочнения сплава на основе никелида титана с эффектом памяти формы в зависимости от фазового состава и параметров облучения высокоэнергетическими ионами аргона, криптона и ксенона. При этом установлено, что:

- под воздействием ионов  $^{40}\text{Ar}^{8+}$ ,  $^{84}\text{Kr}^{15+}$  и  $^{132}\text{Xe}^{22+}$  в никелиде титана в двухфазном и однофазном состояниях формируется трехслойная модифицируемая структура с различной степенью упрочнения – поверхностный слой, приповерхностный слой (область проективного пробега  $R_p$ ) и запробезная область.

- упрочнение поверхностного слоя никелида титана в однофазном состоянии и его разупрочнение для двухфазного состояния после облучения ионами  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  и  $^{84}\text{Kr}^{15+}$  при сравнимых параметрах  $A/Z$ ,  $E/\text{нукл}$ ,  $\Phi$ ,  $J$ ,  $T$  связаны с преобладающим вкладом накопления наноструктурных дефектов и процессами распыления/ионной полировки поверхности, радиационно-стимулированным превращением  $B19' \rightarrow B2$  соответственно. Однако поверхностный слой никелида титана в двухфазном состоянии упрочняется в случае облучения ионами  $^{84}\text{Kr}^{15+}$  или  $^{132}\text{Xe}^{22+}$ , энергия которых меньше в 1,6 раз или сравнима с максимальной энергией ионами  $^{84}\text{Kr}^{15+}$ ;

- для приповерхностного слоя независимо от фазового состава никелида титана характерно упрочнение с максимумом вблизи поверхностного слоя, причем степень упрочнения в максимуме зависит от массы и энергии иона;

- упрочнение в запробезной области практически одинаково для никелида титана в двухфазном и однофазном состояниях при сравнимых параметрах облучения и уменьшается с уменьшением энергии иона;

- причиной упрочнения приповерхностного слоя и в запробезной области является образование радиационно-введенных наноструктурных дефектов (фаз);

- эффект памяти формы проявляется в виде мартенситных гистерезисов с повышенными температурными параметрами, эволюция которых зависит от массы и энергии иона.

Выявленные особенности необходимо учитывать при модификации никелида титана посредством ионной имплантации и практическом использовании модифицированных сплавов на основе никелида титана.

1. Poltavtseva V.P., Kislitsin S.B., Satpaev D.A. et al. Feature of radiation damage of Ni-Ti alloy under exposure to heavy ions of gaseous elements. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2015. – V.81. – P.01234.
2. Poltavtseva V., Larionov A., Satpaev D., Gyngazova M. Radiation hardening of Ni-Ti alloy under implantation of inert gases heavy ions. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – V.110. – P.012011.
3. Полтавцева В.П., Кислицин С.Б., Гынгазов С.А. Влияние термического отжига на структурно-фазовые изменения в сплаве Ni-Ti, имплантированном ионами криптона. // Известия ВУЗов. Физика. – 2016. – Т.59, №2. – С.3-9.

**ЭРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА И БЕРИЛЛИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА**

*Рахадиллов Б.К., Скаков М.К.*

Филиал «Институт атомной энергии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Одной из ключевых задач в создании термоядерного реактора на основе токамака является выбор обращенных к плазме материалов, которые должны противостоять как стационарному плазменно-тепловому воздействию, так и интенсивному импульсному [1]. Процессы повреждения поверхности материалов при воздействии потоков плазмы определяются, прежде всего, теплофизическими свойствами самого материала, а именно: коэффициентом температуропроводности, температурами плавления и кипения. Однако существуют и значительные различия, вызываемые широким фронтом воздействия, завихрениями потока нанеровностях и выступах облучаемых деталей и узлов, а также эффектом внедрения ионов плазмы в материал. Все это приводит к эрозии, образованию специфических поверхностных структур и модифицированного приповерхностного слоя [2, 3]. При этом, характер эрозии материалов существенным образом зависит от рабочего диапазона температур и параметров плазменного пучка.

В настоящей работе исследованы изменения структуры и эрозия поверхности вольфрама и бериллия при воздействии стационарного плазменного потока. Облучение образцов водородной, гелиевой и дейтериевой плазмой было проведено на установке плазменно-пучкового разряда, представляющей собой генератор стационарной плазмы, в котором для получения плазмы используется пучково-плазменный разряд. В настоящей работе, в соответствии с поставленными задачами, в качестве материалов исследования был выбран вольфрам марки ВЧ и бериллий марки ТГП-56, с учетом интереса к применению этих материалов в термоядерных системах. Образцы в виде цилиндра диаметром 10 мм и высотой 5 мм, были вырезаны на электроэрозионном станке. Облучение образцов вольфрама осуществлялось водородной плазмой с энергией ионов 1,5-2 кэВ. Во время облучения давление в камере составило  $2 \times 10^{-3}$  Тор. В качестве рабочего газа использовался водород, гелий и дейтерий. Эрозия поверхности вольфрама оценивалась изучением топографии и микроструктуры поверхности, а также взвешиванием образцов до и после облучения. Исследование микроструктуры образцов вольфрама до и после облучения проводили при помощи оптического микроскопа OLIMPUS BX41M и растрового электронного микроскопа JSM-6390. Для выявления микроструктуры вольфрама и молибдена использовалось химическое травление в растворе, содержащей 50% плавиковой кислоты и 50% азотной кислоты. Топография и шероховатость поверхности изучались на трехмерном бесконтактном профилометре «MicroMeasure 3D Station».

Установлено, что при облучении на поверхности наблюдается изменение поверхности как развитию рельефа в результате неоднородного травления поверхности. При этом степень изменения рельефа и структуры поверхностного слоя облученных образцов зависит от температуры облучения. Металлографический анализ показал, что при облучении образцов вольфрама при  $T=1000$  и  $1500^\circ\text{C}$  степень развития рельефа невысокая по сравнению с образцом вольфрама, облученных при  $T=700^\circ\text{C}$ . Однако, на этих образцах наблюдаются мелкие трещины, при этом с ростом температуры до  $1500^\circ\text{C}$  размер и количество трещин увеличивается. Определено, что после облучения водородной плазмой изменяется шероховатость поверхности в зависимости от температуры облучения. Наибольшее увеличение шероховатости наблюдается у образцов, облученных при  $T=1500^\circ\text{C}$ , что связано с образованием мелких трещин на поверхностном слое. Полученные результаты показали, что с увеличением температуры мишени и энергии ионов увеличивается степень эрозии поверхности. В силу своих теплофизических свойств заметная эрозия вольфрама в результате облучения стационарным плазменным потоком, наступает только при относительно высоких температурах мишени.

Микроструктурные исследования образцов бериллия показали наличие в исходном состоянии микропор незначительного размера и малого количества, расположенных преимущественно на границах зерен. Облучение бериллия плазменным пучком ведет к увеличению размера пор и их объемной плотности. Определено, что эволюция микроструктуры бериллия после облучения стационарным плазменным потоком значительна, в частности диаметр пор возрос с  $\sim 1$  мкм до  $\sim 10$  мкм. Металлографические снимки поверхности бериллиевого образца, облученного дейтериевой плазмой, характеризуются менее выраженной пористостью по сравнению с поверхностью, облученной водородной плазмой.

1. Loarte A., Saibene G., Sartori R. et al. Transient heat loads in current fusion experiments, extrapolation to ITER and consequences for its operation // Physica Scripta. 2007. V. 2007. Issue T128. P. 222 - 228.
2. Pitts R.A. et al. — J. of Nuclear Materials, 2011, vol. 415, S957.
3. Позняк И.М., Климов Н.С., Подковыров В.Л. и др. - ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез, 2012, вып. 4, с 23-33

**МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ X16H11M3 – МАТЕРИАЛА  
ОТРАБОТАВШИХ ЧЕЛОВ ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК РЕАКТОРА БН-350**

*Цай К.В., Максимкин О.П., Рофман О.В., Тиванова О.В., Турубарова Л.Г.*

Институт ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан

Использование аустенитной нержавеющей стали X16H11M3 (и ее американского аналога AISI 316) в качестве конструкционного материала активных зон ядерных реакторов обусловлено ее значительной стойкостью к структурно-фазовым изменениям, радиационному набуханию и коррозии. Сталь X16H11M3 успешно эксплуатировалась в качестве материала защитных шестигранных чехлов тепловыделяющих сборок (ТВС) в реакторе БН-350, и продолжает использоваться как материал внутрикорпусных устройств в реакторах на быстрых нейтронах БН-600 и БН-800.

В работе представлены результаты сравнительных материаловедческих исследований образцов стали X16H11M3, вырезанных из стенок чехлов отработавших ТВС реактора БН-350 Н-214(2), №2, В-300, В-337, ЦЦ-197. Исследованные образцы облучались нейтронами в широком диапазоне повреждающих доз и температур облучения: 0.12 – 23 сна, 280 – 370°С.

Проведен металлографический анализ структуры облученной стали X16H11M3 с различным уровнем радиационного повреждения. Показано, что с ростом дозы и температуры облучения характеристики материала чехлов существенно изменялись. Первичная однородная мелкозернистая структура эволюционировала за время эксплуатации в структуру с заметным разбросом зерен по размерам и преимущественной вытянутостью зерен вдоль оси ТВС. Методом просвечивающей электронной микроскопии исследована микроструктура и фазовый состав облученных образцов. Определен уровень вакансионного набухания стали, тип и количественные характеристики радиационных дефектов.

Проведены механические испытания стальных образцов на одноосное растяжение при комнатной температуре. Получены диаграммы растяжения в координатах « $\sigma - \varepsilon$ », определены характеристики прочности и пластичности облученной стали. Показано, что с увеличением дозы нейтронного облучения пределы текучести и прочности стали возрастают и достигают насыщения при дозах выше 1сна. Равномерная деформация монотонно уменьшается с повышением дозы нейтронного облучения, тогда как полная деформация демонстрирует как ожидаемое снижение с ростом радиационного повреждения, так и аномально высокую пластичность на отдельных образцах.

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ С МАГНИТНЫМ  
УДЕРЖАНИЕМ**

*Сексембаев Ж.Б., Сахиев С.К.*

Евразийский Национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

Традиционный вид топлива в термоядерных установках с магнитным удержанием содержит D и T изотопы водорода [1]. Обеспечение оптимальной топливной и конструкционной конфигурации для эффективного энергетического выделения установок является главной задачей проблем энергетики. Одним из ядерно-физических факторов, определяющим эффективность горения топлива, является общий энергетический баланс системы, определяемый на основе сравнения выделяемой мощности термоядерных реакций синтеза и мощности радиационных потерь [2]. Эти величины зависят от парциальных плотностей компонент топлива. Эффективным представляется горение плотной термоядерной плазмы, в которой вещество находится в полностью ионизованном состоянии. В таком состоянии некоторые из видов существующих радиационных потерь погашены [3].

В данной работе проведены расчеты по определению оптимального количественного отношения топливных компонент термоядерного DT топлива. Рассмотрена также картина энергетического выделения при горении термоядерного DD топлива представляющего собой частный случай DT смеси. Установлено, что наличие изотопов T в топливе повышает эффективность. Это обусловлено тем, что большой энергетический вклад дает альфа-частица, получаемая из основного экзотермического канала реакции  $D+T \rightarrow n+{}^4\text{He}$  с энергией 3,52 МэВ. Найдено оптимальное количественное соотношение D и T компонент топлива.

1. Ворончев В.Т., Кукулин В.И. Ядерно-физические аспекты УТС. // Ядерная физика, 2000, Т.63, №12, с.2147-2162.
2. Баско М.М. Физические основы инерциального термоядерного синтеза. // Москва: НИЯУ МИФИ, 2009, стр. 172.
3. Котельников И.А., Ступаков Г.В. Лекции по физике плазмы: Учеб.пособие для студентов физического факультета НГУ // Новосиб.ун-т. Новосибирск, 1996. 136 стр.

МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Fe-Co И Fe-Ni НАНОТРУБОК В ПОЛИМЕРНЫХ ИОННО-ТРЕКОВЫХ МЕМБРАНАХ

Русаков В.С.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>2,3</sup>, Козловский А.Л.<sup>2,3</sup>, Здоровец М.В.<sup>2,3</sup>, Фадеев М.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва (Россия)

<sup>2</sup>Институт ядерной физики Республики Казахстан, Алматы (Казахстан)

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана (Казахстан)

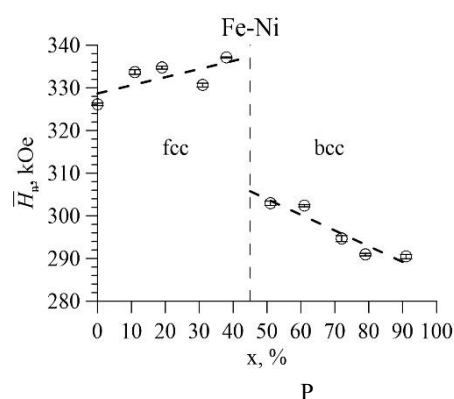
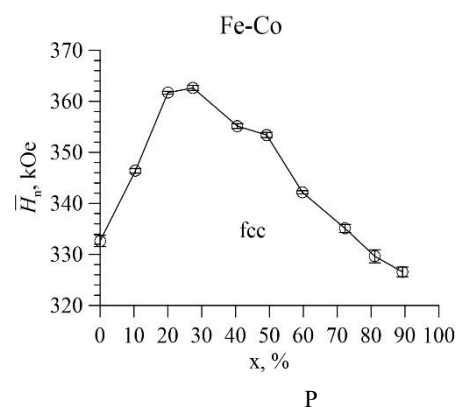
Методами мессбауэровской спектроскопии с привлечением данных растровой электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа и рентгеновской дифрактометрии исследованы железо-кобальтовые и железо-никелевые наноструктуры, синтезированные в полимерных ионно-трековых мембранах. Основная часть полученных наноструктур представляет собой с высокой степенью поликристалличности  $Fe_{1-x}Co_x$  ( $0 \leq x < 1$ ) нанотрубки с ОЦК структурой и  $Fe_{1-x}Ni_x$  нанотрубки с ОЦК структурой для  $0 \leq x \leq 0.4$  и с ГЦК структурой для  $0.5 \leq x \leq 0.9$ . Длина всех нанотрубок составляла 12 мкм, внешний диаметр –  $110 \pm 5$  нм и толщина стенки –  $20.0 \pm 0.3$  нм.

Для Fe нанотрубок наблюдается случайное распределение направлений магнитных моментов атомов Fe, а для Fe-Co и Fe-Ni нанотрубок – магнитная текстура вдоль оси нанотрубок. Среднее значение угла между магнитным моментом и осью нанотрубок уменьшается с увеличением концентрации Co и Ni. Для Fe-Co нанотрубок вплоть до  $24.5^\circ$ , а для Fe-Ni нанотрубок с ОЦК структурой до  $\sim 40^\circ$ , и с ГЦК структурой до  $\sim 46^\circ$ .

Концентрационные зависимости сверхтонких параметров мессбауэровских спектров исследованных нанотрубок согласуются с данными для массивных поликристаллических образцов. Среднее значение сверхтонкого магнитного поля на ядрах  $^{57}Fe$  возрастает с ростом концентрации Co от  $\sim 330$  кЭ до  $\sim 362$  кЭ при  $x = 0.30$  структуры и затем убывает до  $\sim 327$  кЭ при  $x = 0.90$  (см. рис. 1). В Fe-Ni нанотрубках среднее значение сверхтонкого магнитного поля возрастает с ростом концентрации Ni от  $\sim 328$  кЭ до  $\sim 338$  кЭ для ОЦК структуры, скачком уменьшается до  $\sim 305$  кЭ при переходе к ГЦК структуре, и в дальнейшем убывает до  $\sim 290$  кЭ при  $x = 0.90$  (см. рис. 2).

Замещение атома Fe на атом Co или Ni в ближайшем окружении атома Fe в ОЦК структуре приводит к заметному увеличению сверхтонкого магнитного поля на ядрах  $^{57}Fe$  на  $8 \div 12$  кЭ. Для Fe-Ni нанотрубок с ГЦК структурой замещение атома Fe на атом Ni приводит к уменьшению сверхтонкого магнитного поля на  $12 \div 16$  кЭ.

Выявлены два механизма изменения средних значений сверхтонкого магнитного поля и сдвига мессбауэровской линии с изменением концентрации атомов Co и Ni, обусловленные замещением атомов Fe атомами Co и Ni в ближайшем окружении атома Fe, и изменением расстояния между атомом железа и атомами его ближайшего окружения. Проведено разделение вкладов от двух выявленных механизмов.



## ПАРАМЕТРЫ ТЕРМАЛИЗАЦИИ БЫСТРЫХ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЕ

*Сексембаев Ж.Б., Баяхметов О.С., Азаматов А.А., Аманбек Н.Н., Сахиев С.К.*

Евразийский Национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

В плотной горячей термоядерной плазме составов  $D+D$ ,  $D+T$ ,  $D+^3\text{He}$  основные каналы ядерных превращений в качестве продуктов реакций производят энергичные частицы  $p$ ,  $T$ ,  $^4\text{He}$ ,  $n$  [1]. Высокоэнергичная ионная компонента, взаимодействуя с ядрами и электронами термоядерного вещества, подвержена торможению. При этом основной вид потерь обусловлен Кулоновскими столкновениями. Траектория движения энергичного иона в плотном горячем плазменном веществе при взаимодействиях с ядрами представляет собой плавную кривую из-за дальнедействующей природы Кулоновского взаимодействия. Расстояние, которое частица пройдет до момента прихода в тепловое равновесие с веществом плазмы из-за потерь энергии называют длиной термализации. Это происходит за время термализации. Знание этих ядерно-физических параметров позволит построению оптимальных схем термоядерных устройств.

В данной работе, произведены расчеты длин термализации с учетом значения удельных потерь энергии на единицу длины в зависимости от энергии [2, 3]. Результат получен путем прямого интегрирования, а также путем итерационных вычислений. Установлено, что значения длин термализации тем выше, чем выше температура плазмы. Кроме того с повышением начальной энергии быстрой частицы значение длины растет много быстрее. Аналогичным образом с использованием удельных потерь энергии на единицу времени рассчитаны значения времен термализации.

В литературе существуют данные по характеристикам длины-времени приведения энергичных ионов в тепловое равновесие с плазмой, рассчитанные путем учета частоты столкновений. В нашей работе проведен сравнительный анализ полученных результатов расчетов с литературными данными.

1. Ворончев В.Т., Кукулин В.И. Ядерно-физические аспекты УТС. // Ядерная физика, 2000, Т.63, №12, с.2147-2162.
2. Сивухин Д.В. Кулоновские столкновения в полностью ионизованной плазме. // Вопросы теории плазмы, вып.4, №5, 1964, стр. 81-187.
3. Butler S.T., Buckingham M.J. Energy Lost of a Fast Ion in a Plasma. // The Physical Review, Second series, Vol.126, No.1, 1962, 4 p.

## ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА ЛИТИЕВОГО ДИВЕРТОРА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОГО ТОКАМАКА КТМ

*Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Гордиенко Ю.В., Заурбекова Ж.А., Кульсартов Т.В., Барсуков Н.И.*

Институт атомной энергии Национального ядерного центра Республики Казахстан, Курчатов, Казахстан

Как известно, одной из серьезных проблем для создания ТЯР является выбор конструкционных материалов для изготовления обращенных к плазме внутрикамерных элементов, стабильно работающих при высоких тепловых и радиационных нагрузках.

Эксплуатация действующих на сегодняшний момент ТЯР показало, что применение таких материалов, как W, Be и C позволяет до некоторой степени решить эти проблемы, хотя и довольно сложными техническими приемами, требующими механической замены отработавших внутрикамерных элементов через определенное количество импульсов.

Очевидным шагом на пути решений вышеуказанных проблем является выбор материала, обращенного к плазме (ОПМ) с меньшим зарядом ядра Z. Проведенные работы на действующих токамаках, таких как T11-M (Троицк, Россия), FTU (Фраскати, Италия), NSTX (Принстон, США), EAST (Хэфэй, Китай), показали ряд преимуществ жидко-литиевых систем перед традиционными материалами. В большинстве случаев реализация преимуществ основана на использовании так называемой литиевой капиллярно-пористой системы (КПС) – принципиально нового материала, в котором жидкий литий за счет капиллярных сил стабилизирован в матрице из твердого пористого материала. Данный композитный материал в своем роде уникален, и эта уникальность обусловлена тем, что конструкция КПС, за счет сил капиллярного напора, обеспечивает достаточное давление жидкого лития в системе подпитки без приложения внешнего давления. Также система является самоудерживаемой и саморегулируемой, а поверхность литиевой КПС способна самовосстанавливаться в кратчайшие сроки после взаимодействия с высокотемпературной плазмой.

Однако, несмотря на увеличение количества проводимых исследований с жидким литием и литиевыми КПС на действующих в мире токамаках, большинство экспериментов проводятся не системно и вне специально

разработанных программ. Таким образом, в настоящее время имеется необходимость полномасштабной проверки концепции использования литиевых технологий на токамаке КТМ.

Основным направлением исследований по данной тематике является выполнение работ по испытанию созданного в филиале «Институт атомной энергии» макета литиевого дивертора (МЛД), с целью получения данных об оптимальных режимах работы литиевого устройства в условиях реальной работы токамака КТМ.

В данной работе приведено обобщение экспериментальных данных и проведен анализ полученных результатов. По результатам анализа были выработаны рекомендации по подготовке МЛД к экспериментам на токамаке, которые заключаются в следующем: для того чтобы привести в рабочее состояние МЛД после попадания атмосферных газов в вакуумную камеру необходимо проводить предварительный прогрев модуля до температуры порядка 400–450 °С. Такая процедура необходима для очистки лития находящегося в КПС от неметаллических примесей.

### КОМПТОНОВСКИЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ С ЭМИТТЕРОМ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ГАФНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР

*Улыбкин А.Л., Шляев Б.А., Ковтун К.В., Кутний В.Е., Рыбка А.В.*

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 61108, Харьков, Украина,  
a.ulybkin@gmail.com

Для увеличения эффективности эксплуатации ядерного реактора и уровня выгорания топлива необходимо выравнивание продольного и поперечного профилей энерговыделения активной зоны. При этом нужно контролировать коэффициент запаса до кризиса теплообмена активной зоны реактора, он должен быть минимальным относительно его допустимой проектной величины. Для этого предлагается заменить используемый в настоящее время в системе внутриреакторного контроля (СВРК) эмиссионный детектор нейтронов прямого заряда (ДПЗ) с эмиттером из родия на комптоновский детектор с эмиттером из металлического гафния и изоляцией между эмиттером и коллектором из  $\text{HfO}_2$ . Такой детектор обладает мгновенной реакцией на изменение плотности потока нейтронов в активной зоне реактора, это позволит одновременно усилить надёжность и безопасность эксплуатации реакторов различных типов – ВВЭР, CANDU, РБМК.

Природный гафний состоит из смеси стабильных изотопов с непрерывной последовательностью массовых чисел  $A = 176\text{--}180$ . В потоке тепловых и резонансных нейтронов в реакциях их радиационного захвата ( $n, \gamma$ ) происходит последовательное превращение атомов лёгких изотопов в тяжёлые с накоплением последнего изотопа  $^{180}\text{Hf}$ , который постепенно превращается в  $\beta$ -эмиссионный радиоактивный изотоп  $^{181}\text{Hf}$  ( $T_{1/2} = 42,4$  сут). Изотоп  $^{181}\text{Hf}$  в процессе радиоактивного  $\beta$ -распада и в реакции ( $n, \gamma$ ) превращается в изотопы Ta и W, накопление которых медленно, со скоростью  $\sim 3\%$  в год, изменяет элементный состав природного Hf. Это мало меняет уровень эмиссии  $\gamma$ -квантов, рождающих комптоновские и фотоэлектроны в  $\gamma$ -эмиссионном ДПЗ.

Используемый в настоящее время ДПЗ с эмиттером из  $^{103}\text{Rh}$  в тех же условиях выгорает со скоростью  $\approx 14,6\%$  в год, быстро теряя свою эмиссионную способность, что требует его непрерывной корректировки при работе в системе СВРК. С увеличением уровня энерговыделения и плотности потока нейтронов в активной зоне ядерного реактора родий выгорает ещё быстрее. Кроме того, родиевый  $\beta$ -эмиссионный ДПЗ реагирует на быстрое изменение плотности потока нейтронов в активной зоне ядерного реактора с задержкой на уровне 4–5 минут. Это связано с периодом полураспада его дочернего изотопа  $^{104}\text{Rh}$  ( $T_{1/2} = 42,3$  с), генерирующего электроны ( $\beta$ -распад) – источник сигнала детектора. Такое запаздывание сигнала затрудняет мгновенную реакцию СВРК на систему управления и защиты ядерного реактора для изменения режима работы реактора.

В докладе приведен подробный анализ процессов изменения плотности потока нейтронов при движении и поглощении в среде, особенности формирования сигнала электронно-эмиссионного ДПЗ с эмиттером из  $^{103}\text{Rh}$ , приведены предварительные результаты исследований  $\gamma$ -эмиссионного ДПЗ с эмиттером из металлического Hf.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ  
МОНОКРИСТАЛЛА ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ПОД СКОЛЬЗЯЩИМИ УГЛАМИ

<sup>1</sup> Умаров Ф.Ф., <sup>2</sup> Джурахалов А.А., <sup>3</sup> Мукашев К.М.

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>University of Antwerp, Antwerp, Belgium

Казахский Национальный университет имени аль Фараби, Алматы, Казахстан

Использование скользящих углов падения ионов на поверхность кристалла открывает новые перспективы в исследовании тонких слоев вещества, в частности, в исследованиях состава, структуры, топографии и потенциальных полей реальных поверхностей, при ионной модификации и контроле ионными пучками. В настоящей работе представлены, полученные методом компьютерного моделирования характерные особенности процессов ионного рассеяния, распыления и имплантации при скользящей низкоэнергетической ионной бомбардировке и их возможные применения для анализа и модификации монокристаллических поверхностей в тонкопленочной технологии и нанотехнологии. Рассматривались скользящие взаимодействия ионов  $N^+$ ,  $Ne^+$ ,  $Ar^+$ ,  $Kr^+$ ,  $Ve^+$  и  $Se^+$  с начальными энергиями  $E_0 = 0.5 \div 10 \text{ кэВ}$  с поверхностью  $Cu(100)$ ,  $Ag(110)$ ,  $Si(001)$ ,  $SiC(001)$ ,  $Cu_3Au(001)$  и  $GaAs(001)$  и образования первично выбитых атомов отдачи. Показано, что в области скользящего рассеяния упругие потери энергии рассеянных ионов существенно меньше, чем неупругие, что обусловлено особенностями траекторий скользящего рассеяния. Установлено, что сравнение энергий рассеянных ионов с экспериментально измеренными энергетическими распределениями позволяет сделать заключение о наличии и величине моноатомных ступенек, а также расстояний между ними на нарушенной ионной бомбардировкой поверхности монокристалла. Комплексно исследованы закономерности распыления поверхности одно- и двухкомпонентных монокристаллов и ионно-ударной десорбции адсорбированных атомов и молекул кислорода. Рассчитаны коэффициенты распыления и десорбции, а также угловые, пространственные и энергетические распределения распыленных и десорбированных частиц. Показано, что при скользящем падении ионов на поверхность монокристалла распыленный и десорбированный поток образуют первично выбитые атомы с очень низкой энергией и максимумом при  $E = 4 \div 5 \text{ эВ}$ . Показано, что при скользящей ионной бомбардировке возможна интенсивная не диссоциативная десорбция адсорбированных молекул. Рассчитаны пороги распыления по углу скольжения для одно- и двухкомпонентных кристаллов и их зависимости от массы, энергии бомбардирующих ионов и параметров структуры кристалла. Показано, что при скользящей ионной бомбардировке вдоль низкоиндексных направлений кристалла возможно послойное распыление поверхности монокристалла, оптимальное в узком интервале углов скольжения вблизи порогового угла распыления. На основе полученных оптимальных условий для послойного распыления предложен метод послойного анализа кристаллических поверхностей. Метод заключается в послойном распылении мишени путем бомбардировки ионами с последующим масс-анализом вторичных частиц. С целью повышения точности и чувствительности бомбардировку поверхности ионами осуществляют в диапазоне углов скольжения  $1 \div 5^\circ$  в диапазоне энергий, верхний предел которой ниже порога распыления атомов поверхности мишени вдоль нормальной составляющей их скорости. Исследована низкоэнергетическая ионная имплантация при бомбардировке под скользящими углами поверхности одно- и двухкомпонентных монокристаллов. Рассчитаны профили распределения внедренных частиц по глубине. Показано, что скользящая ионная бомбардировка приводит к формированию узких профилей внедрения примесей в приповерхностных слоях мишени, в частности, донорных и акцепторных примесей на малых глубинах в случае полупроводниковых мишеней. Определены оптимальные условия для получения распределения имплантированных ионов по глубине с требуемой формой в приповерхностной области ( $5 \div 10$  атомных слоев) кристалла. Отмечается, что компьютерное моделирование является не только эффективным дополнительным методом повышения информативности результатов эксперимента, но может иметь и самостоятельное значение для выявления новых механизмов процессов ионного рассеяния, распыления и десорбции простых молекул. Полученные результаты могут быть полезными для анализа и модификации поверхности в тонкопленочной технологии и ионной полировке монокристаллических металлических поверхностей.

## НЕСТАБИЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ОКРАСКИ В КВАРЦЕВЫХ СТЕКЛАХ ТИПА КИ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ

Файзуллаев Б.С., Исламов А.Х., Ибрагимова Э.М., Кудратов Х.Н.

Институт ядерной физики АН РУз, [fayzullaev@inp.uz](mailto:fayzullaev@inp.uz)

В большинстве экспериментов измерение оптических характеристик облученного материала проводится спустя достаточно большого промежутка времени после воздействия радиации. Поэтому нестабильные пары дефектов, создаваемые быстрыми радиационными процессами, успевают либо рекомбинировать, либо преобразоваться в стабильные дефектные состояния. Оптические спектры, измеренные после облучения, оказываются неполноценными, так как содержат информацию только о стабильных дефектах (пострадиационные эффекты). В связи с этим экспериментальная оценка радиационной оптической стойкости материалов в диагностических системах должна включать вклады не только стабильных радиационных дефектов, но и нестабильных центров окраски, которые возможно преобладают над стабильными в процессе воздействия радиации.

В настоящей работе были экспериментально получены оптические спектры образцов кварцевых стекол типа КИ в процессе и после воздействия моноэнергетического (14 МэВ) потока быстрых нейтронов  $10^9$  н/см<sup>2</sup>·сек от нейтронного генератора НГ-150. Для оптических измерений под пучком нейтронов был собран однолучевой спектрометрический комплекс, включающий измерительную ячейку [1].

В спектре оптических потерь необлученного образца не наблюдаются полосы поглощения (рис. 1, кривая 1). А в процессе воздействия нейтронного потока на образец появляются полосы поглощения 215, 240-250, 275, 340, 550-560 и 620 нм и интенсивности их увеличиваются с ростом флюенса нейтронов (рис. 1, кривая 2-5). После достижения поглощенного флюенса нейтронов  $1.1 \times 10^{14}$  см<sup>-2</sup> пучок нейтронов отключали и спустя 10 мин измеряли спектр (рисунок 1, кривая 6), где видно, что интенсивности полос поглощения 215, 248 и 275 нм на ~ 20% и 550 нм уменьшались на ~ 30 % по сравнению с последним измерением до отключения (рис. 1, кривая 5). Разница между спектрами 5 и 6 в двух областях поглощения 200-250 нм и 480-620 нм соответствует вкладу нестабильных центров окраски от первичных пар собственных дефектов (вакансия кислорода – немостиновый кислород), которые возникают в процессе воздействия быстрых нейтронов. Это известные полосы 215 нм – заряженный электронный E<sup>2</sup>-центр, 250 нм – нейтральная вакансия кислорода, 340 нм – примесный электронный центр 2-координированный алюминий, 540 нм – примесный алюмодырочный центр, 275 и 620 нм – дырочный центр немостиновый атом кислорода (НАК). Уменьшение потерь в области 640-650 нм обусловлен свечением 650 нм дырочных центров НАК.

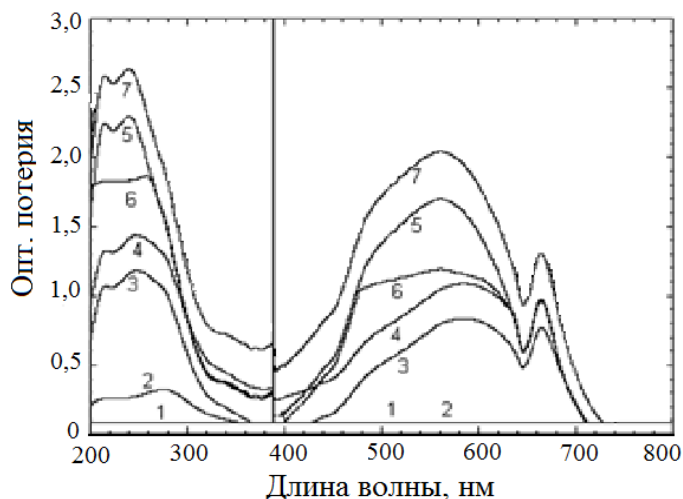


Рисунок 1 – Спектры оптических потерь, сканированные комплексом на базе НГ-150: необлученного кварцевого стекла типа КИ (1), в процессе облучения нейтронами НГ-150 до поглощенных флюенсов:  $2.7 \times 10^{13}$  (2),  $5.4 \times 10^{13}$  (3),  $8.1 \times 10^{13}$  см<sup>-2</sup> (4) и  $1.1 \times 10^{14}$  см<sup>-2</sup> (5), через 10 мин после выключения пучка по достижении флюенса  $1.1 \times 10^{14}$  см<sup>-2</sup> (6), через месяц после облучения флюенсом  $10^{16}$  см<sup>-2</sup> в реакторе (7).

Авторы благодарят И. Нуриддинова за полезные дискуссии. Работа выполнена по гранту № АЗ-ФА-Ф126. 1.Исламов А.Х., Каланов М., Нуриддинов И., Файзуллаев Б.С., Эсанов З.У., Хайитбоев И.А. Измерительная ячейка спектрометра // Патент - Агентство по интеллектуальной собственности РУз, № FAP 01008, 2015 г.



## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И АРГОНА НА ПРОЦЕССЫ ДЕСОРБЦИИ ГАЗОВ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИТТРИЕМ (YSZ)

Хромушин И.В., Аксенова Т.И., Тусеев Т.Т.

РГП ИЯФ РК, Алматы, Казахстан

Модификация свойств твердооксидных электролитов ионными пучками привлекает к себе в настоящее время большое внимание в связи с возможностью управления их электрическими, оптическими, магнитными и другими характеристиками. YSZ является перспективным материалом для использования в различных электрохимических устройствах, поэтому изучение влияния ионных пучков на структуру и свойства данного электролита представляет собой актуальную задачу.

В работе представлены результаты исследования влияния облучения ионами кислорода и аргона с энергией 40 и 100 кэВ, соответственно, на процессы десорбции газов из образцов YSZ следующих составов: 1 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (3 мол. %), 2 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (10 мол. %) и 3 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (15 мол. %). Перед облучением образцы отжигали на воздухе при температуре 830°C в течение 8 часов. Исходные образцы состава 1 характеризовались тетрагональной симметрией, с пространственной группой P42/nmc, тогда как образцы составов 2, 3 – кубической структурой типа флюорита, с пространственной группой Fm-3m.

Расчеты, выполненные с помощью программы SRIM 2013, показали, что пробеги ионов  $O^+$  и  $Ar^+$  в YSZ составляли 653 и 680 Å, а на каждый ион кислорода и аргона образовывалось 279,1 и 844 вакансий, соответственно. Облучение YSZ было выполнено с двух сторон на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60, интегральный флюенс облучения составил  $10^{18} \text{ см}^{-2}$ .

Термодесорбционные исследования необлученных образцов YSZ показали, что количество десорбированной воды и диоксида углерода растет с уменьшением концентрации  $Y_2O_3$ .

Облучение YSZ ионами аргона приводило к трансформации ТД спектров  $CO_2$ , что проявлялось в изменении формы спектров и увеличении количества десорбированных молекул  $CO_2$ . Следует отметить, что количество  $CO_2$ , десорбированного из облученной керамики возрастало с ростом концентрации допанта. Кроме того, при температуре около 570°C на облученных образцах наблюдался резкий пик выхода  $CO_2$ , по форме напоминающий фазовый переход. Облучение YSZ ионами аргона также приводило к росту выхода молекул воды, при этом количество вышедшей воды увеличивалось с ростом концентрации  $Y_2O_3$ . Также в спектрах ТД облученных образцов наблюдали выход  $Ar$  ( $m/e=40$ ), причем максимум скорости десорбции соответствовал температуре ~ 400°C, а сам выход был обусловлен, по-видимому, распадом  $Ar_nV_m$  комплексов.

Сравнение ТД спектров молекул  $CO_2$  из образцов YSZ, облученных ионами  $O^+$  и  $Ar^+$ , позволило сделать вывод, что облучение YSZ ионами кислорода также приводит к существенному росту выхода  $CO_2$  из данного материала по сравнению с необлученной керамикой, а формы спектров в обоих случаях качественно схожи (рис. 1а).

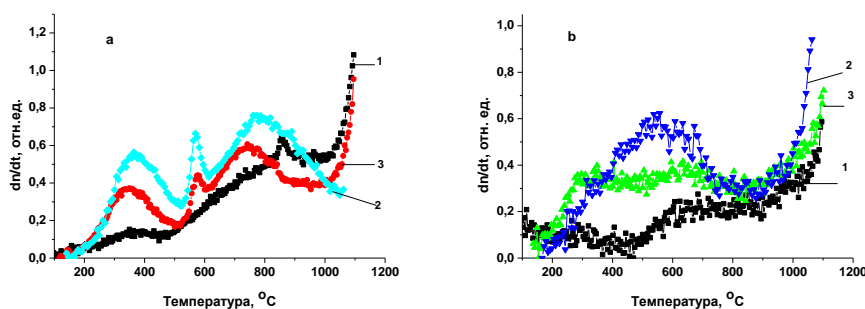


Рисунок 1 – Спектры выхода  $CO_2$  (а) и  $H_2O$  (б) из образцов состава  $ZrO_2 + 10\% Y_2O_3$ :  
1 – необлученный образец; 2 – облученный ионами  $Ar^+$ ; 3 – облученный ионами  $O^+$

Следует отметить, что формы спектров термодесорбции воды из образцов, облученных ионами аргона и кислорода отличались: в случае ионов аргона наблюдался один широкий пик (560°C), тогда как в случае облучения ионами кислорода этот пик раздваивался (300°C и 650°C), что свидетельствует о присутствии энергетически неэквивалентных OH-групп (рис. 1б).

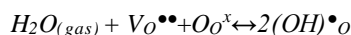
Работа выполнена при поддержке МОН РК (проект 0378/ГФ4).

К ВОПРОСУ О СМЕШАННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ Ce(III/IV) В BaCeO<sub>3</sub>

Хромушин И.В., Рухин А.Б., Аксенова Т.И.

РГП ИЯФ РК, Алматы, Казахстан

Твердооксидные ионные проводники являются перспективными материалами при использовании в таких электрохимических устройствах, как газовые анализаторы, насосы и топливные ячейки для водородной энергетики. В качестве рабочего электролита в таких устройствах могут быть использованы протонные проводники на основе цератов бария или стронция, которые характеризуются высокой протонной проводимостью. Для придания им свойств протонной проводимости необходимо частичное замещение четырехвалентного церия трехвалентными катионами редкоземельных элементов. При этом в материале образуются вакансии  $Vo^{\bullet\bullet}$  в кислородной подрешетке. При контакте с влагой, происходит интеркаляция протонов в решетку церата в соответствии со следующим квазихимическим уравнением:



В ряде работ, например, в работе Ю.М. Байкова, было замечено, что часть церия в BaCeO<sub>3</sub> имеет степень окисления +3, что также приводит к интеркаляции водорода в решетку церата. Эксперименты, проведенные нами, также указывают на присутствие водорода в недопированных цератах бария.

В данной работе были предприняты попытки выявить наличие катиона Ce<sup>3+</sup> в решетке недопированного церата бария методом ЭПР. Спектры ЭПР сняты на спектрометре ESP 300E фирмы «Брюкер» в диапазоне развертки поля 0.2Тл.

Известно, что церий состоит из 4 стабильных изотопов с ядерным спином I=0. Сверхтонкая структура (СТС) неспаренного электрона Ce<sup>3+</sup> – одиночная линия (синглет), g-фактор которой близок к 2.00, а линию ЭПР можно наблюдать при комнатной температуре.

Как и ожидалось, в образцах BaCeO<sub>3</sub> катион Ce<sup>3+</sup> генерировал супер сверхтонкие структуры (ССТС) при взаимодействии неспаренного электрона с магнитными ядрами соседних атомов. Их ориентации в магнитном поле расщепляли линию СТС на 2I<sub>J</sub>+1 линий, где I<sub>J</sub> – спин соседнего магнитного ядра. Два изотопа бария с одинаковым спином (I=3/2) и близкими магнитными моментами давали характерный спектр из четырех уширенных линий (квадруплет). По-видимому, атомарный водород (I=1/2) давал пару самых интенсивных линий спектра – дублет, причем линия в сильном поле была очень близка к собственной линии Ce<sup>3+</sup>.

Полученные экспериментальные данные указывают на присутствие Ce<sup>3+</sup> в недопированном церате бария. Наряду с этим замечено, что в недопированном образце церата бария, по-видимому, присутствует и водород.

Попытка исследования образцов церата бария, допированных катионами трехвалентных редкоземельных металлов методом ЭПР, не увенчалась успехом, поскольку допирование приводило к образованию широких линий ЭПР, и информация об отдельных спиновых системах в образце пропадала.

ОСОБЕННОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ В РЕАКТОРАХ БН-350 И ВВР-К

Цай К.В., Рофман О.В., Максимкин О.П., Рубан С.В., Нурғали Е.Е.

Институт ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан

Облучение нейтронами существенно влияет на структурно-фазовое состояние аустенитных сталей – конструкционных реакторных материалов, приводит к изменению их физико-механических свойств, вносит коррективы в характер эволюции дефектной структуры в ходе пластической деформации.

Известно, что дополнительное упрочнение, обусловленное образованием радиационных дефектов, способствует реализации в деформируемой аустенитной стали таких механизмов микролокализованной деформации, как дислокационное каналирование, двойникование, мартенситное  $\gamma \rightarrow \alpha'$  превращение. Развитие локализационных механизмов на ранних этапах деформации ведет к быстрому упрочнению в «шейке» с последующим хрупким разрушением. С ростом дозы нейтронного облучения прочностные характеристики материала возрастают до насыщения, а пластичность, как правило, падает.

Одной из возможностей сохранения повышенной пластичности стальных образцов, облученных нейтронами до высоких доз, является формирование волны пластической деформации, при которой на диаграмме растяжения наблюдается протяженное «плато», где напряжения течения сравнимы или несколько ниже предела прочности. Предполагается, что подобное поведение облученного материала связано с интенсивным выпадением  $\alpha'$ -мартенсита деформации во фронте «волны». Управлять величиной пластичности в облученных сталях можно,

подбирая особые условия деформации: температуру испытаний, скорость растяжения и пр. Однако, пока нет полной ясности, как именно протекает пластическая деформация в высокооблученных сталях, особенно в материалах, подверженных радиационному набуханию.

В работе исследовали образцы аустенитных сталей 12X18H10T и X16H11M3 – материалов шестигранных чехлов тепловыделяющих сборок реактора БН-350, облученных до различных повреждающих доз, и образцы сталей 12X18H9T и 12X18H10T, облученные в реакторе ВВР-К до флюенсов  $10^{19}$  –  $10^{20}$  н/см<sup>2</sup>. Плоские образцы деформировали по схеме одноосного растяжения со скоростями 0.5 и 0.05 мм/мин. Получены кривые деформационного упрочнения в координатах « $\sigma$  –  $\epsilon$ », определены характеристики прочности и пластичности облученных сталей. Методом просвечивающей электронной микроскопии проведено исследование изменений микроструктуры стальных образцов после облучения и деформации.

Изучены механизмы микролокализации деформации в облученных сталях, показано, что особенностью деформации образцов с высокой вакансионной пористостью является сильно локализованный характер пластического течения не только по длине образца и по его сечению, но и в пределах одного зерна. В полосе локализованного течения возможно образование дефектов упаковки, микродвойников, включений мартенситной  $\alpha'$ -фазы. Стадии деформации в высокооблученной стали не имеют четко выраженных границ по степени растяжения образца в отличие от материала, облученного малыми флюенсами нейтронов.

### **ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И РАЗРЯДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВАРИСТОРНЫЕ, ЭЛЕКТРЕТНЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР-SiO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>3</sub>**

*Фарадж-заде И.А.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143, г.Баку, ул. Б. Вагабаде, 9

Известно, что в качестве модифицирующих факторов, чаще всего используются радиационные и разрядовые излучения. Однако, необходимо отметить, что модифицирование материалов радиационным излучением во многом случае сопровождается ухудшением макроскопических характеристик материалов, в частности-полимеров. Причина заметного ухудшения свойств материалов, связана с тем, что радиационные излучения имеют большую энергию, приводящая к нарушению химических и физических структур. Если в качестве модифицирующего фактора использовать излучение газового разряда, то заметные нарушения химических и физических структур-не происходят. Это непосредственно связано тем, что энергия разрядового излучения не превышает 20-50эВ. Поэтому в данной работе излагаются результаты исследования по влиянию ионизирующих и разрядовых излучений на варисторные, электретные и физико-механические свойства полимеров.

При этом используются не только классические, макроскопические характеристики (механические и электрические времени жизни), но и нелинейные, электрические и поляризованные свойства композитов. Такой выбор параметров исследования связан с тем, что ионизирующие излучения по-разному влияют на вышеназванные свойства полимеров и композитов на их основе. Полученные результаты, позволяют сделать вывод о том, что радиационные излучения в основном разрушающие, а разрядовые излучения имеют модифицирующий характер. Так например, можно увеличивать коэффициент нелинейности вольтамперной характеристики композитного варистора, электретной разности потенциалов и повысить электрические и механические времени жизни исследуемых композитов.

## STRUCTURE AND PROPERTIES OF NITRILE-BUTADIEN RUBBER IN PRESENCE OF MODIFIED NANO ZINC OXIDE

Khankishieva R.F. <sup>1</sup>, Mammadov Sh.M. <sup>1</sup>, Ramazanov M.A. <sup>2</sup>, Akhundzada H.N. <sup>1</sup>, Abbasli A.A. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Radiation Problems, ANAS, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Baku State University, Baku Azerbaijan

[rena-namazova@yandex.ru](mailto:rena-namazova@yandex.ru)

NBR differ significantly greater tendency to cross-linking radiation, other than diene elastomers. Since it is cured valuable technical material can be obtained even when irradiated without additives.

Radiation-chemical synthesis of NBR in the homogeneous crosslinking, as a rule, complicated by the reactions of the polymer chains. Due to the fact that the unsaturated elastomer is NBR based on the ability of the polymer molecules in principle the radiation crosslinking is carried out using a fairly wide range of substances. NBR is a convenient object for studying the impact of nano-sized powders and DSCHB crosslinking agent that is active polar (Cl) and an aromatic group, which allows you to assess the impact of these groups on the parameter space grid and thermal radiation vulcanizates.

Polymeric nano composite materials were prepared in the presence of an additive of a nanoscale zinc oxide powder containing a crosslinker of benzene disulfo chloride and carbon black. Introduction of nanopowders zinc oxides causes an acceleration of the process of NBR crosslinking. The highest binding speed of nanocomposites and the greatest number of cross-links in the mixture is achieved by the introduction of benzene disulfo chloride.

For the irradiation of the samples were placed in a 1 g vial of glass beam and evacuated for hours before  $1,3 \times 10^{-1}$  Pa residual pressure. Radiolysis sealed ampoules of the samples performed  $\gamma$ -rays ( $^{60}\text{Co}$ ) at a power of 4.9 Gy / s at room temperature.

In all likelihood, their ability to polarize the double bond of both the polymer and the cross-linking agent, which leads to the formation of metal-containing polymeric nanocomposites characterized by a uniform, narrow dispersed distribution of ZnO nanoparticles 20-25 nm in the polymer matrix. At the same time, it should be noted that the activating ability of the ZnO nanopowder is influenced by the specific surface area.

The data obtained indicate that when the nanopowder ZnO is used together with technical carbon in the polymer, the mechanical properties of the nanocomposites. The reason for the increased strength can be as a large density of the polymer mesh, and the presence of transverse bonds of adsorption nature.

These effects of gamma irradiation on the nature of the radiation-chemical yield of crosslinking in nanocomposites are not large compared to thermal crosslinking.

The carried out researches allow to assert, that change of size of dielectric constant ( $\epsilon$ ) and dielectric loss ( $\text{tg}\delta$ ) depends on a density of a grid of nanocomposites of a specific surface of technical carbon, ZnO and an irradiation dose.

## RADIATION HARDENING OF CARBIDE FUEL ELEMENTS

*Deryavko I.I.*

Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan, e-mail: [ilya@nnc.kz](mailto:ilya@nnc.kz)

The report presents the results of experiments to study the state of carbide and carbide-graphite fuel elements from (Zr,Nb,U)C and (Zr,U)C+C under irradiation in helium ampoules of a research low flow reactor RA. The reasons and mechanisms of radiation hardening the carbide and carbide-graphite NRE FEs under conditions simulating the conditions of the energy mode of bimodal NRE are investigated. The causes and mechanisms of the radiation hardening of carbide and carbide-graphite fuel rods of a nuclear rocket engine (NRD) under conditions simulating the conditions of the bimodal NRD energy regime were investigated. The fuel elements were irradiated in a stream of thermal neutrons of the order of  $10^{12} \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  at temperatures from 800 K to 1800 K for about 5000 hours.

The results of long fuel rod tests in the reactor RA showed that the observed effect of athermal hardening of fuel elements is related to the intense impact of fission fragments on the structure of the sintered fuel material and stipulated with temporary prevalence of hardening processes of healing of initial technological defects under softening processes of occurring the radiation defects.

EFFECT OF GAMMA RADIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF  $Pb_{0.99}Mn_{0.01}Se$  EPITAXIAL FILM

Madatov R.S., Nadjafov A.I., Nuriyev H.R., Mamedov M.A., Mamishova R.M.

Institute of Radiation Problems of Azerbaijan NAS B. Vagabzadeh St., 9  
e-mail: rexsane@yandex.ru

Semiconductors include of  $A^{IV}B^{VI}$  group compounds have a unique interesting physical properties. The above semiconductor compounds and their solid solutions have been extensively used in devices of infrared technology operating in the wave length range of 3–5  $\mu m$ . In particular, they include epitaxial films of  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  solid solutions. The presence of ions of heavy metal elements (lead, tin) in the crystal lattice of semiconductors of this type provides the high radiation and thermal stability of the devices prepared on their basis.

In this work have been investigated electrical properties and effect of gamma radiation on this properties of  $Pb_{0.99}Mn_{0.01}Se$  epitaxial film. It's known that, investigation of Volt-Ampere characteristics (VAC), as well as dependence of electrical conductivity on temperature and intensity of electric field allows to get information about electrical properties, parameters of local levels existing in the prohibited zone and so on of semiconductor materials.

$Pb_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.01$ ) epitaxial film was prepared on glass substrates by molecular beam condensation at a pressure of  $10^{-4}$  Pa using UVN71- P3 standard vacuum system. As the source were used synthesized  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.01$ ) solid solutions. For exploring properties of  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  epitaxial films was used silver pie like contact material. A thickness of 3  $\mu m$  and distance between this contacts was 6 mm. After being the contacts were dried at room temperature for 24 hours. It have been identified that contacts are ohm.

VAC of  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  epitaxial film in the temperature range of 300 K and 125 K in the dark was studied. At a temperature of 300 K VAC was consisted of from the line parts (ohm part) by the estimate of  $E=1.67 \cdot 10^3$  V/m of intensity of electric field. In the estimates of  $E > 1.67 \cdot 10^3$  V/m (by the estimate of  $1.87 \cdot 10^5$  V/m) consist of a larger part ( $J \sim U^r$ ,  $r=1.2$ ) than the line. VAC in 125 K consist of a larger part ( $r=1.28$ ) than the line by the estimate of  $1.8 \cdot 10^5$  V/m of electric field intensity.

It have been investigated the dependence of current intensity on temperature in the various estimates of voltage (5V, 10V, 20V, 30V  $\nu$  40V). On the dependence of  $lg I \sim \frac{10^3}{T}$  was determined availability three local levels in the prohibited zone where activation energy is  $\Delta E_1 = 0.09$  eV,  $\Delta E_2 = 0.13$  eV,  $\Delta E_3 = 196$  eV. The estimate of activation energy

changes smaller and on dependence of  $lg I \sim \frac{10^3}{T}$ ,  $U=40$  V, the graphic consist of straight line where  $\Delta E_1 = 0.161$  eV.

In order to learn the effect of  $\gamma$ -radiation on electrical properties of  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  epitaxial film, after investigation of electrical properties of the initial sample, the sample was irradiated by  $\gamma$ -rays ( $E = 1.25$  MeV) with a  $^{60}Co$  isotope source at a temperature of 290K.

After irradiated by gamma rays in doses of  $D=10kQr$  the Volt-Ampere characteristics at a temperature of 300 K differs slightly of VAC of initial sample in that temperature. Interestingly, in this case strength estimate of the current is getting smaller than of the strenght of the current of initial sample. Then the estimate of the current intensity in the irradiated sample is getting larger than initial sample in the all voltages and increasing of the field intensity in the same voltages the difference between the initial and irradiated current intensities increases.

In the irradiated samples by gamma rays at a dose of 10kQr in temperature of 125K in the the same voltage strength of the current is getting larger about four times compared to the initial state. From the dependence strength of the current on the reverce was revealed that, after radiation in the range of temperature of 125-300K electrical conductivity in dark was increased in all voltages (5-40V) compared previous case of radiation. Summarizing of the obtained results can be noted that, electrical conductivity of the  $Pb_{1-x}Mn_xSe$  epitaxial film irradiated by gamma quanta less increase than initial sample at a temperature of 300K, it means that in this temperature they would be regarded resistant material. Increasing of the conductivity in low temperatures after radiation due to the fact that, defects as a result of gamma radiation are acceptor type defects and they are causing increase of conductivity.

## ВОЛЬТ АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАНО-SiO<sub>2</sub> ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ

*Мехтиева Р.Н., Гусейнов Е.М.*

Институт Радиационных Проблем НАНА, Азербайджанская Республика, г.Баку

В представленной работе была рассмотрена вольтамперная характеристика нано SiO<sub>2</sub> чистотой 99,5, удельной площадью поверхности 160м<sup>2</sup>/г, размером частиц 20 нм до и после нейтронного излучения.

Образцы для исследования были подвергнуты облучению нейтронов в городе Любляне республики Словении в институте Йозефа Стефана в «Реакторном центре» TRIGA Mark II исследовательского реактора типа легководного бассейна, в центральном канале (Канал А1) с плотностью потока нейтронов 2·10<sup>13</sup>н/см<sup>2</sup>сек в максимальном режиме 250 КВт.

В центральном канале реактора средняя энергия нейтронов совместимы с энергией эпитермальных нейтронов (E<sub>n</sub>=625 эв±0,1 Мэв).

Образцы SiO<sub>2</sub> изготавливались в виде таблеток под давлением 7 кН/см<sup>2</sup>, в размере 550 мкм в высоте и диаметром 5.5 мм в лаборатории «Физика тонких пленок и поверхностей» института Йозефа Стефана в специальном режиме, помещались в алюминиевые контейнеры в соответствующие каналы реактора и облучались.

Подготовленные образцы сначала были облучены пять минут и были проведены анализы активации.

Остальные 8 образцов выделенные на 4 группы облучались различные периоды времени по 1, 5, 10, 20 часов по отдельности в непрерывном режиме в плотности потока 2·10<sup>13</sup> н/см<sup>2</sup>сек. в центральном канале (Канал А1), в полном режиме мощности (250 Квт).

Из за высокой радиоактивности образцов после облучения, все измерения проводились 360 и 432 часов после облучения.

До и после облучения в особом режиме на поверхности образцов нанесено контакты из серебра и чистота контактов проверялось под микроскопом.

Затем вольтамперная характеристика образцов измерялось в лаборатории «Фотовольтаика и оптоэлектроника» в приборе “Keithley 238 High Current Source Measurement Unit” в диапазоне напряжений при через шагов 5в. Устройства управляется программой “LabView” и результаты по всем данным представлена графически по программе “OriginPro 9.0”.

Измерение вольтамперных характеристик была проведено при стабильном температуре и в диапазоне напряжений -100 в÷+100 в.

В ходе экспериментов было установлено, что в различных значениях воздействия нейтронов вольтамперная характеристика меняется.

С увеличением продолжительности воздействия нейтронного потока в вольтамперной характеристике нано материала наблюдается изменение в угле.

В то же время стало ясно, что ток текущая среда, с увеличением продолжительности действия потока нейтронов увеличивается пропорционально длительности воздействия.

## ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНО- ZrO<sub>2</sub> МЕТОДОМ ЭПР

*Агаев Т.Н., Иманова Г.Т.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143, г.Баку, ул. Б. Вагабзаде, 9

С целью изучения радиационных дефектов на поверхности нано-ZrO<sub>2</sub> (d=20÷30 нм) при разложении воды использован метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). При этом на поверхности нано-ZrO<sub>2</sub> выявлены 2 типа ЭПР сигналов - Zr<sup>3+</sup> вэ F<sup>·</sup>, из которых Zr<sup>3+</sup> имеют объемную, а F<sup>·</sup> поверхностную природу. Кроме этого, эксперименты показывают, что в зависимости от удельной поверхности интенсивность F<sup>·</sup> парамагнитных сигналов увеличивается, а Zr<sup>3+</sup> сигналов, наоборот, уменьшается.

С целью объяснения образования парамагнитных центров в системе нано-ZrO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O проведен анализ с помощью метода рентгеновской дифрактометрии (РД). Установлено, что на поверхности нано-ZrO<sub>2</sub> расстояние между атомами О и Zr находится в соотношении 1,7:1, что указывает на большое количество кислородных вакансий в составе нано-ZrO<sub>2</sub>. Эти кислородные вакансии могут быть разделены на 2 группы: поверхностные и объемные. Поверхностные вакансии настолько активны, что захватывают электроны, что способствует образованию F<sup>·</sup> центров. А ионы Zr<sup>4+</sup>, находящиеся в объеме, соседствуют с кислородными вакансиями и при захвате электронов превращаются в Zr<sup>3+</sup> ионы.

Из литературных источников последних лет выявлено, что при размере наночастиц d≤50нм F<sup>·</sup> парамагнитные сигналы исчезают, а интенсивность Zr<sup>3+</sup> сигналов увеличивается.

## ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ $\text{TlGaSe}_2$ ОБЛУЧЕННЫХ $\gamma$ -КВАНТАМИ

Самедов О.А.<sup>1</sup>, Алекперов О.З.<sup>2</sup>, Наджафов А.И.<sup>2</sup>, Самедов С.Ф.<sup>1</sup>, Габулов И.А.<sup>1</sup>, Мехтиева Н.<sup>3</sup>, Гусейнов Э.М.<sup>1</sup>, Надирова Х.Б.<sup>1</sup>

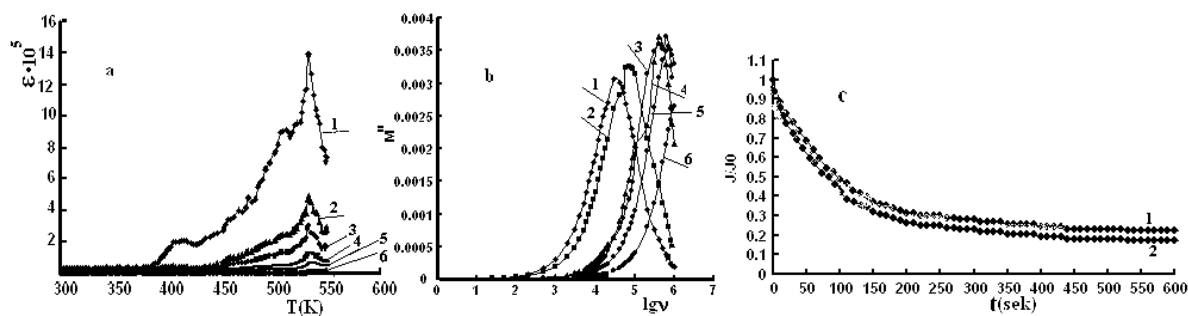
<sup>1</sup> Институт радиационных проблем НАН Азербайджана

<sup>2</sup> Институт Физика НАН Азербайджана

<sup>3</sup> Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности

[o.samedov@rambler.ru](mailto:o.samedov@rambler.ru)

В настоящей работе проводилось исследование поведения температурных зависимостей диэлектрической проницаемости  $\epsilon(T)$  и комплексного электрического модуля  $M^* = 1/\epsilon^* = M' + jM''$  кристаллов  $\text{TlGaSe}_2$ . Измерения проводились с помощью моста переменного тока Е7-20 в диапазоне частот 25-10<sup>6</sup> Гц в температурном интервале 200÷550К. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon(T)$  в соединении  $\text{TlGaSe}_2$  выше комнатной температуры показана на рис.1(а). При температуре  $T=415\text{K}$  и  $T=532\text{K}$  наблюдаются скачки в зависимостях  $\epsilon(T)$  для кристалла  $\text{TlGaSe}_2$  (рис.1(а)). На частотной зависимости мнимой части электрического модуля  $M''$  (рис.1(б)) хорошо определяемый пик наблюдается при интервале температур 200К-450К. Показано, что экспериментальные точки зависимости  $\text{Ln}(\epsilon)$ , хорошо укладываются на прямую линию для кристаллов  $\text{TlGaSe}_2$ , которая описывается для случая ионной проводимости. Характер диэлектрической релаксации предполагает существование электрических зарядов, слабо связанных с кристаллической решеткой. Как известно в кристалле  $\text{TlGaSe}_2$  Ga-Se связи являются более прочными, чем связи Tl-Se. Мы считаем, что ионная проводимость кристалла  $\text{TlGaSe}_2$ , связана с подвижностью ионов Tl.



**Рис.1.** а-температурная зависимость диэлектрической проницаемости  $\epsilon(T)$  (1-25Hz; 50Hz; 100Hz; 200Hz; 500Hz; 1kHz), б-частотная зависимость мнимых частей электрического модуля  $M''$  (193K; 230K; 293K; 324K; 372K; 434K), в- зависимости приведенной электропроводности от времени  $J(t)/J_0$  при  $T=470\text{K}$ : 1-0; 2-20Mrad.

Экспериментальные результаты показывают, что при дозе облучения 20Mrad ионная проводимость кристалла  $\text{TlGaSe}_2$  возрастает до 82% (рис.1с(2)). В необлученных образцах доля ионной проводимости составляет 76% (рис.1с(1)). Обсуждаются возможные механизмы проводимости, неупорядоченности и электрической неустойчивости в кристалле  $\text{TlGaSe}_2$ .

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-2013-9(15)-46/03/1.

СУПЕРИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В КРИСТАЛЛАХ  $TlInS_2$ ,  $TlGaSe_2$ ,  $TlSi$  И  $TlSe$   
ИНДУЦИРОВАННАЯ  $\gamma$ -ОБЛУЧЕНИЕМ

Сардарлы Р.М., Самедов О.А., Абдуллаев А.П., Салманов Ф.Т., Алиева Н.А., Оруджева А.А., Гахраманова С.М., Мехтиева Р.Н.

Институт Радиационных Проблем Национальной Академии Наук Азербайджана  
пр. Б. Вахабзаде 9, AZ 1143, [sardarli@yahoo.com](mailto:sardarli@yahoo.com)

В спектральной области  $25 \div 10^6$  Гц методом импедансной спектроскопии измерены частотные зависимости компонент полного комплексного импеданса и исследованы релаксационные процессы в кристаллах  $TlInS_2$  и  $TlGaSe_2$ , до, и после облучения дозой в 25 Мрад. Показано, что после  $\gamma$ -облучения в кристаллах  $TlInS_2$ ,  $TlGaSe_2$ ,  $TlSi$   $TlSe$  возникает фазовый переход с переходом системы в суперионное состояние при температуре 300 К. При этом на этих же образцах не подвергнутых радиационному воздействию, переход в суперионное состояние происходит при температуре выше 400 К. Эксперименты проводились в следующей последовательности: после предварительных измерений образцы подвергались воздействию  $\gamma$ -облучения от стандартного источника излучения  $^{60}Co$ . Доза облучения накапливалась постепенно посредством последовательных экспозиции  $\gamma$ -воздействия довеличины 25 Мрад.

Методы импеданс спектроскопии являются наиболее доступными методами исследования электрофизических процессов протекающих на контактах металлов с ионопроводящими материалами. Нами выполнены измерения действительной и мнимой частей импеданса образцов  $TlInS_2$ ,  $TlGaSe_2$ ,  $TlSi$   $TlSe$ . Полученные данные представлены в виде годографа импеданса на комплексной плоскости, которые имеют форму дуги слегка искаженной формы.

Представленные зависимости имеют вид, соответствующий параллельной эквивалентной схеме замещения. Вычислены значения частот ( $f_{max}$ ), соответствующих максимуму  $Z''$ , времена релаксации ( $\tau$ ), частоты, соответствующие началу частотной дисперсии ( $f_{jamp}$ ), для образцов  $TlInS_2$ ,  $TlGaSe_2$ ,  $TlSi$   $TlSe$ . Диаграммы, на комплексной плоскости ( $Z''-Z'$ ), полученные из измерений при 400К и после радиационного воздействия, представляют собой полуокружности для одной параллельной RC-цепочки и лучи в низкочастотной области диаграмм. Такой вид годографов импеданса измеренных при 400 К и после радиационного воздействия, свидетельствует о присутствии дополнительных вкладов в проводимость, которая, по всей видимости связана с диффузным переносом ионов таллия вблизи границы твердого электролита и электрода. Эти лучи на импедансной диаграмме по всей вероятности связаны с диффузным импедансом Варбурга, в основе которой лежит идея того, что в частотном диапазоне приложенного синусоидального сигнала диффузия носителей не достигает границы диффузного слоя. Ответственным за возникновение диффузного импеданса Варбурга, по всей видимости, является переход кристалла в суперионное состояние при 400 К и после радиационного воздействия.

Таким образом, импеданс Варбурга моделирует процесс, при котором подаваемое на электрохимическую ячейку синусоидальное напряжение при одной полярности приводит к диффузии мобильных ионов от электрода к диффузному слою, а при другой полярности, диффузии мобильных ионов к электроду. При этом процесс не выходит за область диффузного слоя.

В этом случае, ответственным за возникновение диффузного импеданса Варбурга являются ионы  $Tl^{+1}$  диффундирующие в кристаллах  $TlInS_2$ ,  $TlGaSe_2$ ,  $TlSi$   $TlSe$  при 400 К и после радиационного воздействия. Переход в суперионное состояние, подтверждается измерениями температурной зависимости электрической проводимости. Таким образом, можно утверждать, что переходу в суперионное состояние способствует радиационное воздействие дозой в 25 Мрад.

Как известно, радиационное воздействие на твердое тело приводит к созданию неравновесных дефектов. При прохождении  $\gamma$ -излучения (в нашем случае энергия гамма кванта  $\sim 1$  МэВ) через вещество происходит ослабление интенсивности пучка. При этом генерируются электроны, которые приводят к созданию дефектов в кристаллической решетке. Вклад в полное сечение рассеяния в этой области энергий гамма-квантов, является некогерентное рассеяние на электронах вещества (эффект Комптона). Эффективное сечение комптоновского рассеяния, рассчитанное на один атом пропорционально атомному номеру  $\sigma'_c = Z \cdot \sigma_c$ . Поскольку в кристаллах  $TlGaSe_2$  и  $TlInS_2$  атомом с наибольшим  $Z$  является Tl, то и наиболее вероятным элементом испытывающим смещение будут атомы таллия. Следует отметить, что при энергии гамма-квантов в  $\sim 1$  МэВ не достигается порог фотоядерных реакций.



СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ И НАНОКАТАЛИЗАТОРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА

Абдуллин Х.А. <sup>1</sup>, Чихрай Е.В. <sup>1</sup>, Габдуллин М.Т. <sup>2</sup>, Исмаилов Д.В. <sup>2</sup>, Кенжина И.Е. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Метод электроспиннинга с последующей стабилизацией и карбонизацией волокон является перспективной технологией создания углеродных нановолокон, композитов и каталитических наночастиц для применения в катализе, в процессах адсорбции и сепарации, в биомедицинских приложениях, при создании датчиков [1], а также в устройствах преобразования и хранении энергии, для разработки различных накопителей энергии, таких, как суперконденсаторы и литий-ионные аккумуляторы [2]. В настоящем сообщении приведены результаты исследований по оптимизации процесса электроспиннинга, выбора условий термической обработки синтезированных волокон, получения наночастиц катализаторов и синтеза углеродных нанотрубок.

В опытах использовались такие полимеры, как поливиниловый спирт и поливинилпирролидон, иногда поливинилацетат. Для формирования каталитических наночастиц использованы соли металлов группы железа - ацетаты никеля, кобальта и железа, нитрат никеля. Последующий отжиг волокон проводился на воздухе, в потоке водорода либо в вакууме. Исследована морфология полимерных волокон с солями металлов сразу после проведения процесса электроспиннинга и после термообработки.

При отжиге на воздухе полимер постепенно деградирует, испаряется, и с увеличением температуры отжига волокна уменьшаются в диаметре. Соли, равномерно распределенные по длине волокон, при отжиге на воздухе постепенно разлагались и формировали частицы оксидов. В случае высокой скорости нагрева (8-10 градусов в минуту) при отжиге наблюдается скручивание и деформация волокон, а также плавление полимера, что приводит к слипанию материала и появлению большой доли крупных частиц с формированием частиц оксидов.

При медленном нагреве процесс деградации полимера происходит с оптимальной скоростью, волокна полимера с однородно распределенными в них солями металлов сохраняют свою форму с постепенным утончением, и формируются частицы оксидов с малым разбросом по размерам.

SEM снимки композитных волокон после отжига на воздухе при температуре 250°C в течение 2 часов, с последующим восстановительным отжигом в водороде при 250°C в течение 2 часа демонстрируют, что после отжига формируются наночастицы с малым разбросом по размерам и средним диаметром в районе 50 нм. Изменением концентрации исходного раствора полимера и соли можно варьировать размеры наночастиц в широких пределах.

С использованием выращенных методом электроспиннинга наночастиц никеля и железа в качестве катализаторов роста проведен синтез углеродных нанотрубок методом газофазного роста. Получены углеродные нанотрубки с диаметром 10-20 нм

Исследования проводились при поддержке гранта #3109/GF4 МОН РК

1. L. Zhang, A. Aboagye, A. Kelkar, C. Lai, H. Fong. A review: carbon nanofibers from electrospun polyacrylonitrile and their applications. *Journal of Materials Science* 49 (2014) 463–480.
2. M. Xianwen, T. Hatton, G. Rutledge. A Review of Electrospun Carbon Fibers as Electrode Materials for Energy Storage. *Current Organic Chemistry* 17 (2013) 1390–1401.

THE STUDY OF THE SILICON CARBIDE NANOPOWDER SIZES AND STRUCTURAL PARAMETERS AFTER ELECTRON IRRADIATION

Abdurakhimov B.A., Tashmetov M.Yu.

Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan  
[behzodjon25@mail.ru](mailto:behzodjon25@mail.ru)

In this work, the effect of high-energy and high-intensity electron beam to structural parameters of silicon carbide nanoparticles has been implemented. As a sample, there is used nano-size silicon carbide powder. The sample is irradiated at the “Electronics U-003” accelerator using 3 to 5 MeV energy of electron beam under 550, 750, 900, 1100 kGy absorption doses. Structure of samples, which were unirradiated and irradiated at various doses have been implemented at the X-ray diffractometer. Obtained results have been full profile processed at the “FullProf” program by using Rietveld method.

The structural space group of the sample of silicon carbide powder was determined and it belongs to the space group  $F-43m$  and its elementary cell is a cube with the centered sides ( $\alpha=\beta=\gamma=90^\circ$ ), its parameters are  $a=b=c=4.3586\text{\AA}$  for unirradiated sample, while  $a=b=c=4.3563\text{\AA}$  for irradiated at 1100 kGy dose.

In order to calculate the nano crystallite size we use the Scherrer equation[1]:

$$d = \frac{k\lambda}{\beta \cos \theta}$$

here  $d$  is nano crystallite size,  $\theta$  is the Bragg angle,  $k$  can be 0.62–2.08 and is usually taken as about for cubic structure 0.94 [2],  $\lambda$  is the radiation of wavelength of X-rays,  $\beta$  is full width at half maximum (FWHM), for Gaussian profile it has following form  $\beta = \sqrt{FWHM_{exp}^2 - FWHM_{inst}^2}$ ,  $FWHM_{exp}$  is obtained by using Matlab program for the reflex (220),  $FWHM_{inst} = \sqrt{Utg^2\theta + Vtg\theta + W}$  is instrumental width (resolution function of diffractometer). Where  $U, V, W$  are Caglioti parameters and  $U=0.0045(5)$ ,  $V= - 0.0032(9)$ ,  $W= 0.0046(3)$ .

From Scherrer equation one can obtain the nano crystallite size and it is about for unirradiated sample  $d=17.8$  nm (Fig.1).

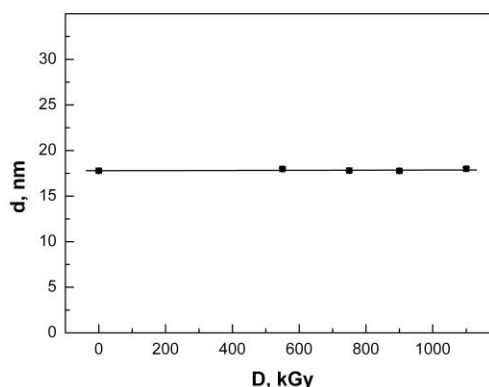


Figure 1. Depends on the nano crystallite size (d) to the absorption dose (D)

One can predict that if the irradiation dose increases more than 1100 kGy it causes to grow the size of nano crystallites.

One of the reasons of increment of the sizes of crystallites by the increment of the absorption dose may be a “disappearance” of the surface border of the nano-crystallites and their “coalescence”.

The research was done in the framework of the project Science and Technology Agency “Low-dimensional structural changes in alloyed silicon under the influence of radiation and their effect on the properties of a single crystal”.

1. A.Monshi, M.R.Foroughi, M.R.Monshi. “Modified Scherrer equation to estimate more accurately nano-crystallite size using XRD”, World Journal of Nano Science and Engineering, 2012, 2, 154-160.
2. J.I.Langford, A.J.C.Wilson. “Scherrer after Sixty Years: A Survey and Some New Results in the Determination of Crystallite Size”, J.Appl.Cryst. 1978, 11, 102-113.

ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕН МЕТОДОМ PECVD В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА

Батрышев Д.Г. <sup>1,3</sup>, Ерланулы Е. <sup>1,3</sup>, Рамазанов Т.С. <sup>2</sup>, Досболаев М.К. <sup>2</sup>, Габдуллин М.Т. <sup>3</sup>

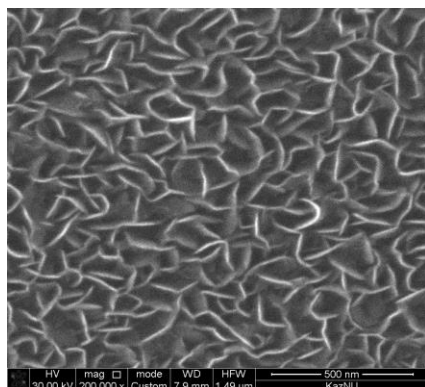
<sup>1</sup>Лаборатория инженерного профиля, КазНУ им. аль-Фараби,  
Казахстан, 050040 Алматы, пр. аль-Фараби, 71

<sup>2</sup>Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики, КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, 050040 Алматы, пр. аль-Фараби, 71

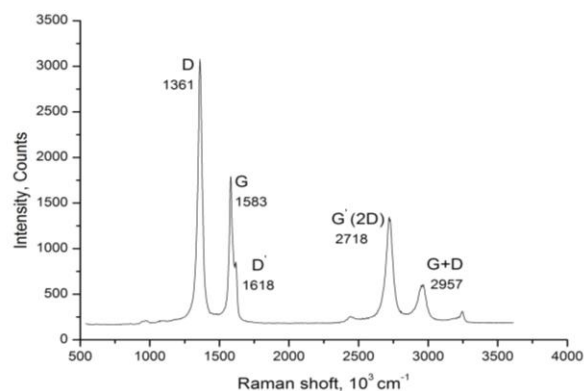
<sup>3</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа, КазНУ им. аль-Фараби, Казахстан, 050040 Алматы, пр. аль-Фараби, 71

Углеродные наностены (УНС) являются одной из аллотропных модификации углерода и представляют собой вертикально ориентированные графеновые листы [1,2]. Благодаря большой удельной поверхности и плотности, УНС обладают свойствами механической прочности и высокой электропроводности [3-5], в связи с этим, УНС применяются в качестве электродов в конденсаторах [6], вместо пористых углеродных материалов. Данная работа посвящена получению УНС методом PECVD в плазме высокочастотного разряда.

УНС были синтезированы на поверхности кремниевой подложки с тонким каталитическим никелевым нанослоем методом PECVD. Для начала в камере создают условие высокого вакуума ( $10^{-5}$  тор), далее напускают поток инертного газа (Ar) до давления 1 Тор и нагревают рабочую среду до  $500^{\circ}\text{C}$ , затем поджигают плазму ВЧ разряда мощностью 10-15 Вт. Перед PECVD синтезом проводится предварительный отжиг образцов для образования каталитического фундамента для роста УНС – нанокластеры никеля. После предварительного отжига в камеру напускают углеродосодержащий газ ( $\text{CH}_4$ ). В результате на поверхности подложки синтезируются УНС, об этом свидетельствуют СЭМ и Рамановский анализ полученных образцов, которые представлены на рисунке 1 а и 1 б соответственно.



а



б

Рисунок 1 – СЭМ фотография и Рамановский спектр УНС

1. Wu, Y. H.; Qiao, P. W.; Chong, T. C.; Shen, Z. X. *Adv. Mater.* 2002, 14, 64
2. Kurita S., Yoshimura A., Kawamoto H., Uchida T., Kojima K., Tachibana M., Molina-Morales P., Nakai H. *J. App.Phys.* 2005, 97, 104320
3. Stankovich S., Dikin D. A., Dommett G.H.B., Kohlhaas K. M., Zimney E.J., Stach E. A., Piner R. D., Nguyen S. T., Ruoff R. S., *Nature* 2006, 286, 282.
4. Hiramatsu M., Hori M., *Carbon Nanowalls* (Springer, New York, 2010).
5. Yoon D., Moon H., Cheong H., Choi J., Choi J., Park B., *J. Korean Phys. Soc.* 2009, 55, 1299.
6. Kim S.Y., Shin S.K., Kim H., Jung Y.-H., Kang H., Choi W.S., Kweon G.B., *Trans. Electrical and electronic materials* 2015, 16, 4, 198-200.

**PHYSICAL AND MECHANICAL ASPECTS OF RADIATION DAMAGE COMPOSITES**

*Tamuzs V.P., Kozhamkulov B.A., Tulendinov T.B., Bitibayeva Zh.M., Kyrykbayeva A.A.*

Institute of Polymer Mechanics University of Latvia LV-1006, Riga, Latvia  
Kazakh National Pedagogical University after Abay, Almaty, Republic of Kazakhstan

Currently in the Republic of Kazakhstan development of physical science is closely related to the priority areas, the space industry and nuclear energy. Learning range of issues in this direction with the study of radiative processes in condensed matter, in particular the interaction of high-energy electron beams with structural materials, significantly influencing the structure, creating a unique structural phase transformations and causing new radiation effects. Due to the need to solve the problem of controlled thermonuclear fusion and new tasks in radiation materials and is characterized by the creation and use of structural composite materials preserving considerable time their mechanical characteristics and physico-chemical properties under the action of ionizing radiation. Progress in this direction is impossible without knowledge of the fundamental laws of defects in systems, both existing and generated in the materials under a variety of external influences.

One of the areas of research is the study of physical and mechanical properties of composite materials when exposed to high-energy particles that could significantly affect the structure. The nature and degree of change will depend on the properties of the original physical-chemical structure of the material, the radiation characteristics, and on the time of exposure and are fairly complex in nature. All structure-sensitive properties of the composites determined by the number of defects contained in them and the probability of occurrence of various reorganizations under the influence of ionizing radiation. Radiation resistance of composites, determined by changes in the mechanical properties, is the most significant.

Radiation destruction of materials is a complex process that involves the destruction of the structural elements of different sizes, ranging from microscopic radiation-induced defects at the atomic level to the macro-cracks. Of radiation defects in the structure of the irradiated composites is the root cause of his subsequent final destruction.

The paper presents the results of experimental and theoretical studies of radiation damage to the composite position of radiation physics and fracture mechanics.

We used the original theoretical methods of fracture mechanics, radiation physics of solids and standard experimental techniques with modern facilities.

Gratitude: this work was supported by grant for fundamental research the Ministry of Education and Science of Republic of Kazakhstan. Theme: "The study of physical and mechanical properties of composite materials under radiation". Contract is number 91 on 27.02.2017.

1. V.P.Tamuzhs, B.A. Kozhamkulov, A.I.Kupchishin, Zh.M.Bitibayeva Investigation of radiation and destruction the formation of defect some of composite materials under electron irradiation // *Mechanics of Composite Materials*, Vol. 53, No. 1, March, 2017

2. Tamuzs V. et all. [Bond of FRP strengthening systems for concrete structures: A Round Robin Test](#) // DVD: In: *Proceedings of the Sixth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management*. Stresa, Lake Maggiore, Italy, July 8-12, 2012. Biondini, F. & Frangopol, D. M. (eds.). Boca Raton: CRC Press, p. 1179-1186.

РАДИАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ И НАНОКЕРАМИК НА ОСНОВЕ CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub>

Ашуров М.Х.<sup>1,2</sup>, Нуритдинов И.<sup>1</sup>, Бойбобоева С.Т.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт Ядерной Физики АН РУз., пос. Улугбек, Ташкент, 100214, Узбекистан

<sup>2</sup> ГНПП “Фонон” РУз., ул. У. Юсупова 50, Ташкент, 100054, Узбекистан

[izzatilloh@yahoo.com](mailto:izzatilloh@yahoo.com) , [ekarimboev@mail.ru](mailto:ekarimboev@mail.ru)

Интерес исследователей к изучению свойств монокристаллических и нанокерамических соединений CaF<sub>2</sub>-YbF<sub>3</sub> обусловлен их особым положением как перспективных лазерных материалов, накачиваемых лазерными диодами, а также возможностью получения перестраиваемого лазерного излучения на их основе [1,2]. Известно, что ионы Yb в структуру кристаллов и нанокерамик одновременно могут входить в двух- и трехвалентном виде в различных состояниях симметрии. В зависимости от условий роста, наличия соактиваторов и дозы ионизирующего излучения могут изменяться соотношения иттербиевых центров, что имеет важное значение при управлении свойствами этих материалов. В настоящей работе были исследованы радиационно-стимулированные изменения различных иттербиевых центров в лазерной керамике CaF<sub>2</sub>:Yb<sup>3+</sup> (3 мол. % YbF<sub>3</sub>) в сравнении с монокристаллом близкого состава (3.6 мол. % YbF<sub>3</sub>) под действием гамма-излучения источника <sup>60</sup>Co.

Спектры оптического поглощения исходных кристаллических и керамических образцов были идентичными и содержали полосы поглощений с максимумами при 214, 227, 260, 271, 320 и 360 нм в УФ-области, а также группу линий при 860-1060 нм с максимумами при 922, 940, 944, 964, 978, 1010 и 1030 нм в ИК-области. Интенсивности соответствующих полос для кристаллических и керамических образцов были сравнимы. Полосы поглощения при 214-360 нм соответствуют электронным переходам из уровня <sup>1</sup>S<sub>0</sub>(4f<sub>14</sub>) на уровень 4f<sub>14</sub>5d ионов Yb<sup>2+</sup>, а при 920-1060 нм – переходам <sup>2</sup>F<sub>7/2</sub> - <sup>2</sup>F<sub>5/2</sub> ионов Yb<sup>3+</sup>.

Известно [1-3], что ионы Yb входят вместо Ca<sup>2+</sup>, который занимает кубическое O<sub>h</sub> положение в решетке CaF<sub>2</sub>. Когда иттербий входит в состоянии Yb<sup>3+</sup>, для сохранения электронейтральности системы требуется компенсация дополнительного положительного заряда, которое, как правило, осуществляется отрицательно заряженными междоузельными ионами фтора F<sub>i</sub><sup>-</sup>. В зависимости от условия синтеза, концентрации примеси и дозы облучения в кристалле, наряду с кубическими центрами (O<sub>h</sub>) без локальной компенсации зарядов, создаются Yb<sup>3+</sup>- центры с тетрагональной (C<sub>4v</sub>), тригональной (C<sub>3v</sub>) симметрии. При достаточно высоких содержаниях иттербия активаторные ионы образуют различные кластерные состояния. Такая сложная структура примесных центров приводит к образованию спектров поглощения с широкими полосами.

Под действием γ-облучения при комнатной температуре в интервале доз 10<sup>5</sup>-10<sup>8</sup> рад интенсивности всех полос ионов Yb<sup>2+</sup> в диапазоне 200-400 нм увеличиваются, интенсивность групп линий ионов Yb<sup>3+</sup> в области 860-1060 нм несколько уменьшается в обоих типах образцов [2], что свидетельствует о валентном Yb<sup>3+</sup>→ Yb<sup>2+</sup> переходе на примесных ионах.

Анализ и сопоставление спектров оптического поглощения исходных, облученных и выдержанных различное время после облучения образцов показывает, что в материалах при облучении и выдержки после облучения, кроме Yb<sup>3+</sup>→ Yb<sup>2+</sup> переходов, происходят сложные Yb<sup>3+</sup>→ Yb<sup>3+</sup> преобразования внутри самих Yb<sup>3+</sup>- состояний.

Сопоставление спектров облученных и выдержанных монокристаллических и нанокерамических образцов показывает, с одной стороны наличие общих тенденций, с другой – отличительные особенности процессов протекающих в монокристаллических и нанокерамических образцах во время облучения и процессе их выдержки после облучения. Основными отличиями являются: существенно малое количество ионов Yb<sup>3+</sup>, переходящих в состояние Yb<sup>2+</sup> в нанокерамиках по сравнению с монокристаллами; быстрое, по сравнению с монокристаллами, восстановление Yb<sup>3+</sup>- центров в облученных образцах до исходного состояния в нанокерамиках; а также изменение соотношения различных Yb<sup>3+</sup> центров в облученных образцах. Предполагается, что эти отличия обусловлены наличием большого количества межграницных поверхностей в нанокерамических образцах. Анализируются полученные результаты.

1. Nicoara, I., Lighezana, L., Enculescub, M., Enculescub, I., Optical spectroscopy of Yb<sup>2+</sup> ions in YbF<sub>3</sub>-doped CaF<sub>2</sub> crystals. Journal of Crystal Growth, 2008, 10, 2026–2032.
2. Ашуров М.Х., Нуритдинов И., Бойбобоева С.Т., Гарабин, Е.А., Демеденко, А.А., Кузнецов, С.В., Федоров, П.П., Радиационные характеристики кристаллов и керамик фторида кальция, легированного иттербием. Неорганические материалы, 2016, том 52, 8, стр. 1-9.
3. Nicoara, I., Stef, M., Pruna, A., Growth of YbF<sub>3</sub>-doped CaF<sub>2</sub> crystals and characterization of Yb<sup>3+</sup>/Yb<sup>2+</sup> conversion. Journal of Crystal Growth 2008, 310, 1470–1475.

**МЕССБАУЭРОВСКИЕ, РЕНТГЕНОВСКИЕ И ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ  
ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ  $^{57}\text{Fe}$  В  $^{181}\text{Ta}$**

Верещак М.Ф. <sup>1</sup>, Бедельбекова К.А. <sup>1</sup>, Киреев А.В. <sup>1</sup>, Манакова И.А. <sup>1</sup>, Озерной А.Н. <sup>1</sup>, Тлеубергенов Ж.К. <sup>1</sup>,  
Яскевич В.И. <sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики 050032, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В.Сокольского, Алматы, Казахстан

Развитие атомной и термоядерной энергетики ставит перед материаловедом ряд проблем, связанных с созданием конструкционных материалов. Следует отметить, что на сегодняшний день материала чехлов твэлов, который позволил бы в полной мере реализовать экономичную, длительную и безопасную работу РБН, разработать не удалось. Исследования влияния легирующих добавок на ресурсные свойства конструкционных материалов требуют значительных временных и материальных затрат и методически ограничены преимущественно финишными исследованиями их свойств. Для экспрессного способа получения информации о радиационной стойкости конструкционных материалов целесообразно использование моделирования условий реакторного облучения путем ионной имплантации на ускорителях заряженных частиц.

Целью настоящей работы является моделирование высокодозных радиационных повреждений в металлах и сплавах бомбардировкой на ускорителе заряженных частиц зондовыми мессбауэровскими атомами для получения ядерно-физических данных из зоны воздействия этих атомов на структурно-фазовое состояние изучаемых материалов.

В экспериментах был использован высокочистый тантал, состоящий из моноизотопа  $^{181}\text{Ta}$ . Источником ионов являлось чистое железо, обогащенное изотопом  $^{57}\text{Fe}$  до 92%. Глубина проникновения ионов  $^{57}\text{Fe}$  (500 нм) в мишень из тантала рассчитана с помощью компьютерной программы SRIM-2008. Локальное окружение атомов железа по завершении процесса имплантации определяли методами мессбауэровской спектроскопии на спектрометре MS-110Em при комнатной температуре. Источником  $\gamma$ -квантов служил  $^{57}\text{Co}$  в матрице хрома. Анализ и обработку мессбауэровских спектров проводили методом модельной расшифровки с помощью программы SpectrRelax.

Изменения в кристаллической структуре  $^{181}\text{Ta}$  после облучения регистрировали на дифрактометре D8 Advance фирмы Bruker. Значение параметров решетки вычисляли как среднее при использовании всех дифракционных линий от идентифицированной фазы. Замечено, что в результате имплантации  $^{57}\text{Fe}$  параметр кристаллической решетки Ta несколько уменьшился, что дает основание утверждать об образовании твердого раствора замещения Ta(Fe). Элементный состав и морфологию поверхности тантала определяли с помощью электронного сканирующего (растрового) микроскопа JEOL JSM-6610.

Мессбауэровский спектр  $^{57}\text{Fe}$ , имплантированного в матрицу тантала, представляет собой одиночную линию с изомерным сдвигом  $0.02 \pm 0.02$  мм/с и шириной  $0.39 \pm 0.06$  мм/с. Это указывает на кубическую симметрию в окружении мессбауэровского атома, т.е. атомы имплантанта занимают узлы в кристаллической решетке мишени, имеющей кубическую сингонию. Кроме того, парамагнитное состояние атомов железа указывает на то, что среди ближайших соседей мессбауэровских атомов отсутствует железо. Конверсионная мессбауэровская спектроскопия, дающая информацию о локализации мессбауэровских атомов в приповерхностном слое (~100 нм), также показывает одиночную линию с изомерным сдвигом таким же, как и в спектре на поглощение. Однако резонансная линия несколько уширена, что указывает на некоторое разупорядочение в ближайшем окружении мессбауэровского атома, вызванное облучением.

Таким образом, в результате имплантации железа в матрицу тантала происходит внедрение ионов в кристаллическую решетку растворителя с образованием упорядоченного твердого раствора замещения.

ПОЛУЧЕНИЕ НОВОЙ ФАЗЫ  $\text{MoCd}_2$  В ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ СИСТЕМЫ МОЛИБДЕН-КАДМИЙ

Володин В.Н., Тулеушев Ю.Ж., Жаканбаев Е.А., Цай К.В., Рофман О.В.

Институт ядерной физики  
Республика Казахстан, Алматы

Ионно-плазменным распылением и соосаждением ультрадисперсных частиц Mo и Cd впервые получены твердые растворы в пленке. С целью определения концентрационных границ существования твердых растворов в системе Mo-Pb ионно-плазменным напылением с учетом размерного фактора сформированы образцы покрытий с концентрацией кадмия от 0.45 до 97.6 at. %.

При дифрактометрическом исследовании установлено, что при концентрации кадмия в покрытии от 0.45 до 57.3 at. % пленки представлены твердыми растворами кадмия в молибдене с оцк-структурой и линейно изменяющимся в зависимости от концентрации кадмия параметром решетки. Представленная зависимость описывается линейным уравнением  $a$  (nm) = 0.0002 $C_{\text{Cd}}$  + 0.3137, где  $C_{\text{Cd}}$  – концентрация кадмия (at.%). При концентрации кадмия 60.6 at.% в покрытии возникает ранее никогда не наблюдавшаяся фаза, которую мы обозначили как X-фаза. Наиболее отчетливо рефлексы от этой фазы наблюдаются при концентрации кадмия 65.4 at. %. При увеличении содержания кадмия до 68.7 at. % к рефлексам от X-фазы добавляются рефлексы от кадмия, которые с ростом концентрации кадмия становятся доминирующими. При концентрации кадмия в покрытии 97.6 at.% покрытие представлено только кадмием. Для выяснения условий появления неизвестной фазы в покрытии уточнено влияние размерного фактора – размера частиц, в нашем случае, толщины субслоев металлов, при формировании пленки.

При формировании покрытий нанослоями молибдена и кадмия толщиной менее 2 nm в интервале концентраций 60-66 at.% Cd обнаружена новая фаза, идентифицированная как  $\text{MoCd}_2$ , полученная непосредственно во время формирования пленочного покрытия, имеет тетрагональную гранецентрированную решетку с параметрами  $a = 0.78231$  nm,  $c = 0.77039$  nm. Определены рентгенографические данные для идентификации интерметаллида. Построена элементарная ячейка  $\text{MoCd}_2$ .

По мере накопления в решетке кадмий сначала замещает атом молибдена в центре элементарной ячейки, затем еще один атом кадмия встраивается в решетку молибдена, замещая атом в одной из вершин куба и сопровождается трансформацией ячейки из кубической в тетрагональную, где атомы кадмия попарно встраиваются на боковых гранях ячейки в соединении  $\text{MoCd}_2$ .

Для исследования термической стабильности полученной фазы интерметаллида  $\text{MoCd}_2$  были проведены вакуумные отжиги при температуре 200 и 300°C. Отжиг при температуре 200°C не выявил каких-либо изменений в отжигаемых образцах, а при 300°C соединение теряет кадмий вследствие испарения с появлением фазы молибдена, а само покрытие рассыпается в ультрадисперсный порошок, частицы которого не связаны друг с другом. Размеры отдельных крупинок колеблются в пределах от 2  $\mu\text{m}$  до 100 nm.

В результате проведенного исследования по соосаждению ультрадисперсных частиц молибдена и кадмия, распыленных в плазме низкого давления на перемещающиеся подложки впервые получены твердые растворы – сплавы металлов, несмешивающихся при традиционных методах получения до концентрации 57.3 at.% Cd. Тем самым подтверждена теория термофлуктуационного плавления и коалесценции малых частиц, результатом которых стали сплавы на основе молибдена и кадмия.

При концентрации 60-66 at.% Cd обнаружена новая фаза, идентифицированная как  $\text{MoCd}_2$ , полученная непосредственно во время формирования пленочного покрытия, имеющая тетрагональную гранецентрированную решетку с параметрами  $a = 0.78231$  nm,  $c = 0.77039$  nm. Определены рентгенографические данные для идентификации интерметаллида. Термическая стойкость нового интерметаллида ограничена 200°C.

Синтезированная фаза  $\text{MoCd}_2$  обладает металлическим типом проводимости.

Подобный способ изготовления сплавов и синтеза соединений может быть распространен на другие металлические системы, составляющие которых не смешиваются традиционным способом.

**ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКООМНЫХ ПРОЗРАЧНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И P-N-ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЦИНКА И МЕДИ**

Исмаилов Д.В.<sup>1</sup>, Ильин А.П.<sup>2</sup>, Гриценко Л.В.<sup>1</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>1</sup>, Абдуллин Х.А.<sup>1</sup>, Ажимханова М.Б.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Национальная нанотехнологическая лаборатория при Казахском национальном университете им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Институт физики высоких технологий, КОХХТ, г. Томск, Россия

<sup>3</sup>Физико-технический факультет, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

Оксид цинка обладает уникальной совокупностью физических и химических свойств, обеспечивающих применение этого материала как базового при разработке различных датчиков, сенсоров и приборов [1]. Пленки ZnO, обладающие высокой химической инертностью и устойчивостью к атмосферному воздействию, применяются в качестве прозрачных в видимой и инфракрасной (ИК) областях спектра проводящих покрытий для электрических контактов и буферных слоев тонкопленочных солнечных элементов и устройств отображения информации [2,3]. Легирование пленок оксида цинка позволяет достичь удельного сопротивления до  $2 \cdot 10^{-4}$  Ом\*см [4,5]. Широкое промышленное применение устройств на основе слоев ZnO сдерживается сложностью получения пленок оксида цинка с заданными функциональными характеристиками.

В данной работе приводятся результаты однородной пленки ZnO на стеклянных подложках (размером 2×2 см) которые были получены посредством магнетронного распыления керамической мишени ZnO. Структуры ZnO/Cu<sub>2</sub>O(CuO) получены термическим окислением пленки меди, нанесенной на оксид цинка. Исследовано влияние термического отжига на оптические, электрические и структурные свойства образцов, получены фоточувствительные структуры n-ZnO/p-Cu<sub>2</sub>O(CuO). Обнаружено, что обработка в водородной плазме исходных пленок ZnO, полученных магнетронным распылением, приводит к уменьшению слоевого сопротивления пленок на 10-20 %, обработка структур n-ZnO/p-Cu<sub>2</sub>O(CuO) улучшает их электрические характеристики – снижается обратный ток. Морфология поверхности образцов ZnO, полученных магнетронным распылением, была изучена с помощью сканирующего электронного микроскопа (SEM) Quanta 200i 3D FEI. Спектры оптического пропускания полученных пленок ZnO измеряли с помощью спектрофотометра Lambda-35 (Perkin Elmer). Электрические параметры пленок ZnO определяли путем измерения четырехзондовым методом в конфигурации Ван дер Пау с использованием удельного сопротивления и концентрации носителей по эффекту Холла при комнатной температуре на установки HMS-3000 (Escoria) с магнитостатическим магнитом 0,55 Т. Вольтамперные характеристики (ВАХ) полученных структур измеряли, с помощью потенциостата-гальваностата ElinsP-30J в двухэлектродной схеме включения с прижимными точечными золотыми контактами.

1. О. Д. Вольпян, Ю.А. Ю.А. Обод, П.П. Яковлев. Получение оптических пленок оксида цинка магнетронным распылением на постоянном и переменном токе//Прикладная физика (2010). №3. С. 24-30.
2. C.G. Granqvist. Solar Energy Mater. Solar Cells. (2007). 91. P.1529.
3. K. Ellmer, A. Klein, B. Rech. Transparent conductive zinc oxide: Basics and applications in thin film solar cells (Springer, 2008).
4. M.K. Jayaraj, A. Antony, M. Ramachandran. Bull. Mater. Sci. (2002). 25 (3). P.227.
5. M. Kon, P.K. Keun, Y. Shigesato, P. Frash, M. Akio, K. Susuki. Jpn. J. Appl. Phys. (2002). 41. P.6174.



INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES ON THE THERMAL STRENGTH OF NRE FUEL ELEMENTS

Deryavko I.I. <sup>1</sup>, Lanin A.G. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Atomic Energy NNC RK, Kurchatov, Kazakhstan, e-mail: ilya@nnc.kz

<sup>2</sup>Scientific Research Institute of SIA «Luch», Podolsk, Russia

In the research reactor IVG.1, from 1975 to 1988, four test active zones, completed with fuel elements of the nuclear rocket engine (NRD) reactor, were ground-tested. At the same time, in three active zones of IVG.1, the NRT fuel elements were tested in regimes that simulate the engine operating conditions of the NRD reactor. In the course of these tests, both the positive and negative effects on the integrity of fuel elements of the thermal loads that occur in fuel elements under specific conditions of their operation on the propulsion regime were established.

The degree of danger of temporary thermal and residual radiation macro-stresses arising in fuel rods under the influence of thermal loads in irradiated fuel rods is considered. It is shown that under any conditions of the motor state in the fuel elements, temporary thermal macro-stresses arise with their unfavorable distribution along the radial section of the fuel element (with extension on the rod surface and compression inside) and residual radiation stresses with favorable distribution over the same section (compression on the surface and stretching inside).

It is established that the specific level of thermal loads arising in fuel elements exerts a determining influence on their strength, thermal strength and integrity. In relatively mild regimes, markedly lower than the nominal for the engine mode of the NRD reactor, the fuel elements were found to have no surface cracks and a significant (almost twofold) increase in the strength and thermal strength of the fuel rods under the influence of compressive residual radiation stresses on their surfaces. On the other hand, under severe regimes of reactor tests close to the nominal propulsion mode of the NRD reactor, the fuel elements detected a significant degradation of the initial state in the form of numerous surface cracks and destruction of the rods into fragments of different lengths.

Possibilities are analyzed and a variant of eliminating the negative influence of thermal stresses on the strength, thermal strength and integrity of fuel elements both in tests in the research reactor IVG.1 and in operation in the NRD reactor is proposed.

ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ ВГО

Саидахмедов К.Х., Нуритдинов И.

Институт Ядерной Физики АН РУз, пос. Улугбек, 100214, Ташкент, Узбекистан

Кристаллы германата висмута  $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$  (BGO) в настоящее время широко используется в качестве сцинтилляционного материала для регистрации высокоэнергетических частиц в ядерной физике, приборостроении и позитронно-эмиссионной томографии. Они негигроскопичные имеют высокую механическую, химическую прочность и радиационно стойкие. Хотя имеются работы, в которых были изучены влияние нейтронного облучения на спектры поглощения (СП) кристаллов (BGO) [1-3], некоторые вопросы, касающиеся о механизмах дефектообразования и их влияние на оптические и сцинтилляционные свойства этого материала, остаются открытыми, особенно при больших флюенсах нейтронного облучения. В данной работе были изучены влияние нейтронного облучения реактора ( $10^{15}$ - $10^{18}$  н/см<sup>2</sup>) на СП кристаллов BGO. Исследуемые образцы были выращены методом Чохральского (Институт монокристаллов НАН Украины, г. Харьков), и имели размеры  $10 \times 10 \times 1,5$  мм<sup>3</sup>. Спектры оптического поглощения (ОП) снимались на спектрофотометре «Lambda-35» фирмы Perkin Elmer в диапазоне от 200 до 1100 нм ( $D_{\text{опт.плот}}=4$ ) при температуре 300К. В СП исходных кристаллов явных полос поглощения (ПП) не наблюдаются, они прозрачные в ультрафиолетовой (УФ) и видимой области спектра. После облучения флюенсом  $10^{15}$  н/см<sup>2</sup> наблюдается слабо заметная полоса поглощения (ПП) в области 350-400 нм с максимумом при 370 нм, и подъемом общей интенсивности. После облучения флюенсом  $10^{16}$  н/см<sup>2</sup> интенсивность выше отмеченной ПП увеличивается, а при флюенсе  $10^{17}$  н/см<sup>2</sup> эта полоса четко выделяется, кроме того появляется слабо интенсивная ПП в области 430 нм, при этом наблюдается сдвиг УФ края в сторону больших длин волн. При флюенсе нейтронов  $10^{18}$  н/см<sup>2</sup> интенсивность выше указанных ПП увеличиваются, дополнительно появляется широкая ПП в области 500-650 нм с максимумом в области 530 нм. Обсуждаются возможные механизмы дефектообразования и природа ПП наблюдаемые в кристаллах BGO после нейтронного облучения.

1. М. Kobayashi, К. Kondo, Н. Hirobayashi, S. Kurokawa, М. Taino, А. Yamamoto, Sh. Sugimoto, Н. Yoshida, Т. Wada, Y. Nakagava, М. Ogawa, М. Ishii, S. Akiyama, Н. Ishibashi. Radiation damage of BGO crystals due to low energy  $\gamma$ -rays, high energy protons and fast neutrons. Nucl. Instr. and Meth. 206(1983) pp107-117.

2. Крымов А.Л. Люминесцентные процессы и радиационное дефектообразование в монокристаллах германата висмута ( $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ ). Автореф. канд. Физ.-мат. наук. Екатеринбург 1994г.

3. С. Grupen, I. Buvat (eds.), Handbook of Particle Detection and Imaging, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2012.

**РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ СОРБЕНТОВ ИЗ ВАНАДИЕВЫХ СПЛАВОВ**

*Кульсартов Т.В., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Кенжина И.Е., Аскербекоев С.К.*

Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа КазНУ им. аль-Фараби  
Алматы, Казахстан:

Использование водорода в современных и активно развивающихся отраслях промышленности и энергетики – непреложный факт. Многие направления развития энергетики и промышленности предполагают или уже реализуют применение водородных систем.

Поэтому исследования в этом направлении, актуальны и перспективны, так как включают в себя разработку новых технологических процедур очистки изотопов водорода. На настоящий момент в мире не существует технологий очистки водорода методами КЦА (короткоциклового адсорбции) на основе сорбентов из ванадиевых сплавов. Хотя, как известно ванадий и ванадиевые сплавы являются гидридообразующим материалом, способным к поглощению водорода в значительных количествах - объемная концентрация водорода в гидриде ванадия превышает концентрацию водорода в сжиженном состоянии [1, 2]. Принципиальная возможность и перспективность использования ванадиевых сплавов в установках КЦА была подтверждена исследованиями авторов работы ранее [3].

В настоящей работе описана разработанная и созданная установка по очистке изотопов водорода на основе ванадиевых сорбентов, с 2 каскадным контуром и циклическим возвращением обедненной смеси газов.

Созданная установка позволяет проводить исследования новых сорбентов для установок КЦА и разработку новых технологических процедур очистки изотопов водорода. Спектр применения результатов таких исследований связаны с развитием водородных технологий топлива и водородной энергетики вообще. Очевидно, что данное направление широко развивается и востребовано в мире, и появление новых идей в области производства, очистки водорода будет способствовать экономической эффективности прикладных решений для водородных технологий.

Исследования проводились при поддержке гранта #3213/GF4 МОН РК

1. Tsukahara M. Hydrogenation Properties of Vanadium-Based Alloys with Large Hydrogen Storage Capacity // *Materials Transactions*. – 2011. – Vol. 52, №. 1. – P. 68 – 72.
2. Schober T., Wenzl H. The systems NbH(D), TaH(D), VH(D): Structures, phase diagrams, morphologies, methods of preparation // *Hydrogen in Metals II Topics in Applied Physics*. – 1978. – Vol. 29. – P. 11-71.
3. T. Kulsartov, V. Shestakov, Ye. Chikhray, et al. Early evaluation of hydrogen isotopes separation by V4Cr4Ti-based sorbents at low temperatures. – *Fusion Engineering and Design*, vol. 113, 2016, p. 303-307.

**КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ**

*Купчишин А.И.*<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

На протяжении более пятидесяти лет нами разрабатывается новый аналитический метод для описания процессов прохождения частиц различного типа и энергий через вещество, а также при генерации первично-выбитых атомов (ПВА) и радиационных дефектов, названный нами каскадно-вероятностным методом (КВМ). Он успешно применяется в области физики элементарных частиц, физики космических лучей, радиационной физики твердого тела и позитронной физики. Достоверность его проверена на большом числе конкретных задач из различных областей ядерной физики и физики твердого тела при сравнении расчетов с экспериментальными данными. Суть метода заключается в разработке физических и математических моделей процесса и получении в рамках теории вероятностей аналитических выражений для каскадно-вероятностных функций (КВФ) для различных стабильных и нестабильных частиц и в дальнейшем их использовании при решении конкретных радиационно-физических задач. КВФ имеет следующий физический смысл: это вероятность того, что частица, генерированная на некоторой переменной глубине под определенным углом к вертикали достигнет глубины наблюдения после некоторого числа соударений. В данной работе нами описана кратко история КВ-метода, которая связана с именем известного математика прошлого столетия С.Д. Пуассона, и с его распределением случайных величин. Показано, что распределение Пуассона при некоторых значениях входящих в него

параметров переходит в простейшую каскадно-вероятностную функцию (КВФ). Показано, что каскадно-вероятностный метод тесно связан с методом Монте-Карло и уравнениями Больцмана. Различные КВФ получены нами из рекуррентных соотношений, а также из решения простейших уравнений типа Больцмана. Изучена связь КВМ с цепями Маркова. Получено, что все аналитические выражения для каскадно-вероятностных функций, потоков первичных и вторичных частиц, энергетических спектров первично-выбитых атомов и концентрации радиационных дефектов могут быть получены из общего решения уравнения каскадного процесса, а также из уравнений Колмогорова-Чэпмена.

КВ-метод применен для решения ряда задач дефектообразования в твердых телах, облученных высокоэнергетическими протонами, альфа-частицами и ионами. Разработаны модели и получены аналитические выражения для КВ-функций, энергетических спектров первично-выбитых атомов и концентрации вакансионных дефектов (нанокластеров размерами 1 – 10 нм) в зависимости от глубины материалах. Проведен их детальный математический анализ, установлены основные физические свойства, Составлены алгоритмы, соответствующие программы и произведены расчеты на ПЭВМ этих функций на различных глубинах в веществе (в частности в алюминии, кремнии, титане, меди, молибдене, железе и др.). Для налетающих ионов при расчетах энергетических спектров ПВА и концентрации нанокластеров вакансионного типа использовались дифференциальные, интегральные сечения и пробеги взаимодействия ПВА в элементарном акте в виде модифицированной формулы Резерфорда, а ионизационные потери энергии рассчитывались по таблицам Комарова-Кумахова. При этом получено два вида КВФ с учетом потерь энергии: 1) для протонов и альфа частиц; 2) для ионов. Различие в аналитических выражениях для первого и второго случаев связано с тем, что для ионов с ростом массы налетающих частиц сильно уменьшаются свободные пробеги первичного излучения на генерацию ПВА и аппроксимационные функции (для интегральных сечений, ионизационных потерь и др.) работают лучше при других аналитических выражениях и параметрах. Для поиска аппроксимационных параметров нами была составлена специальная программа. Как показывают расчеты коэффициент корреляции при этом для протонов и альфа частиц с энергией 1 – 50 МэВ колеблется в интервале от 0,99 до 0,9999, что говорит о высокой степени совпадения теоретических и аппроксимационных функций. Для всех интервалов энергий первичных частиц и типов мишеней КВ-функции имеют следующий вид. В зависимости от глубины, а также от числа взаимодействий они сначала возрастают, достигают максимума, а затем убывают. Концентрация вакансионных кластеров сначала не зависит от глубины (или очень медленно возрастает), а затем на конце пробега резко возрастает (или сразу уменьшается) и падает до нуля. Для сравнения с экспериментальными данными по позитронной аннигиляции произведены расчеты зависимости концентрации вакансионных нанокластеров от глубины в молибдене, облученного протонами с энергией 30 МэВ, а также их энергетическая зависимость. Как показывают расчеты, наблюдается удовлетворительное согласие расчетов с экспериментом. Аналогичные результаты получены и для легких и тяжелых налетающих ионов.

### РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЕФЕКТОВ ВАКАНСИОННОГО ТИПА ПО ГЛУБИНЕ В МАТЕРИАЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ

*Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Купчишин А.А.<sup>1</sup>, Шмыгалева Т.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Казахский национальный университет им. Абая, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Как известно, создание новых материалов с уникальными свойствами является одной из приоритетных областей исследований как в физике, так и в технике. Все это в полной мере можно отнести к сфере производства наноматериалов и совершенствования нанотехнологий их получение. Исследование свойств малых металлических частиц из сотен и тысяч атомов представляет большой интерес благодаря их возможному использованию в различных отраслях промышленности. Несомненным является тот факт, что свойства наноматериалов в значительной мере зависят от свойств составляющих их частиц. Исследование внутреннего строения свободных кластеров может играть ключевую роль в объяснении их физических или химических особенностей и свойств. Металлы и сплавы по-прежнему остаются основой конструкционных, инструментальных и других материалов. Важным фактором в формировании их свойств являются нанодефекты кристаллической решетки, возникающие, в частности, при облучении. В настоящее время подобные исследования информативны в связи с развитием современной техники легирования поверхностей, например, в целях её упрочнения, создания полупроводников с определённой структурой и т.п. Кроме этого, путём ионной бомбардировки может быть реализовано получение высококачественных, плотных металлических плёнок и покрытий на подложках. Поиск и разработка таких материалов опираются на ясное понимание механизмов создания радиационных нанодефектов. Ранее нами был разработан каскадно-вероятностный метод моделирования процессов прохождения частиц через вещество и радиационных дефектов [1 – 3].

Для вычисления распределений по глубине нанокластеров в материалах, облученных ионами, нужно сначала рассчитать каскадно-вероятностные функции (КВФ). При рассмотрении многоканальных процессов взаимодействия заряженных частиц с твердым телом необходимо учитывать, в частности, полные потери энергии на ионизацию и возбуждение в процессе генерации первично-выбитых атомов.

Для ионов, образующих первично-выбитые атомы, зависимость аппроксимационной функции от энергии, которая в свою очередь, зависит от глубины проникновения, представляется в виде [1]. Для вычисления каскадно-вероятностной функции используется модифицированная формула [1].

Глубины наблюдений находились по таблицам параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей [4]. Далее производился расчет сечений взаимодействия по формуле Резерфорда [1]. Рассчитанные значения сечений аппроксимировались выражением (1). Согласие аппроксимационных и исходных кривых весьма хорошее. При подборе аппроксимационных кривых возникают некоторые особенности и сложности. Необходимо подобрать аналитическое выражение, описывающее рассчитанные сечения взаимодействий, задать начальные данные  $\sigma_0$ ,  $E_0$ ,  $a$ ,  $k$  в аппроксимационной формуле таким образом, чтобы аппроксимационное выражение наилучшим образом описывало рассчитанные значения сечений, т.е. чтобы было как можно выше теоретическое корреляционное отношение.

Анализ расчетов показывает, что аппроксимационные кривые модифицированных сечений взаимодействия хорошо описываются формулой (1), что позволяет с высокой точностью рассчитывать КВФ-функции для кремния и железа. При этом теоретическое корреляционное отношение колеблется в интервале от 0,99 до 0,9999.

Расчеты КВФ производились в соответствии [1]. Все расчеты велись с двойной точностью по всему интервалу глубин наблюдения. Результаты расчетов показывают, что КВФ в зависимости от  $h$  и от  $n$  возрастают, достигая максимума, затем убывают.

Далее необходимо вычислить концентрацию нанокластеров вакансионного типа в железе и кремнии при облучении ионами [5,6]. Для расчета используется следующая формула:

$$c_k(E_0, h) = \frac{E_d}{E_c} \frac{(E_{2\max} - E_c)}{(E_{2\max} - E_d)} \sum_{n=n_0}^{n_1} \int_{h-k\lambda_2}^h \psi_n(h') \exp\left(-\frac{h-h'}{\lambda_2}\right) \frac{dh'}{\lambda_1(h')\lambda_2}, \quad (1)$$

где  $E_d$  – пороговая энергия смещения,  $E_c$  – энергия первично-выбитого атома (ПВА), при которой количество смещенных атомов равняется числу атомов  $N_d$ , находящихся в зоне спонтанной рекомбинации,  $E_{2\max}$  – максимально возможная энергия, приобретенная атомом,  $\psi_n(h')$  – каскадно-вероятностная функция в модифицированном виде,  $\lambda_1(h')$  и  $\lambda_2$  – пробеги смещения ион- и атом-атомных смещений.

Таким образом проведено моделирование распределений по глубине нанокластеров вакансионного типа в железе и кремнии, облученных различными ионами. Представлен алгоритм для расчета концентрации нанокластеров, предложены формулы для расчета каскадно-вероятностной функции (КВФ), входящей в выражение для спектра первично-выбитых атомов и концентрации нанокластеров. Проведены расчеты КВФ для различных налетающих ионов в зависимости от числа взаимодействий и глубины проникновения частиц в кремнии и железе. Отмечены особенности подбора аппроксимационных выражений. Проведено моделирование зависимостей от глубины концентрации вакансионных кластеров, в Si и Fe, облученных различными ионами, установлены особенности поведения этих функций.

1. Э.Г. Боос, А.А.Купчишин, А.И.Купчишин, Е.В. Шмыгалев, Т.А. Шмыгалева. Каскадно-вероятностный метод, решение радиационно-физических задач, уравнений Больцмана. Связь с цепями Маркова. Монография. – Алматы: КазНПУ им. Абая, НИИ НХТ и М КазНУ им. аль-Фараби. 2015 г. – 388 с.
2. Kupchishin A.I., Shmygalev E.V., Shmygaleva T.A., Jorabayev A.B. Relationship between Markov Chains and Radiation Defect Formation Processes by Ion Irradiation// Modern Applied Science. – 2015. – Vol. 9, № 3. – P. 59 – 70.
3. Купчишин А.А., Купчишин А.И., Лисицын В.М., Шмыгалев Е.В., Шмыгалева Т.А. Связь процессов радиационного дефектообразования при протонном облучении с цепями Маркова// Известия вузов. Физика. – 2016. – Том 59, № 9/2 – С. 158 – 164.
4. Буренков А.Ф., Комаров Ф.Ф., Кулмаханов М.А., Темкин М.М. Таблицы параметров пространственного распределения ионно-имплантированных примесей. – Минск: БГУ им.В.И. Ленина, 1980. –300 с. 5. Комаров Ф.Ф., 5.Комаров А.Ф. Физические процессы при ионной имплантации в твердые тела. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 392 с.
6. Kupchishin A.I., Kupchishin A.A., Shmygalev E.V., Shmygaleva T.A., Tlebaev K.B. Calculation of the spatial distribution of defects and cascade-probability functions in the materials. Journal of Physics: 552. – 2014. – P. 1 – 7.

ЭЛЕКТРОННО- И АТОМНО-СИЛОВЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Емельянова В.С.<sup>2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

В последние годы в радиационной физике и химии твердого тела интенсивно стали развиваться новые науки – нанофизика и нанохимия создания наноматериалов и композитов на их основе, в том числе магнитных с заданными свойствами. Нанообъекты и подобные материалы обладают уникальными физическими и химическими характеристиками. Это, в первую очередь, связано с имеющими место так называемыми «квантовыми размерными эффектами» и образованием в композитах точек, квантовых проволок и других квантовых систем. При этом непрерывные зависимости химических и физических параметров заменяются на дискретные, т.е. квантовые. С уменьшением размера частиц от мили и микро к нано размерам плотность состояний электронов существенно изменяется как в валентной и в запрещенной зонах, так и в зоне проводимости (полупроводники, диэлектрики, металлы). При этом изменяется структура макро и нано объектов материала, а также и энергетический спектр электронов в этих системах. Это, в конечном счете, влияет, практически, на большинство химических и физических свойств материалов (каталитические, коррозионные, механические, тепловые, электрические, оптические, магнитные и т.д.). Среди всех веществ магнитные материалы занимают особое место.

В настоящее время используется несколько методов синтеза магнитных наночастиц (МНЧ), таких как метод соосаждения, микроэмульсионная техника, золь-гель метод, распыление и лазерный пиролиз, метод гидротермальной реакции, сонолиз, микроволновое облучение, биологический синтез и т.д. Из существующих магнитных материалов магнетит ( $Fe_3O_4$ ) признан как наиболее широко используемым в катализе из-за своей низкой стоимости и простоты получения, поэтому он и был выбран нами в качестве объекта исследования. При этом применялось химическое соосаждение солей железа в одну стадию с регулируемым посредством изменения условий синтеза размерами. Кроме всего прочего использовался метод механохимического смешивания компонентов с применением микромельницы. Стабилизацию МНЧ для представленных образцов осуществляли в алюмосиликатной или гуматной матрице. Облучение материалов проводилось высокоэнергетическими электронами с энергией 2 МэВ, плотностью тока  $0,3 \text{ мкА/см}^2$  до различных интегральных доз в интервале  $10^3 - 10^5$  Гр. Температура на образцах составляла  $20^0$  С. Электронно-микроскопические исследования проводились на просвечивающем электронном микроскопе, а атомно-силовые микроскопические измерения – на приборе «Интегра-Терма». При сканировании образца в режиме  $\Delta Z = \text{const}$  зонд постепенно перемещается вдоль поверхности, при этом напряжение на Z-электроде сканера записывается в память компьютера в качестве рельефа поверхности  $Z = f(x, y)$ . Причем пространственное разрешение АСМ определяется радиусом закругления зонда и чувствительностью системы, регистрирующей отклонения консоли. Реализованы конструкции АСМ, позволяющие практически получать атомарное разрешение при исследовании поверхности образцов. Измерения проводились с использованием синего лазера с длиной волны  $\lambda = 473 \text{ нм}$ , диаметр пятна  $2 \text{ мкм}$ . Solver Spectrum – это интеграция атомно-силового микроскопа (АСМ) с конфокальной КР/флуоресцентной микроскопией и спектроскопией. Возможность применения методов конфокальной КР спектроскопии позволяет получать данные о химическом составе, кристаллической структуре и ее ориентации, присутствии примесей и дефектов. Solver Spectrum позволяет проводить измерения на базе прямого оптического микроскопа. Полный спектр КР/флуоресценции регистрируется в каждой точке исследуемого образца с последующей программной обработкой. Благодаря высокому качеству оптической системы двух- и трехмерные распределения спектральных характеристик образца могут быть изучены с пространственным разрешением, близким к теоретическому пределу.

Как показали экспериментальные исследования, поверхность магнетитов после их облучения высокоэнергетическими электронами существенно изменяется. Причем с увеличением дозы облучения все больше и больше образуется скопления на уровне наноразмеров как на поверхности, так и в объеме материала. В заданном интервале доз (D) их концентрация линейно растет с увеличением D. Кроме этого существенно возрастает и каталитическая активность материала и на морфологию магнитных наночастиц (МНЧ) (размер, и распределение по размерам, форма, склонность к агрегации), в конечном счете, существенное влияние, кроме облучения, оказывает и способ их получения, исходные компоненты, первоначальные магнитные свойства, химия поверхности и каталитическое применение. Полученные закономерности связаны также в значительной мере с генерацией и эволюцией радиационных дефектов (в основном, это пары Френкеля) в магнетите, образованием новых химических соединений и активизацией активности облученного материала на микро и нано уровнях.

ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ НА СТЕНКУ И МАТЕРИАЛЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ

Добрынина А.О.<sup>1</sup>, Кузенов В.В.<sup>1,2,3</sup>, Рыжков С.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Россия, 105005, Москва, ул. 2-ая Бауманская, д. 5, стр. 1,  
+7(499)263-65-70, svryzhkov@bmstu.ru

<sup>2</sup>Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова» (предприятие Госкорпорации «Росатом») (ФГУП «ВНИИА»), Россия, 127055 Москва, Сушеская ул., д. 22, +7(916)632-50-46, vik.kuzenov@gmail.com

<sup>3</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук» (ИПМех РАН)

Россия, 119526 Москва, проспект Вернадского, д. 101, корп. 1, +7(495)434-31-91, kuzenov@ipmmet.ru

В общем случае предметом исследований в магнитно-инерциальном термоядерном синтезе являются пространственные течения излучающей плазмы при наличии теплообмена, электромагнитных полей и ядерных реакций [1-8]. Решение данных задач предполагает разработку новых плазмофизических математических моделей, описывающих процессы, протекающие в термоядерной плазме, а также создание высокоточных численных методов их решения, которые позволяют проводить адекватное численное моделирование. В работе приведена такая модель и результаты компьютерного тестирования и решения.

В физической модели вещества, являющейся основой модели Томаса–Ферми [9-12] принимается, что отсутствует различие между «свободными» и «связанными» электронами, вещество считается состоящим не из ионов и электронов, а из ядер и электронов. Энергия взаимодействия частиц, составляющих вещество, определяется электронами. Термодинамические свойства термоядерной плазмы рассчитываются на основе модели локального термодинамического равновесия.

Результаты исследования были получены в рамках выполнения государственного задания Минобрнауки России № 13.5240.2017/БЧ.

1. Ryzhkov S.V., Chirkov A.Yu., Ivanov A.A. Analysis of the compression and heating of magnetized plasma targets for magneto-inertial fusion // *Fusion Science and Technology*. 2013. V. 63. № 1Т. P. 135-138.
2. Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V. Evaluation of hydrodynamic instabilities in inertial confinement fusion target in a magnetic field // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2013. № 4 (86). P. 103-107.
3. Кузенов В.В., Рыжков С.В. Радиационно-гидродинамическое моделирование контактной границы плазменной мишени, находящейся во внешнем магнитном поле // *Прикладная физика*. 2014. № 3. С. 26-30.
4. Ryzhkov S.V. Low radioactive and hybrid fusion - a path to clean energy // *Sustainable Cities and Society*. 2015. V. 14. P. 313-315.
5. Рыжков С.В. // *Известия РАН. Сер. Физическая*. 2014. Т. 78. С. 647-653.
6. Кузенов В.В., Рыжков С.В. Разработка метода расчета физических процессов в комбинированных схемах магнитно-инерционного удержания плазмы // *Известия РАН. Сер. Физическая*. 2016. Т. 80. С. 659-663.
7. Кузенов В.В., Лебо А.И., Лебо И.Г., Рыжков С.В. Физико-математические модели и методы расчета воздействия мощных лазерных и плазменных импульсов на конденсированные и газовые среды. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. 328 с.
8. Kuzenov V.V., Ryzhkov S.V. Numerical modeling of magnetized plasma compressed by the laser beams and plasma jets // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2013. № 1 (83). P. 12-14.
9. Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V., Shumaev V. V. Application of Thomas-Fermi model to evaluation of thermodynamic properties of magnetized plasma // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2015. No. 1 (95). P. 97-99.
10. Кузенов В.В., Рыжков С.В., Шумаев В.В. Определение термодинамических свойств замагниченной плазмы на основе модели Томаса–Ферми // *Прикладная физика*. 2014. № 3. С. 22-25.
11. Kuzenov V. V., Ryzhkov S. V., Shumaev V. V. Numerical thermodynamic analysis of alloys for plasma electronics and advanced technologies // *Problems of Atomic Science and Technology*. 2015. No. 4 (98). P. 53-56.
12. Шумаев В.В. Расчет термодинамических функций плазмы алюминия для энергетических систем с высокой плотностью энергии // *Ядерная физика и инжиниринг*. 2015. Т. 6, № 5-6. С. 309–314.

ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПЛЕНОЧНОГО МАЙЛАРА

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Таипова Б.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

Для физики полимеров одной из основных задач является изучение особенностей и специфики поведения высокомолекулярных соединений при воздействии различных видов радиации, в частности, большое значение имеет изучение свойств растворов и расплавов полимеров и возможности формования из них изделий с заданными свойствами [1,2]. Ионизирующее излучение в полимерах вызывает одновременные процессы сшивания и деструкции, изменяет молекулярный вес макромолекулы, исчезают одни типы связи и появляются другие, т.е. происходит пространственное превращение вещества, что и формирует свойства модифицированного материала. В работе [3] получены новые модифицированные полимеры с необычными свойствами при облучении политетрафторэтилена при температуре выше температуры плавления кристаллической фазы (327 °С). При этом происходит изменение физико-химических свойств пленок связанное образованием пространственной сетки узлов сшивания полимерных цепей. Отмечены аномалии в поведении полимера, связанные с низкой степенью его деструкции вследствие облучения в расплаве. Синтезирован политетрафторэтилен в виде блочных образцов при воздействии  $\gamma$ -излучения <sup>60</sup>Co (1,25 МэВ) в присутствии примеси кислорода, растворенного в объеме блочных образцов при относительно малых поглощенных дозах (до 20 Мрад). При этом были достигнуты высокие изменения макроскопических свойств: износостойкости и ползучести, связанные с изменением морфологии полимера за счет накопления радиационных дефектов в кристаллической фазе. Не менее важными являются работы по применению радиационно-химической технологии получения модификаций полиэтилентерефталата, так как он обладает повышенными эксплуатационными характеристиками и имеет преимущества перед материалами. В связи с этим, данная работа посвящена изучению влияния электронного облучения на свойства пленки Майлар.

Предварительно были определены максимальные разрывные напряжения материалов. Образцы полиэтилентерефталатной промышленной пленки типа Maugar с размерами: ширина 5 мм, рабочая длина 50 мм, толщина 100 мкм облучались на воздухе в специальных держателях на ускорителе электронов типа ЭЛУ-6 при 20 °С с энергией 4 МэВ, плотностью тока 0,5 мкА/с, длительностью импульсов 5 мкс, при частоте их повторения 200 Гц до дозы (D)  $0 \div 10^6$  кГр. Затем механические свойства исследовались на компьютеризированной разрывной машине типа РМУ-0,05-1 со скоростью раздвижения зажимов  $36,09 \pm 0,05$  мм/мин. Перемещение захвата, связанного с измерителем, было равным 0,1 мм. Испытания проводились в виде одноосного растяжения с помощью специального реверсора при постоянной нагрузке и температуре  $20 \pm 2$  °С, относительной влажности воздуха ( $45 \pm 5$ ) %. Пленочные образцы испытывались на растяжение при нормальных условиях вплоть до разрыва. Результаты исследования влияния дозы облучения и температуры на механические свойства исследуемого образца показали постоянство относительного удлинения до  $10^4$  Гр с ростом дозы электронного облучения и резкое падение до 0 в интервале  $10^4 - 10^6$  Гр, что объясняется усиливающимися процессами деструкции, происходящими в Майларе. Для интервала температур 293 – 473 К значения  $\epsilon$  изменяются на 50 %. При воздействии внешних нагрузок на полимерный материал, напряжение распространяется с определенной скоростью от точки приложения силы вдоль образца и ближайший ослабленный фрагмент пленки будет являться точкой разрыва. При больших дозах и усугубляемых действиях температуры фрагменты установочных слабосвязанных элементов резко снижают механическую прочность полимера. В интервале доз  $10^4 - 10^6$  Гр наблюдается существенное различие  $\epsilon$ , наибольшее из которых имеет место при температуре  $T = 293$  К. С ростом  $T$  величина  $\epsilon$  уменьшается. Влияние облучения на деформацию и неупругие характеристики полимеров является значительным, наиболее воздействующее на аморфную фазу материала, деструкция происходит, в основном, по главной цепи, поскольку в ней возникают высокие напряжения.

1. Кудайкулова С.К., Исаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Abadie M., Жубанов Б.А. и др. Полимеры специального назначения. – Алматы, 2006. – 310 с.

2. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Kozhamkulov B.A. Study on the physical and mechanical properties of composites based on polyimide and polycarbonate // Mechanics of composite materials. – 2015. – Vol. 51, № 1. P. – 115 – 118.

3. Хатипов С.А., Конова Е.М., Артамонов Н.А. Радиационно-модифицированный политетрафторэтилен: структура и свойства // Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева. – 2008. – Т. ЛП, № 5. – С. 64 – 72.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ ЛАВСАНА И ИТТРИЕВОЙ КЕРАМИКИ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Таипова Б.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

Как правило, промышленные материалы подвергаются существенным внешним воздействиям (тепловым, механическим коррозионным, электрическим, магнитным и др.) и технический спрос к их эксплуатационным свойствам при этом ужесточается. Одним из перспективных методов модификации композитов являются введение наполнителя и воздействие ионизирующего излучения [1]. Варьирование концентрации второго компонента и дозы облучения позволяют регулировать свойства материала. Способ создания полимерных композитов методом смешения компонентов является довольно сложным из-за порой их термодинамической несовместимости. Выбор же матрицы и наполнителя и технология синтеза определяют в конечном счете особенности физико-механических свойств получаемых материалов [2]. Под действием ионизирующих излучений, как известно, полимеры структурируются и подвергаются деструкции, определяя скорость рекомбинации разрыва связей. От условий облучения и вида полимера абсолютные величины и соотношения скоростей этих процессов могут существенно меняться. Например, введение до 15 % каучука в хрупкий полистирол приводит к получению ударопрочного композитного материала; облучая политетрафторэтилен  $\gamma$ -квантами при температуре выше 327 °С получается полимер с необычными свойствами; смешивая поликарбонат, полибутадиентерефталат и каучук синтезируется композиция с повышенной ударной прочностью, морозостойкостью, устойчивостью к агрессивным и другими средам. Керамические ВТСП материалы очень хрупкие и обладают малой прочностью, но введение их в полимерную матрицу позволяет получать полимерный композиционный материал (ПКМ) со структурным совершенством поликристаллитов и пластическими свойствами полимеров.

Объектом исследования был выбран композит на основе полиимида и наполнителей: полиэтилентерефталат (ПЭТФ) и высокотемпературный (ВТСП) сверхпроводник  $YBa_2Cu_3O_{6,7}$  (в виде мелкокристаллического порошка), полученные методом механического смешения. Образцы с шириной 5 мм, рабочей длиной 50 мм и толщиной 40 – 85 мкм нарезались на специальной установке. Предварительно были определены их максимальные разрывные напряжения. Затем производилось облучение материалов на воздухе на ускорителе электронов ЭЛУ-6 при 20 °С с энергией 4 МэВ, плотностью тока 0,5 мкА/с, длительностью импульсов 5 мкс при частоте их повторения 200 Гц. Поглощенные дозы составляли 0 – 250 кГр. Одноосное растяжение исследуемых образцов производилось на компьютеризированной разрывной машине типа РМУ-0,05-1 со скоростью раздвижения зажимов  $36,09 \pm 0,05$  мм/мин. при постоянной нагрузке и температуре  $20 \pm 2$  °С, относительной влажности воздуха ( $45 \pm 5$ ) %, перемещении захвата 0,1 мм. Все полученные экспериментальные данные прошли требуемую математическую обработку (система Mathematica 5).

Проведенные экспериментальные исследования выбранных материалов показали, что 5 мас.% наполнитель ПЭТФ приводит к улучшению механических свойств и термических показателей композита, а добавка ВТСП увеличивает прочностные, но ухудшают пластические свойства. Введение лавсана до 5 мас.% ведет к увеличению относительного удлинения в 6 раз, а разрывного напряжения – в 1,5 раза по сравнению с исходным полиимидом. Воздействие электронного облучения увеличивает пластичность в 3,8 раза и прочность на 36 %. Введение лавсана и воздействие электронного облучения усиливают процессы сшивания и структурируют наночастицы полиимида с нанокаркасом полиэтилентерефталата. Получено, что 0,1 мас.% доля ВТСП приводит к увеличению прочности на 28 % и 45 % как для необлученного, так и для облученного дозой 250 кГр, соответственно. При этом пластичность образца падает в 4,5 раза для необлученного образца, для облученного в ~ 6 раз. Анализ результатов исследований показывает, что увеличение предела прочности композитных пленок системы ПИ+ВТСП после облучения связано с усилением взаимодействия граничных слоев матрицы с поверхностью наполнителя.

1. Кудайкулова С.К., Исаков Р.М., Кравцова В.Д., Умерзакова М.Б., Abadie M., Жубанов Б.А. и др. Полимеры специального назначения. – Алматы, 2006. – 310 с.

2. Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Kozhamkulov B.A. Study on the physical and mechanical properties of composites based on polyimide and polycarbonate // Mechanics of composite materials. – 2015. – Vol. 51, № 1. – P. – 115 – 118.



ФОРМИРОВАНИЕ ПОР В ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ КРЕМНИИ

Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Комаров Ф.Ф.<sup>3</sup>, Лисицын В.М.<sup>4</sup>, Таупова Б.Г.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Казахский Национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup> Белорусский государственный университет им. Сеченова, Минск, Беларусь,

<sup>4</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический Университет, Томск, Россия

Как известно, профили внедренных ионов при различных температурах и дозах имплантации (в случае отсутствия перераспределения примеси) и протекающие процессы, которые зависят от характера экспериментальных условий и физико-химических свойств атомов мишени и примеси, достаточно хорошо изучены. Метод химического травления позволяет варьировать размеры пор, что ведет к синтезу новых фаз при имплантации и можно получать материалы с заданными свойствами. Исследование процессов высокодозной ионной имплантации азота в железо и медь выполнено нами ранее [1, 2].

В работе проведены исследования по формированию наноразмерных (конусообразных и цилиндрических) пор в двуокиси кремния на кремнии после его облучения ионами (висмута) и травления генерированных трековых зон на двуокиси кремния. Получены зависимости диаметра  $y$  пор от глубины  $x$ . Исследуемые цилиндрические образцы перед облучением были протерты специальным раствором для корректности исследований. Облучение с энергией 710 МэВ производилось в специальной вакуумной камере ионами висмута до различных интегральных доз в интервале  $(1 - 20) \cdot 10^8 \text{ см}^{-2}$ . Затем образцы проходили обработку в 1,2 процентном растворе плавиковой кислоты. С помощью сканирующего электронного микроскопа были проведены структурные исследования образцов. Параметры треков варьировались временем травления и концентрацией кислоты в растворах или парах жидкости. Было осуществлено экспериментальное определение диаметра пор  $y$  на различных глубинах их образования  $x$  и построены зависимости  $y$  от  $x$ . Получено, что с увеличением глубины прохождения ионов диаметр поры уменьшается как для конусообразных так и для цилиндрических пор. При этом для цилиндрических (или усеченно-конусообразных) пор  $y$  с увеличением  $x$  изменяется значительно медленнее.

Разработаны простейшие физические модели зависимости диаметра поры от глубины для конусообразных и цилиндрических образований и предложены две модели: линейная и экспоненциальная.

Для линейной модели:

$$y = D - px. \quad (1)$$

Для конусообразных пор  $p$  составляет 0,49 и 0,33, а  $D = 130$  и  $120$  нм. Для выпуклостей цилиндрических пор  $p = 0,14$  и  $D = 78$  нм, а для ямок – 0,15 и 70 нм соответственно.

Для экспоненциальной модели:

$$y = \exp(-cx), \quad (2)$$

где коэффициент  $c$  зависит от типа материала и типа и концентрации кислот в растворе.

По формуле (1) произведены расчеты зависимостей  $y$  от  $x$  для конусообразных и для цилиндрических пор в рамках линейной модели и получено неплохое согласие расчетов с экспериментальными данными. Экспоненциальная модель хуже описывает эксперименты.

1. Комаров Ф.Ф., Купчишин А.И., Кылышканов М., Шмыгалева Т.А. и др. Моделирование на ЭВМ и экспериментальные исследования радиационных процессов в железе и твердых сплавах – Алматы: КазНПУ им. Абая, НИИ ЭТФ КазНУ им. аль-Фараби, ТОО «КАМА», 2010. – 263 с.

2. Żukowski P., Karwat Cz., Komarow A.F., Komarow A.A. Symulacja komputerowa procesów implantacji dużych dawek jonów azotu do miedzi//Jakość energii elektrycznej i wyrobów elektrotechnicznych: Mater. IV Konf. – Świnoujście. – 1998. – S. 254 – 261.

**ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУР**

*Махкамов Ш., Таиметов М.Ю., Саттиев А.Р., Эрдонов М.Н., Холмедов Х.М.*

Институт ядерной физики АН РУз, г.Ташкент, Узбекистан, e-mail: [sattiev@inp.uz](mailto:sattiev@inp.uz)

В настоящее время существующие теоретические и экспериментальные данные не позволяют выработать единую концепцию по стабилизации параметров и характеристик полупроводниковых материалов и изделий на их основе к радиационному воздействию. Для решения указанной задачи существуют различные технологические методы и способы. Среди существующих способов стабилизации наиболее технологически простым и управляемым является метод легирования полупроводникового кристалла различными быстро диффундирующими примесями или их добавления при выращивании кристалла.

В данной работе рассматривается возможность повышения стабильности кремниевых биполярных структур к воздействию ионизирующего излучения путем введения высокотемпературной диффузией примесей, создающих донорные или акцепторные рекомбинационные глубокие электронные уровни в запрещенной зоне кремния.

Предложен и разработан двухстадийный технологический способ однородного легирования эпитаксиальных слоев биполярных кремниевых структур примесями Pd, Zn и Ag из предварительно изготовленных твердых источников, позволяющий сохранить исходные электрофизические параметры подложек. Разработанный способ дает возможность получить легированные слои до глубин 10 – 12 мкм в течение 3÷5 часов с содержанием концентрации примесей до значений  $(4\div 6) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ .

Контроль параметров и характеристик исходных легированных и облученных образцов проводился электрофизическими и фотоэлектрическими методами. Измерением концентрации примесей методом фотоемкости и времени жизни неосновных носителей тока методом стационарной фотопроводимости в легированных образцах установлено, что сформированные глубокие рекомбинационные электронные уровни в зависимости от вида вводимых примесей проявляют амфотерные (Pd), донорные (Ag) и акцепторные (Zn) свойства и имеют термическую стабильность до температуры 700<sup>0</sup>С.

Изготовленные структуры подвергались нейтронному облучению на атомном реакторе ВВР-СМ института ядерной физики АН РУз. Исследование влияния нейтронного облучения на параметры и характеристики легированных кремниевых биполярных структур проводилось измерением концентрации электрически активных примесных и радиационных дефектных центров, а также времени жизни неосновных носителей тока ( $\tau_n$ ,  $\tau_p$ ) как в n – , так и в p – типе кремния в интервале флюенсов нейтронов  $10^{12} - 10^{14} \text{ см}^{-2}$ .

Из изменений значений  $\tau_n$ ,  $\tau_p$  в зависимости от флюенса нейтронов оценена деградация коэффициента усиления по току и коэффициента передачи тока эмиттера биполярных кремниевых структур.

Установлено, что стабилизация параметров и характеристик кремниевых структур определяется типом и концентрацией вводимых примесей. Формирование донорного электронного уровня в n-Si и акцепторного в p-Si приводит к уменьшению степени деградации параметров и характеристик кремниевых биполярных структур.

Показано, что управляя концентрацией донорных и акцепторных примесей легированных эпитаксиальных слоев, положением уровня Ферми и удельным сопротивлением исходного базового материала можно повысить стабильность кремниевых структур к воздействию нейтронного облучения в 15 – 20 раз по сравнению с нелегированными образцами.

Обсуждены типы и эффективность протекания квазихимических реакций с участием легированных примесей и радиационных дефектов, образующихся при нейтронном облучении.

Предложен физический механизм, объясняющий повышение стабильности легированных биполярных кремниевых структур к воздействию радиации, основанный на взаимодействии сформированных метастабильных примесных центров с радиационными дефектами.

**SURFACE AND STRUCTURE OF (ZrTi)(CN) NANOCOMPOSITE COATING**

Tashmetov M.Yu., Yuldashova I.I., Abdurakhimov B.A.

100214, Institute of Nuclear Physics, Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan  
iroda\_yuldasheva@rambler.ru

Strong demand is for materials of machinery construction and material science which the surfaces are resistant to erosion, fretting, corrosion. The most promising way to improve of performance of this product is coating of surface layers of the specified properties or directed surface modification.

In this scientific work the surface and structure of the (ZrTi)(CN) nanocomposite coating are studied. Scanning electron microscopy (SEM) was used for determination of composition and distribution of coating on the surface. According to the SEM results the sample consists of the next contents – Zr – 65,3 mass.%, Ti – 10 mass. %, C – 20,6 mass. %, N – 4,1 mass. %. Atomic force microscopy (AFM) was used to study of topography of the initial (Fig.1a), after irradiations to 75 kGy (Fig.1b) and to 275 kGy (Fig.1c) sample surface.

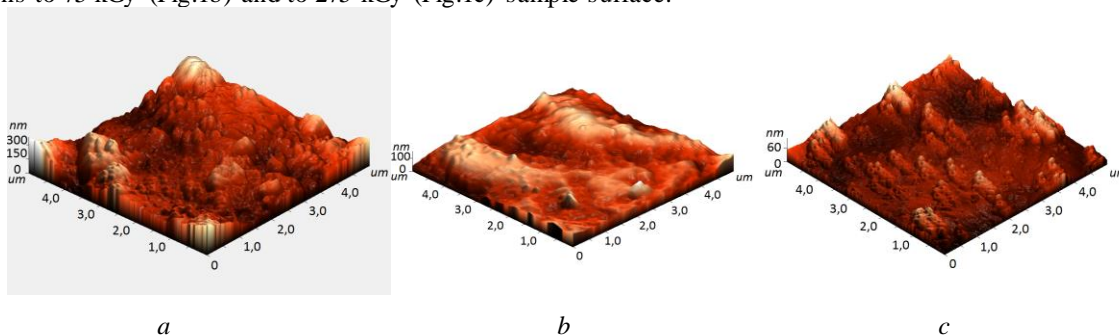


Fig.1. The (ZrTi)(CN) surface topography of atomic force microscopy - a – before irradiation, b – after irradiation (D= 75 kGy), c – after irradiation (D= 275 kGy).

Average roughness of surface  $R_a$  was calculated on the base of images which taken by the AFM. According to account the average roughness before irradiation equal to 328 nm and roughness after irradiation equal to 121 nm (75 kGy) and 106,4 nm (275 kGy). It is established that the surface roughness ~ 3 times can be improved by electron irradiation.

Crystal structure was studied of (ZrTi)(CN) by X-ray diffraction. (Fig.2). The small changes of the cubic unit cell (sp.gr.Fm3m) parameters determined in a sample which irradiated by electrons with a dose of 275 kGy.

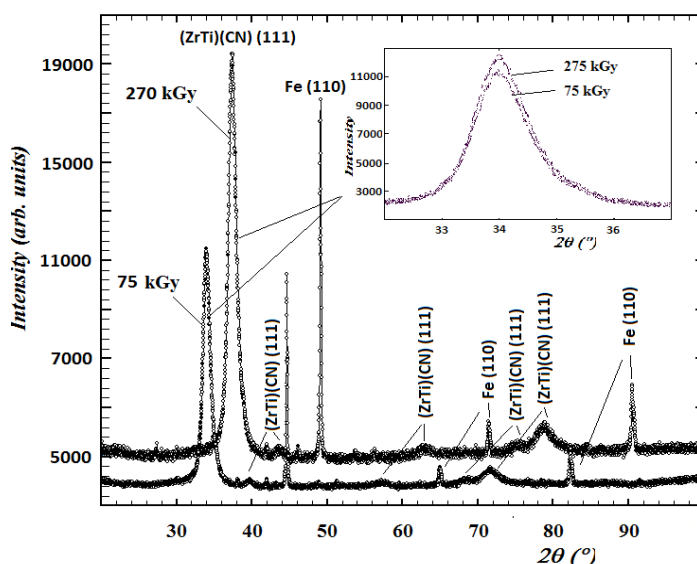


Fig.2. XRD pattern of the (ZrTi)(CN) coating.

The research was done in the framework of the project Science and Technology Agency “Low-dimensional structural changes in alloyed silicon under the influence of radiation and their effect on the properties of a single crystal”.

РАДИАЦИОННОЕ РАСПУХАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ АМГ-2 и САВ-1

Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Аликулов Ш.А., Ахмеджанов Ф.Р., Болтабаев А.Ф., Таджибаев. Д.П.

Институт ядерной физики АН РУз, Ташкент, Узбекистан

Интерес к явлению радиационного набухания и радиационной ползучести конструкционных материалов, работающих в полях ионизирующих излучений, обусловлен опасностью его последствий, связанных с изменением механических свойств этих материалов [1]. Возникновение и развитие в материалах радиационной пористости и соответствующее набухание материала, может служить причиной нестабильности конструкций и снижать надежность их работы. С фундаментальной точки зрения радиационное набухание представляет собой проявление конкуренции сил взаимодействия в дефектной структуре кристалла. Его исследование дает информацию о взаимодействии точечных дефектов с дислокациями и порами и о перераспределении точечных дефектов между различными стоками в материалах [2].

В настоящей работе исследовано воздействие нейтронного облучения на радиационное набухание алюминиевых сплавов САВ-1 и АМГ-2, которые широко используются в качестве конструкционного материала в устройствах, работающих под воздействием больших доз ионизирующего излучения и высоких температур. Образцы сплавов цилиндрической формы (высота 20 мм, диаметр 15 мм) облучались быстрыми нейтронами в вертикальных каналах реактора ВВР-СМ ИЯФ АН РУз (флюенсы  $1.3 \cdot 10^{17}$ ,  $1.1 \cdot 10^{18}$  и  $5.2 \cdot 10^{18}$  н/см<sup>2</sup>). Рентгеноструктурный анализ и определение содержания примесей в исходных образцах сплава производились с помощью рентгеновского микроанализатора "Jeol" JSM 5910 IV (Япония). Анализ показал, что неосновные примеси (Ni, Si, Fe, Zn, Mn и др.) в сумме составляли не более 0.5%. Изменение диаметра и высоты цилиндрических образцов под воздействием облучения контролировалось с помощью микрометра с абсолютной точностью  $\pm 2$  мкм.

Исследования показали что под воздействием быстрых нейтронов происходит набухание сплавов, которое, очевидно, обусловлено образованием и ростом пор в их объеме [2, 3]. В работе [3] было показано, что распределение пор по размерам имеет характер распределения Гаусса, и связано с одновременным зарождением пор вследствие нарушения устойчивости системы избыточных вакансий облучаемого материала. Причиной дальнейшего роста поры после образования зародыша размером больше критического является вакансионный поток, вызванный градиентом вакансий под действием нейтронного излучения.

Полученные результаты были использованы для расчета относительного изменения объема образцов  $\Delta V/V_0$  под воздействием нейтронного излучения. Расчет проводился с помощью соотношения:

$$\Delta V/V_0 = [(1+A) \cdot (1+B)^2 - 1], \quad (1)$$

где  $A = \Delta L/L_0$ ,  $B = \Delta d/d_0$  – относительное изменение, соответственно, высоты и диаметра образца.

Используя данные [4], был определен избыточный объем, приходящийся на малые и крупные поры. Затем, предполагая, что наблюдаемое набухание обусловлено образованием и ростом пор в объеме всего образца, была определена концентрация избыточных вакансий. Полученная величина концентрации избыточных вакансий, возникающих под воздействием нейтронного излучения,  $C = 6 \cdot 10^{21}$  моль<sup>-1</sup> является оценочной и справедлива по порядку величины. Показано также, что в широком диапазоне флюенса быстрых нейтронов зависимость набухания от дозы отклоняется от линейной зависимости в сторону суперлинейной. Наблюдаемое отклонение может быть обусловлено вкладом междоузельных атомов.

Литература

1. Воеводин В.Н. Конструкционные материалы ядерной энергетики – вызов 21 века. Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (90), 2007. № 2 с. 10-22.
2. Козлов А.В. Действие нейтронного облучения на металлы при различных температурах и возможность самоорганизации протекающих при этом процессов. Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2006. Т. 37, вып 4, с. 1110-1150.
3. Орлов А. В., Кривобоков В. П., Орлов В. Л. Интегральный эффект радиационного набухания. Вестник Югорского государственного университета. 2009. вып. 2 (13). с. 71–76.
4. Лебедев В.М., Лебедев В.Т., Орлов С.П., Марголин Б.З., Морозов А.М. Исследование наноразмерной структуры сплава САВ-1, облученного быстрыми нейтронами до высоких флюенсов, методом малоуглового рассеяния нейтронов. ФТТ, 2014, Т. 56, вып. 1, с. 160-164.

## ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДА С ВЫСОКОЙ ЕМКОСТЬЮ ИЗ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФИТА

Чихрай Е.В.<sup>1</sup>, Абдуллин Х.А.<sup>2</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>2</sup>, Исмаилов Д.В.<sup>2</sup>, Кенжина И.Е.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Национальная нанотехнологическая лаборатория открытого типа КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Углеродные наноструктурированные материалы, такие, как графен и малослойный графит, благодаря своим уникальным свойствам - высокая удельная поверхность, химическая стойкость, высокая электропроводность - находят широкое практическое применение. Поскольку электроды для химических источников тока, для топливных элементов и суперконденсаторов выдвигают требование высокой удельной площади и химической стойкости, углеродные наноструктурированные материалы перспективны для их создания. Поэтому разработка низкочастотных методов получения углеродных наноструктурированных материалов с заранее заданными свойствами обладает высокой актуальностью. В настоящем сообщении приведены результаты по получению малослойного графита из недорогого исходного материала – чешуйчатого серебристого графита.

Оксид графита синтезировали из чешуйчатого графита модифицированным методом Хаммера. Полученный порошок промывали в соляной кислоте и в воде. После центрифугирования был получен нейтральный темно-коричневый раствор, который оставался стабильным на протяжении, по крайней мере, 3 месяцев.

Оксид графита осаждался из раствора на поверхность подложки (стекло, кремниевая пластина либо латунная сетка) для исследования методами рамановской спектроскопии, рентгеновской дифракции, оптической и сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Результаты проведенных анализов свидетельствуют о получении оксида графита с преобладающим вкладом малослойного графита. Это подтверждают рамановские спектры и рентгеновские дифрактограммы образцов, типичные для оксида графита. Температура отжига, приводящая к восстановлению структуры оксида графита и росту межплоскостного расстояния с 0.78 нм до 0.33 нм, составляла 150-200°C. Примерно в том же диапазоне температур отжига, который проводился на воздухе, падало и электрическое сопротивление тонких слоев оксида графита, нанесенных на стеклянную подложку, с высоких значений (более 1 Гом) до ~1 кОм.

По снимкам СЭМ и оптического микроскопа можно судить о площади и толщине полученных образцов, в которых присутствует высокая доля малослойного графита. Измерена емкость электродов из восстановленного оксида графита, нанесенного на латунную сетку, в электролите методом измерения вольт-амперных характеристик при циклической развертке с постоянной скоростью по напряжению. Достигнута емкость около 10 Ф/г.

В результате проделанной работы была отработана методика получения оксида графита и малослойного графита из чешуйчатого литейного графита, имеющего низкую стоимость и доступного на рынке. Получены углеродные наноматериалы с высокой удельной поверхностью и высокой электропроводимостью.

Исследования проводились при поддержке гранта #3109/GF4 МОН РК

## ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ $Pu_xU_yN_z$

Лукоянов А.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Компьютерное моделирование электронной структуры и магнитных свойств серии соединений  $Pu_xU_yN_z$  проведено в широком интервале концентраций  $x$ ,  $y$  и  $z$  по составу, включая крайние соединения UN и PuN. Теоретические расчеты для различных химических составов выполнены в рамках метода LDA+U+SO, основанного на теории функционала плотности DFT, в приближении локальной электронной плотности LDA с поправками на сильное электронное взаимодействие и спин-орбитальную связь 5f электронов. Ранее было показано для UN и PuN, что исследование актиноидных систем, включая  $Pu_xU_yN_z$ , осложняется присутствием в 5f оболочке актиноидных ионов сильной спин-орбитальной связи, сопоставимой по силе с обменным взаимодействием (ЖЭТФ 150, 991 (2016)). В результате конкуренции этих взаимодействий реализуется промежуточный тип связи. В настоящей работе проведены исследования влияния объема ячейки и параметров

взаимодействия, а также искажений кристаллической решетки на величины магнитных моментов, тип связи и другие характеристики данных соединений. Результаты проведенного моделирования показывают, что электронные состояния  $R_{1x}U_{y}N_z$  в силу сильного спин-орбитального расщепления 5f зоны плутония почти полностью разделены на подзону, располагающуюся ниже уровня Ферми и содержащую мощный пик на уровне Ферми для полного момента  $j = 5/2$  и подзону с  $j = 7/2$ , практически незаполненную. Полученные данные могут в дальнейшем использоваться для учета влияния различных дефектов и искажений кристаллической структуры на свойства наноструктурных образцов нитридных топливных материалов.

Работа выполнена при поддержке проекта Комплексной программы РАН 15-8-2-4 и СП-226.2015.2 программы РАН 15-8-2-4 и СП-226.2015.2 программы РАН.

**РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТЕЙ НАРАБОТКИ  $^3\text{H}$ ,  $\text{He}$  В ЛИТИЕВОЙ КПС ПРИ ЕЕ ОБЛУЧЕНИИ НА РЕАКТОРЕ ИВГ.1М И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ТЕРМАЛИЗАЦИИ ИОНОВ**

*Прозорова И.В., Скаков М.К., Тажимаева И.Л., Кульсартов Т.В. )<sup>1</sup>,*

Институт Атомной Энергии НЯЦ РК, Красноармейская 10, Семипалатинск-21, 490060, Казахстан  
Fax (7-322512)3125, E-mail: [iae@mnc.kz](mailto:iae@mnc.kz)

)<sup>1</sup>Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики, ул. Толе би, 96а Алматы, 480012, Казахстан, Fax (7-3272)503978.  
E-mail: [tima@physics.kz](mailto:tima@physics.kz)

Высока востребованность экспериментальных установок для облучения нейтронами с энергией 14 МэВ, которые очень важны для разработки дивертора установки термоядерного синтеза. Обычные нейтронные генераторы могут использоваться только в специализированных лабораториях и сложны для обслуживания. Исследовательский реактор является привлекательной альтернативой этим устройствам.

Оптимальная температура плазмы, при которой максимален энергетический выход дейтерий-тритиевой термоядерной реакции — 10 КэВ. Из этого следует, что для работы токамака необходимо термически изолировать разрядную стенку от горячей плазмы. Основные задачи дивертора — термоизоляция стенки камеры токамака и предотвращение диффузии примесей в центр плазменного шнура. В целях компенсации сил, возникающих во время разряда, было предложено использование литиевых капиллярно-пористых систем (КПС) — принципиального нового материала, в котором жидкий литий заключён в матрицу из пористого материала и удерживается силами поверхностного натяжения.

Целью экспериментов являлось облучение образцов с литиевой КПС в ампульном устройстве на реакторе ИВГ.1М. Задачей данного исследования состояла в выборе основных параметров устройства, которое включало в себя выбор состава материалов, размеров устройства, объемов исследуемых образцов. Также была выполнена оценка энерговыделения литиевой КПС при термализации ионов для всех вариантов размещения.

На основе результатов физических расчетов была выбрана конструкция, обеспечивающая заданные технические условия по облучению образцов литиевой КПС.

Работа выполнена при поддержке Международного научно-технического центра (Грант № К-2204).

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДЕТЕКТОРА ИЗ ОСОБО ЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ

*Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В.*

Институт Атомной Энергии НЯЦ РК, Красноармейская 10, Семипалатинск-21, 490060, Казахстан  
Fax (7-322512)3125, E-mail: [Prozorova@nnc.kz](mailto:Prozorova@nnc.kz)

Одной из важнейших современных проблем геоэкологии является разработка методов и средств контроля радиационного фона естественного и техногенного происхождения на основе высокоточных портативных полупроводниковых детекторов. Известные способы расчета таких детекторов по методу Монте-Карло широко применяются в области радиационной безопасности: радиационная защита, расчеты ядерных реакторов, экранирование и моделирование детекторов, проводятся расчеты радиационных параметров полей источников ионизирующего излучения. Программа MCNP, реализующая метод Монте-Карло является инструментом моделирования для переноса излучения, в основном в тех случаях, когда измерения затруднены или практически не выполнимы. В данной работе программа MCNP использовалась для моделирования детектора из особо чистого германия ОЧГ Ge(Li) и методики по улучшению определения функции отклика для данного типа детектора. Результаты, полученные при моделировании являются достаточно точными, имеется хорошие совпадения между модельными и экспериментальными данными.

Моделирование детектора из ОЧГ с помощью метода Монте-Карло важно для получения эффективности регистрации в случае образцов с нестандартной геометрией и при больших выборках, когда эффективность сложно оценить экспериментально. В данной работе представлены расчеты эффективности полупроводникового детектора, широко используемого в нашей лаборатории для различных образцов, которые были выполнены для геометрии с точечным источником, и затем параметры детектора были оптимизированы с 5 % погрешностью между MCNP и экспериментальной эффективностью на различных расстояниях от детектора. Оптимизированная геометрия детектора затем была подтверждена эффективным переносом в другие геометрии.

В ходе проведенных расчетов выявлено влияние некоторых параметров кристалла детектора на результаты расчета эффективности регистрации гамма-квантов различных энергий:

- радиус детектора в большей степени влияет на угол наклона кривой эффективности в области низких энергий;
- эффект «мертвого слоя» будет иметь большее значение для низкоэнергетических гамма-квантов, в то время как эффект глубины технологического отверстия будет иметь большее значение для гамма-квантов с энергией выше 1,0 МэВ;
- с увеличением глубины технологического отверстия угол наклона кривой эффективности меняется в большей степени в области высоких энергий. Таким образом, можно сделать вывод о существенном влиянии геометрических параметров кристалла на эффективность регистрации детектора.

Изменяя геометрические размеры кристалла детектора, которые оказывают значительное влияние на эффективность детектора, можно добиться максимального совпадения расчетных и экспериментальных значений эффективности регистрации детектора. Использование метода Монте-Карло полезно при моделировании системы «источник – детектор» для случаев анализа радиоактивных поглощающих образцов с нестандартной геометрией, когда форма и плотность анализируемого образца и калибровочного источника различаются.

СТРУКТУРА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК  $\text{CuO}_x$ , ПОЛУЧЕННЫХ ПИРОЛИЗОМ ГАЛОГЕНИДОВ МЕДИ

*Мигунова А.А., Антощенко В.С., Францев Ю.В.*

КазНУ им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан, [anastassiya.migunova@gmail.com](mailto:anastassiya.migunova@gmail.com)

Материалы на основе  $\text{CuO}_x$  представляют интерес в связи с возможностью их использования в качестве светопоглощающих слоев солнечных элементов и селективных покрытий солнечных коллекторов, в установках фотоэлектрохимического разложения воды, электродных материалов для получения водорода и гетерогенных катализаторов, твердотельных газовых сенсоров и СВЧ диэлектриков.

Условно технологические процессы можно разделить на «сухие», отличающиеся использованием особо чистых сырьевых компонентов, и так называемые «мокрые» или химические методы, в которых чистота прекурсоров во всем мире оставляет желать лучшего, но они отличаются простотой и не требуют сложного дорогостоящего оборудования и специалистов. К сухим методам относят термическое окисление, магнетронное распыление и осаждение из газовой фазы, к «мокрым» - золь-гель технологию, электроосаждение и

распылительный пиролиз. В большинстве выполненных ранее исследований были получены смешанные фазы, состоящие из Cu, CuO и Cu<sub>2</sub>O, что является основной проблемой при использовании синтезированных слоев в качестве активного компонента электронных устройств. Другими недостатками этих методов являются низкая скорость роста (сложность получения пленок толщиной более 1 мкм), применение дорогостоящего оборудования, многоступенчатых и высокотемпературных процессов. В настоящей работе предложен новый метод синтеза пленок CuO и Cu<sub>2</sub>O – каталитическое термическое разложение галогенидов меди, исследованы состав и свойства пленок.

Суть метода заключается в обработке медных порошков различной зернистости (в нашем случае это были порошки 100, 200 и 300 меш) водными растворами хлорида меди или йодида калия в присутствии сернохлоридной меди для активации этих порошков. С увеличением времени пиролиза толщина пленок увеличивалась. Контроль толщины осуществлялся гравиметрическим методом с использованием электронных весов CPA 225D (Sartorius) с ценой деления 0,01 мг. В случае хлоридной методики, порошок CuCl<sub>2</sub> на поверхности частиц медного катализатора выше 80 °C разлагается до CuCl, затем окисляется выше 230 °C до CuO. При температурах выше 250 °C с увеличением времени пиролиза от 20 до 40 мин в покрытиях CuO увеличивается присутствие недоокисленной фазы Cu<sub>2</sub>O. Следует также отметить влияние зернистости порошкового катализатора на скорость диффузии кислорода к поверхности роста пленки. Чистую монофазу Cu<sub>2</sub>O удается получить в интервале 450-550 °C. По йодидной методике пиролиза пленки Cu<sub>2</sub>O получают после разложения CuI на поверхности частиц катализатора выше 350 °C после реакции между KI и медным купоросом при комнатной температуре. Все пленки оксидов меди на стеклянных подложках механически чрезвычайно устойчивы. Превосходная адгезия отмечается также на кварцевых, алюминиевых, керамических подложках и слюде, на стали покрытия отслаиваются. Пленки оксидов меди, полученные по хлоридной методике, имеют большую шероховатость поверхности, чем выращенные по йодидной методике. Шероховатость оценивалась количественно с использованием измерителя TR200 <http://ndt1.ru/product/tr200/>, выполненного на основе высокоточного индуктивного датчика с алмазным стилусом.

Состав порошков для пиролиза и выращенных из них пленок исследован методом рентгеновского фазового анализа (РФА) на дифрактометре D8 ADVANCE (Bruker AXS, Германия). Активированные по хлоридной методике порошки показывали фазы CuCl и Cu<sub>2</sub>O в одинаковых количествах до и после пиролиза при 300 °C за 30 мин. По йодидной методике пиролиза следует отметить 100-мешный катализатор, на который приходится наименьшее количество CuI, тем не менее способного наиболее полноценно при 400 °C перейти в фазу Cu<sub>2</sub>O – до 75 %. Порошки 200 и 300 меш настолько активны, что безо всякой термообработки переходят в оксид меди (I), что усложняет пиролиз и вызывает технологические неудобства. Поверхностный рельеф пленок CuO<sub>x</sub> исследован с помощью универсального комплекса, совмещающего атомно-силовой микроскоп и Рамановский спектрометр Solver Spectrum (NT-MDT, Россия). Пленки сформированы из отдельных округлых кристаллитов размером 20-60 нм. Данные рамановской спектроскопии хорошо согласуются с результатами РФА.

Спектры пропускания в диапазоне 185-3300 нм и спектры отражения в области 240-2400 нм синтезированных пленок Cu<sub>2</sub>O измерены на спектрофотометре UV-3600 (Shimadzu, Япония). Ширина запрещенной зоны пленок рассчитана по методике Тауца. В пленках CuO с увеличением температуры синтеза  $E_g$  уменьшается. Для образцов, полученных при 250, 300, 325, 350, 375 и 400 °C она составила 1,9; 1,70; 1,56; 1,42; 1,41 и 1,14 эВ. Для тонких пленок Cu<sub>2</sub>O (порядка 60 нм)  $E_g=3$  эВ, для более толстых пленок  $E_g=2,52$  эВ. Холловские характеристики пленок измерены на установке HMS-3000 (Ecoria, США). Для пленок Cu<sub>2</sub>O концентрация дырок  $N_p=4,8 \times 10^{15}$  см<sup>-3</sup>, с подвижностью  $\mu=22$  см<sup>2</sup>/(В×с) и удельным сопротивлением  $\rho=93$  Ом×см, для пленок CuO  $N_p=3 \times 10^{14}$  см<sup>-3</sup>,  $\mu=10$  см<sup>2</sup>/(В×с),  $\rho=2126$  Ом×см.

### СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ГАЗ-ТВЕРДОЕ ТЕЛО В ЦЕРАТАХ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ

*Мунасбаева К.К.<sup>1</sup>, Ахымет К.<sup>2</sup>*

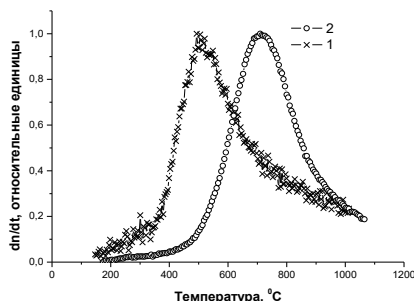
<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан, <sup>2</sup>КазНУ им.аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Бариевые и стронциевые цераты обладают свойством высокотемпературной протонной проводимости и являются перспективными материалами для создания высокоэффективных экологически чистых источников энергии и других электрохимических устройств. Свойства высокотемпературных протонных проводников, в частности, и свойство самой протонной проводимости, зависят от катионного допирования этих материалов низковалентными редкоземельными металлами, которые замещая церий, создают в них кислородные вакансии. При отжиге в определенных условиях, например, в парах воды, образованные таким образом кислородные вакансии могут заполняться гидроксильными ионами, и водород, перескакивая по кислороду решетки, может создавать в этих материалах электрический ток [1].



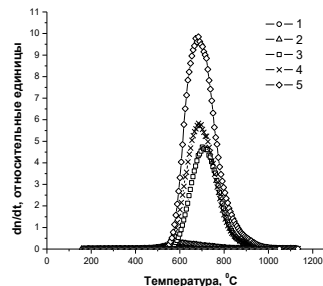
Методом термодесорбционной спектроскопии исследованы процессы сорбции-десорбции газов в цератах бария и стронция, которые описываются перовскитной структурой  $ABO_3$ . При этом варьировали катион в позиции А (Ba, Sr), катион в позиции В (Ce), а также тип допанта ( $Nd^{3+}$ ,  $Y^{3+}$ ) [2].

Обнаружен рост концентрации протонов и кислорода в бариевых цератах с ростом степени их катионного допирования. Выявлена возможность внедрения протонов в номинально чистые цераты бария и стронция, обусловленная смешанным валентным состоянием церия  $Ce^{4+}/Ce^{3+}$  в восстановительной атмосфере (рис.1).



1 – образцы  $BaCe_{0.9}Nd_{0.1}O_3$ ;  
2 – образцы  $SrCe_{0.95}Y_{0.05}O_3$

Рисунок 1 – Сравнительные спектры выхода воды из допированных образцов церата бария и стронция



1 –  $x=0\%$ ; 2 –  $x=1\%$ ; 3 –  $x=10\%$ ; 4 –  $x=12\%$ ;  
5 –  $x=15\%$  Nd

Рисунок 2 – Спектры выделения молекулярного кислорода из керамического  $BaCe_{1-x}Nd_xO_{3-a}$  с разным уровнем катионного допирования  $x$

Установлено, что на допированном церате бария наряду с протонами имеет место внедрение в решетку сверхстехиометрического кислорода, который выделяется при более высокой температуре по сравнению с водой. Обнаружена немонотонная зависимость количества внедренных протонов и кислорода от степени допирования. Увеличение степени катионного допирования бариевых цератов приводит к существенному увеличению концентрации внедренных протонов и кислорода и одновременно снижает содержание в них углекислого газа (рис.2). Впервые обнаружена интенсивная карбонизация цератов бария и стронция при отжиге образцов на воздухе. Сложный характер спектра выделения  $CO_2$  свидетельствует о разложении карбонатов разного типа. На церате бария выявлена обратная зависимость количества десорбированного диоксида углерода от степени допирования – максимальная концентрация  $CO_2$  наблюдается при минимальных уровнях допирования, что вероятно, обусловлено «избытком» бария. Предложено математическое описание процессов сорбции-десорбции кислорода и воды на цератах и определены их энергетические характеристики.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Baikov Yu.M., Gunther W., Gorelov V.P., Colomban P., Baddour-Hadjean R. Hydrogen in perovskites: mechanism of solubility, chemical state, effect on electron subsystem, phase transformation // *Ionic*. - 1998. – Vol. 4, №5-6. - P. 347-354.
- 2 Aksenova T.I, Khromushin I.V, Zhotabaev Zh.R., Bukenov K.D., Berdauletov A.K, Medvedeva Z.V. Thermodesorption study of barium and strontium cerates // *Solid State Ionics*. – 2003. – Vol. 162-163. – P. 31-36.

### REAL-TIME ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF MELTING IN REFRACTORY METALS INDUCED BY NANOSECOND PULSE LASER

Utegulov Z.N., Abdullaev A., Muminov B., Rakhymzhanov A., Mynbayev N.

Department of Physics, School of Science and Technology, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

There is a pressing need to develop advanced instrumentation for measurement of thermal properties of nuclear materials in extreme high temperature environments for the analysis of the operation limits of nuclear reactor fuels for prediction of possible nuclear reactor accidents and for development of next generation safe and efficient nuclear fuels. Similarly, it is important to evaluate high temperature structural integrity of plasma facing components in fusion devices.

Thermal arrest of refractories suffers from strong material-crucible interaction accompanied by volatilization and contamination grossly worsening the accuracy in determination of melting point temperatures. To minimize these

problems substantial progress has been made in developing measurement techniques enabling melting of refractory materials by millisecond laser pulse heating [1,2]. In the present work we explore the response of refractory materials to enable even faster melting regime (down to nanosecond time scale) employing pulse laser technology with real-time detection of the metal-to-melt phase transition by laser vibrometry based on two-wave mixing photorefractive interferometry.

We show automated nanosecond pulsed laser heating of metals across melting, but below ablation regime and have measured laser pulse-induced melting thresholds for different refractory metals by tracking laser-generated acoustic shear waves. Finite element modeling based on coupled elastodynamic and thermal conduction governing equations were found to be in good agreement with experimental results. The onset of melting was attributed to the formation of the molten pool leading to preferential generation of shear waves from acoustic sources surrounding the molten mass resulting in the delay of shear wave arrival times. Observed trend in the increased melting thresholds for given refractory metals is in agreement with the increase of their corresponding melting point temperatures. It was also observed that the relative delay in shear wave arrival times above melting threshold increases in metals with higher melting points.

For above-melting regime, measured transit time delay of shear waves was more pronounced in metals having lower melting points which were attributed to faster rate of molten mass formation in the plane of laser irradiated metal surfaces. This rate was an order of magnitude higher than effective shear wave velocity of studied metals. In these low- $T_{\text{melt}}$  metals the shearing behavior (due to increased Poisson's ratio) in their bulk becomes substantially enhanced not just in terms of risen delay of shear wave arrival times across metals bulk at the onset of laser-induced surface melting, but also in terms of enhanced shear ultrasonic energy deposited to the bulk metal during both laser-induced thermoelastic and above-melting regimes.

Developed "all-optical" technique can be employed for remote, non-contact ultrasonic control of melting in nuclear fuels and plasma facing components of thermonuclear devices with high spatio-temporal resolution.

### Acknowledgement

This research was funded by Nazarbayev University SST0142015 grant and target program № 0115PK03029 "NU-Berkeley strategic initiative in critical state of matter, advanced materials and energy sources" from the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan.

### References

- [1] D. Manara, M. Sheindlin, W. Heinz, C. Ronchi, Review of Scientific Instruments, 79, 113901, 2008
- [2] O. Cedillos-Barraza, D. Manara, K. Boboridis, T. Watkins, S. Grasso, D. Jayaseelan, R. Konings, M. Reece & W. Lee, Scientific Reports, 6:37962, 2016
- [3] A. G. Every, Z. N. Utegulov, and I. A. Veres, Journal of Applied Physics, 114 (20), 203508 (2013)
- [4] A. Abdullaev, B. Muminov, A. Rakhymzhanov, N. Mynbayev, Z. N. Utegulov "Examination of Nanosecond Laser Melting Thresholds in Refractory Metals by Shear Wave Acoustics", *submitted to AIP Advances*

## ULTRAFAST LASER OPTICAL STUDIES OF NEAR-SURFACE THERMAL CONDUCTIVITY IN INSULATORS IRRADIATED BY SWIFT AND HEAVY IONS

Utegulov Z.N.<sup>1</sup>, Alimzhanov D.<sup>1</sup>, Muminov B.<sup>1</sup>, Abdullaev A.<sup>1</sup>, Koshkinbayeva A.<sup>1</sup>, Yakupov T.<sup>1</sup>, Tuigynbek A.<sup>1</sup>, Skuratov V.A.<sup>2,3,4</sup>

<sup>1</sup>Department of Physics, School of Science and Technology, Nazarbayev University, Astana, Kazakhstan

<sup>2</sup>Flerov Laboratory of Nuclear Reactions, Joint Institute for Nuclear Research, Dubna Russia

<sup>3</sup>National Research Nuclear University MEPhI, Moscow, Russia

<sup>4</sup>Dubna State University, Dubna, Russia

Radiation-induced reduction of thermal conductivity [1] is a serious issue for nuclear reactor materials, reactor system design and validation. The vast majority of data on this subject deals with neutron irradiation and almost nothing is known about high energy heavy ion irradiation simulating fission fragment impact. At the same time such data are of considerable practical value especially for several insulators recommended as candidate materials for inert matrix fuel hosts due to large number of fission track recoil in reactor fuels [2].

We have studied nanoscale near-surface thermal transport in several swift heavy ion irradiated polycrystalline ceramics ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ , AlN, ZrN) and single crystals ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ , LiF). These materials were irradiated at  $T < 60^\circ\text{C}$  with 1 - 3 MeV/nucleon Ar, Bi, Xe, Kr ions with fluences ranging from  $10^9$  to  $10^{14}$   $\text{cm}^{-2}$  at IC-100 and U-400 FLNR JINR cyclotrons in Dubna, Russia.

Thermal conductivities were measured using non-contact, nondestructive ultrafast laser-based pump-probe technique called picosecond time domain thermoreflectance (TDTR) [1]. This method makes use of change of laser pump beam-induced reflectivity of thin Al coating covering studied bulk samples and acting as an optical absorber and temperature transducer, which enables one to sample thermoreflectance with picosecond time scale resolution via

scanning probe beam with respect to fixed laser pump beam. Obtained thermorefectance signal is fitted using solution of the thermal diffusion equation for layered (i.e. transducer film - bulk sample) structure [2].

All investigated materials demonstrate substantial degradation of thermal conductivity in their near-surface region with increase of the ion fluence. It is found that degradation of thermal transport in irradiated Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> polycrystalline ceramic is mostly due to point defects, while in single crystalline Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> the ion latent tracks play dominant role in diffusing the heat, which is supported by previous studies.

Additionally, changing the modulation of the pump laser beam in 1 – 10 MHz frequency range enables us to tune the confinement of modulated thermal wave to the subsurface region of fresh and irradiated insulators, the heat penetration depth of which correspondingly ranges on submicron scale. This allows one to probe small volume scales and characterize depth-dependent ion-induced damage. Modulation frequency- and heat penetration depth- dependent thermal transport properties of studied insulators will be discussed in terms of contribution of phonons of different mean free paths and ion-induced structural damage.

#### References

1. D. G. Cahill *et al.*, Appl. Phys. Rev., 1(1), 011305, 2014
2. D. G. Cahill. Rev. Sci. Instr., 75(12), 5119-5122, 2004.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ С ГРАФИТОМ РЕАКТОРА ВТГР

*Кульсартов Т.В., Шестаков В.П., Чихрай Е.В., Кенжина И.Е., Аскербеков С.К.*

Лаборатория конструкционных материалов ядерно-энергетических установок  
НИИЭТФ КазНУ им. аль-Фараби

Как известно рабочие температуры, при которых функционируют конструкционные, поглощающие и тепловыделяющие элементы из графита в активной зоне, колеблются от 300 до 1250 °С в зависимости от типа реактора. В высокотемпературной части этой области, характерной для графитовых материалов реактора ВТГР, происходят реакции окисления графита при взаимодействии с такими примесями в теплоносителе, как O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, что приводит к деградации его прочностных свойств и снижению теплопроводности. Известно, что потеря 3 мас. % образца графита, происшедшая при взаимодействии с примесными в гелии парами воды при 1000 °С, приводит к 30-50% изменению модуля упругости, удельного электросопротивления, коэффициента термического расширения.

Поэтому исследование и испытание реакторных графитов, в особенности исследование их взаимодействия с химическими активными газами, остается одной из актуальных и приоритетных задач прикладного материаловедения.

В представляемой работе были проведены эксперименты по определению изменения газового состава в камере с исследуемыми образцами графита ВТГР. В процессе эксперимента образец линейно нагревался до исследуемой температуры, после чего выдерживался на этой температуре в течении 1800 с. Затем образец медленно охлаждался. В течение эксперимента регистрировалось изменение состава газа в камере.

Эксперименты позволили получить временные и температурные зависимости образования газообразных продуктов взаимодействия кислорода, водяных паров, водорода с графитом ВТГР.

По полученным зависимостям изменения газового баланса в камере были определены аррениусовские зависимости и энергии активации различных процессов взаимодействия химически активных газов с графитом.

Работа выполнена в рамках гранта №3113/ГФ4 МОН РК

## ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И АРГОНА НА ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИТТРИЕМ (YSZ)

Хромушин И.В., Аксенова Т.И.

РГП ИЯФ РК, Алматы, Казахстан

Стабилизированный иттрием диоксид циркония (YSZ) широко применяется на практике, в частности, в качестве твердого электролита в топливных элементах, газовых сенсорах и других электрохимических устройствах, а также является перспективным материалом для использования в ядерных реакторах. В настоящее время ведутся интенсивные исследования, направленные на поиск путей увеличения проводимости этих материалов, а также снижения их рабочих температур. Одним из перспективных способов улучшения проводящих свойств YSZ рассматривается радиационное модифицирование оксида ускоренными ионами.

В данной работе представлены результаты исследований влияния облучения ионами аргона и кислорода на проводящие свойства YSZ разного состава методом импедансной спектроскопии.

В качестве объектов исследований использовали керамические образцы YSZ в виде таблеток диаметром 12 и толщиной 1,5 мм следующих составов: 1 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (3 мол. %), 2 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (10 мол. %) и 3 –  $ZrO_2 + Y_2O_3$  (15 мол. %). Образцы подвергали отжигу на воздухе при температуре 830°C в течение 8 часов, а затем облучали ионами кислорода и аргона с энергией 40 и 100кэВ, соответственно, на ускорителе тяжелых ионов ДЦ-60 (г. Астана). Облучению подвергали поочередно обе стороны образцов; суммарный флюенс составил  $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$ . Расчеты, выполненные с помощью программы SRIM 2013, показали, что в процессе облучения ионами кислорода в оксиде образуется около 279 вакансий/ион, а пробег ионов составляет  $\sim 653 \text{ \AA}$ , а в случае облучения ионами аргона – 844 вакансий/ион и 680  $\text{ \AA}$ , соответственно.

Измерение импеданса выполняли с использованием импедансметра Z-1000P производства г. Черноголовка, Россия в диапазоне частот от 2 МГц до 0.4 Гц в режиме потенциостата на воздухе в диапазоне температур от комнатной до  $\sim 800^\circ\text{C}$ . Electroды на поверхностях исследуемых оксидов были изготовлены из порошка платины с незначительной добавкой органического связующего.

Импедансные спектры были сняты для всех составов образцов YSZ, необлученных и облученных ионами кислорода и аргона. Показано, что характер импедансных кривых необлученных образцов YSZ существенно зависит от концентрации стабилизирующей добавки  $Y_2O_3$ , что отражается на изменении соотношения вкладов в импеданс, обусловленных объемом зерна ( $R_1$ ), межзеренными границами ( $R_2$ ), а также электродными процессами ( $R_3$ ).

Обработка импедансных спектров, выполненная с помощью программы EISAnalyser, показала, что спектры импеданса практически во всех случаях хорошо описывались тремя последовательно соединенными параллельными R|CPE цепочками (CPE – элемент постоянной фазы). Анализ спектров позволил разделить вклады в импеданс объема зерна, границ зерен, а также электродных процессов и определить соответствующие им значения сопротивлений.

Установлено, что облучение ионами кислорода и аргона керамики состава  $ZrO_2 + Y_2O_3$  10.0 мол.% приводит к улучшению проводящих свойств электролита, тогда как облучение YSZ двух других составов приводит к ухудшению их проводящих свойств. На рисунке 1 представлены температурные зависимости сопротивлений объема зерна  $R_1$  керамики YSZ состава 2, облученной ионами аргона и кислорода.

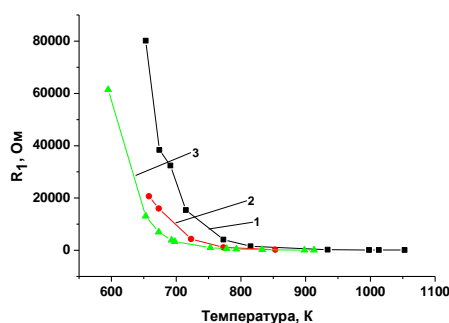


Рисунок 1– Температурные зависимости сопротивления объема зерна керамики состава  $ZrO_2 + Y_2O_3$  10мол %: 1 – необлученный образец; 2 – облученный ионами аргона; 3 – облученный ионами кислорода.

Работа выполнена при поддержке МОН РК (проект 0378/ГФ4).

### ***3. RADIATION ECOLOGY AND METHODS OF ANALYSIS***

- Radio-ecological studies of former nuclear test sites, assessment of risks and radiological issues.
- Technologies for reducing ecological risk of the radiation-hazardous facilities and territories, radioactive wastes handling
- Analytical methods in the radio-ecology and nuclear forensics

### ***3. РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА***

- Радиоэкологические исследования бывших ядерных полигонов, оценка рисков и вопросы дозиметрии
- Технологии снижения экологического риска радиационно-опасных объектов и территорий, обращение с радиоактивными отходами
- Аналитические методы в радиоэкологии и ядерной криминалистике

**URANIUM AND THORIUM DETERMINATION IN SEA SEDIMENT TAKEN FROM AZERBAIJAN  
SECTOR OF CASPIAN SEA**

*Ahmadov M.M., Humbatov F.Y. and Balayev V.S.*

Institute of Radiation Problems of NAS Azerbaijan

The determination of long-lived radionuclides especially in environmental materials such as waters, geological and biological samples, medical samples, nuclear materials and radioactive waste and high-purity materials ceramics and glass is of increasing importance. Uranium of natural isotopic composition consists of three isotopes:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}$  and  $^{234}\text{U}$ , all of them are radioactive.  $^{238}\text{U}$  is an alpha emitter, decaying through the 18-member uranium natural decay series into  $^{206}\text{Pb}$ . Thorium is a naturally occurring radioactive metal that is found at low levels in soil, rocks, water, plants and animals. Almost all naturally occurring thorium exists in the form of either radioactive isotope thorium-232, thorium-230 and thorium-228.

The present study was conducted to investigate the uranium and thorium contents of sediment samples which were collected from 75 different sites in Azerbaijan region of the Caspian Sea.

Sediment samples from the stations were collected by Van Veen Grab fitted with stainless-steel jaws. At each station for metal analysis a sample of approximately 200g was taken from the surface layer of sediment and stored in a container that was frozen on returning to the laboratory. Sediments were sampled air-dried in the laboratory, disaggregated with a mortar and pestle and passed through a 2 mm sieve. Particles larger than 2 mm were discarded. Dry material of size less than 2 mm was mixed well and kept in labeled plastic containers for further analysis. To determine the analytical and handling error, two sub-samples were taken from each of these sediment samples, each undergoing an independent digestion procedure.

About 500 mg of each sample was digested with a mixture of high purity nitric and hydrochloric acids (Merck and Aldrich) according to EPA-3051A method using a microwave unit (Milestone Ethos-1600, Italy). A reference material, LKSD-2 and LKSD-4 lake sediment samples, supplied by the Geological Survey of Canada was digested with the same acid proportions and analyzed for quality control and a blank sample with the same mixture of acids was processed with each batch of samples. The ICP-MS instrument used was an Agilent 7700x (Agilent Technologies, Tokyo, Japan). Uranium and thorium was determined at the mass numbers of 238 and 232.

The concentrations of the analyzed elements in Caspian Sea sediment were as following: U: ranged between 1.115-8.546 mg/kg, average concentration - 2.375 mg/kg, Th: ranged between 3.70-6.948 mg/kg, average concentration - 4.536 mg/kg.

The uranium concentration in the analyzed samples was found within the crust abundance ( $< 5$  mg/kg) except the site numbers 18, 22, 53 and 75 which contains slightly higher level of uranium - 7.544, 5.489, 7.008 and 8.546 mg/kg respectively. The average abundance of thorium in the Earth's crust is about 5.6 ppm. In the analyzed samples except the site numbers 3, 19, 20, 32, 33 and 71 the content of Thorium was found to be within the crust abundance ( $< 5.6$  mg/kg).

In general, the Th/U ratio may provide information about the intensity (or index) of weathering and leaching in the sample profile and native, since Th is much less mobile than U. As known the average concentrations of U and Th in sedimentary rocks are 1.2 and 5.97 mg/kg for sandstone, 1.2 and 10.1 mg/kg for shales and 1.2 and 1.28 mg/kg for limestone respectively. Using these values, the Th/U ratios are 4.98, 8.42, and 1.07, respectively for the above mentioned rocks types. Also the average world Th/U ratio in deep sea clay is 5.4.

The calculated Th/U ratio based on ICP-MS results was found from 0.552 to 5.689.

This means that the studied sediment samples contain Th/U ratio of natural origin and the site number 32 has a higher ratio than 5.4. The Th/U relationship determines the rock units that are abnormally enriched or depleted in uranium with respect to the amount of thorium.

DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS AND HAZARDS OF SOIL SAMPLES, TAKEN FROM OIL FIELD AREA NEAR TO BAKU

*Humbatov F.Y., Ahmadov M.M., Balayev V.S. and Aslanova G.F.*

Institute of Radiation Problems, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Oil and gas production and associated processing operations often result in the accumulation of Naturally - Occurring Radioactive Material ("NORM" or "TENORM" if technologically enhanced) at elevated concentrations in by-product waste streams. The ultimate sources of most of the radioactivity are from daughter products of uranium (238U, 235U) and thorium (232Th) that are naturally present in subsurface formations from which oil and gas are produced. Every year a big volume of produced waters discharged from platforms to oil-gas production area. Therefore, the providing of radio ecological monitoring for estimation of radioactivity and radiation risks has a scientific and practical importance.

We have chosen a study location that represents one of the original sites for oil production in Azerbaijan (operated by Tagiyev PGOM, Petroleum Gas Obtaining Management). This site is located in the southeast portion of the Absheron Peninsula, near the capital city of Baku.

Before sampling, chosen territory was estimated for gamma-radiation background by dosimeter and identifier. Investigations of gamma-radiation background showed that, natural radiation background for this area changed from 4  $\mu\text{R/h}$  to 10  $\mu\text{R/h}$ . But it was fixed that there are some local pollutions of soil (spots) on the territory, where were observed high radiation (78-122 $\mu\text{R/h}$ ). Mainly radioactive spots have sizes from few centimeters up to several meters. We collected soil samples from chosen 10 different points.

All samples after some preparation procedures were analyzed for 226Ra, 228Ra, and other radionuclides via gamma-spectrometry using a Canberra intrinsic germanium detector. All gamma spectrometric analyses were performed in silicone sealed Marinelli beakers after aging for one month to allow for in growth of 222Rn and daughters. Gamma spectroscopy was used to determine the activities of Ra226, T232(Ra228), K40 and Cs137. The photopeaks from the radon daughters 214Pb and 214Bi at 295, 352, and 609 keV were used to quantify 226Ra and the 228Ac peaks at 338 and 911 keV were used for 228Ra. For determination concentration of K40 and Cs137 the 1460.8 keV and 661.6 keV gamma-ray transitions were used accordingly.

Gamma-spectroscopy measurements of soil samples from spots show that specific activities of Ra226 may rich up to 5.2 kBq/kg, Ra228 – 0.96 kBq/kg and K40 – 0.62 kBq/kg. The activity of Cs137 for investigated samples changed from 0.6Bq/kg to 2.8Bq/kg.

For assessment of radiological hazard, from the measured values, the average values of absorbed dose rate in air (D), radium equivalent activity ( Ra<sub>eq</sub>), external hazard index (Hex), annual gonadal dose equivalent (AGDE) and annual effective dose equivalent (AEDE) were calculated.

According obtained dates, for two samples (T02 and T07) radioactivity and calculated parameters have higher value and it is necessary to take under the control and implement special utilization procedure for polluted spots, from which these samples were taken.

ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ

*Джаббарова Л.Ю., Мустафеев И. И.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана,  
AZ 1143 , Баку, ул.Ф. Агаева ,9.

Приведены результаты исследований радиационно-химического воздействия на нефтяные топлива из Азербайджанских нефтей. Исследования проводились на гамма-источнике <sup>60</sup>Co при мощности дозы P= 0.18 Гр/с. Установлены концентрации, радиационно-химические выходы полученных газов при различных поглощенных дозах D=15-150кГр образцов бензина АИ-92 и дизельного топлива. Определены йодные числа, вязкости и плотности до и после облучения образцов топлив и оценена их радиационная стойкость.

**Ключевые слова:** топливо, радиолиз.

В связи с открывшейся возможностью разработки новых технологических процессов с использованием энергии радиоактивного излучения, необходимо исследовать влияние различных видов излучения на углеводороды и нефтепродукты. В результате радиолиза при температуре окружающего воздуха эксплуатационные свойства нефтяных топлив ухудшаются, образуются возбужденные молекулы, радикалы, выделяются газы. Химические превращения сопровождаются изменением физических свойств топлива. При выборе топлива для использования в условиях облучения нужно выяснить обладают ли топлива достаточной

радиационной стойкостью, можно ли увеличить ее стабильность за счет изменений состава или введения специальных присадок. Методы, применяемые для определения радиационной стабильности основаны на облучении продукта и последующем определении произошедших в нем изменений. Радиационные окисления процессов рассматривали в области низких температур, когда цепные процессы не происходят. Радиационно-химические выходы газов бензина и дизельного топлива после гамма-радиолиза в пределах поглощенных доз 15-150 кГр приведены в таблице №1.

Таблица №1

Радиационно-химические выходы газов бензина и дизельного топлива после гамма-излучения в пределах поглощенных доз 15-150 кГр. P=0.18 Гр/с									
Газы	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	ΣC <sub>3</sub>	ΣC <sub>4</sub>	ΣC <sub>5</sub>	ΣC <sub>6</sub>	ΣC <sub>7</sub>
Бензин	0.446	0.0074	0.0040	0.0057	0.0053	0.132	0.322	0.091	0.006
Дизельное топливо	0.626	0.0008	0.0004	0.0019	0.0005	0.0014	0.0026	0.0069	0.0005

Ниже приведены кинетические кривые накопления газов при гамма-радиолизе бензина и д. топлива (рис.1)

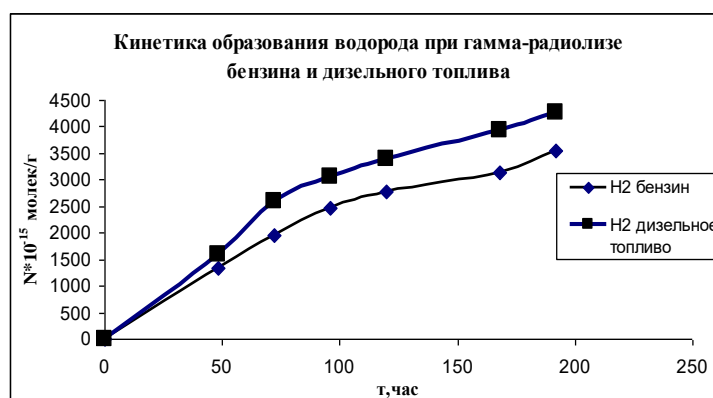


Рис.1. Кинетика образования водорода при гамма-радиолизе бензина и дизельного топлива

Проведенные исследования показали, что в пределах поглощенных доз 15-150 кГр в топливах протекают химические процессы, изменение вязкостей, плотностей и йодных чисел. Эффект воздействия излучения на углеводороды топлива зависит от химического строения, состава топлива. При низких температурах, когда образование радикалов замедлено, в результате излучения в углеводородной среде образуется незначительное количество продуктов уплотнения. Процессы, возникшие в связи с радиолизом, могут еще долго развиваться после прекращения облучения, что приводит к изменению состава топлива. В результате этого при температуре окружающего воздуха эксплуатационные свойства нефтяных топлив ухудшаются.

В дальнейшем необходимо подобрать такой состав нефтяных топлив, которые будут лучше противостоять действию радиоактивного облучения путем изменения углеводородного состава нефтепродуктов за счет незначительных изменений состава и введения присадок.

#### DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN DIFFERENT ORGANS ZYGOPHYLLUM FABAGOO L

Aghayeva A.V., Qarayeva K.G., Jafarov E.S.

Department of Radiobiology, Institute of Radiation Problems, ANAS, Baku, Azerbaijan

The human activity resulted in changing radio ecological situation of environment, regular growing of natural background radiation everywhere, emerging radio nuclides pollution zones on different territories.

Such locally polluted zones can be also met on the territory of our republic (chiefly Absheron peninsula. The polluted zones mainly resulted from oil production and refining. Here radiation background varies within roughly 50 – 1500 μR/hr, one of sources forming high radiation background on Absheron peninsula is also Iodine factory. At the factory for a long time there had been produced iodine from drilling mud by adsorption method and in the process role of the absorber was played by activated coal. After winding up of the factory in its yard there remained a lot of waste coals, which creates a high radiation background in the vicinity up to 1000 μR/hr.



### 3. Radiation Ecology and Methods of Analysis

For the study of radio-ecological situation at the territory of iodine factory have been chosen one the control and one the experimental plots. At the time of the study the mean the exposure dose rate in the control and experimental plots was  $(15.5 \pm 1.2) \mu\text{R/hr}$  and  $(770 \pm 47) \mu\text{R/hr}$ , respectively. Soil and climatic conditions of the control and experimental plots were almost identical. The radiation situation at the site has arisen due to the work of the former iodine production factory. In the production of iodine in the factory were used drilling water (as raw material) accompanying extraction oil. Radio spectrometric analysis showed that the drill water contains a certain amount of natural long-lived radio nuclides.

Determination of qualitative and quantitative content of radio nuclides in soil samples showed that the main radio nuclides, polluting experimental plots are K - 40, Th - 232 and Ra - 226. Specific activities of these radio nuclides were respectively 8240, 4500 and 49000 Bq/kg.

Specific activity of the radio nuclides for the control soil were 120, 15 and 70 Bq/kg, respectively.

The study of plant cover showed that in conditions of high radiation background grows best *Zygophyllum fabagoo* L. .Probable that this plant has a high radio resistance property and therefore well adapted to stressful environmental factors.

It is known that the transition of radio nuclides from the soil to the plant and consequently to the human organism depends not only on the radionuclide, and of the same plant species. For this reason, there is a need to study the sensitivity and the accumulation ability of individual plant organs to radio nuclides.

Data obtained by us on the distribution of radio nuclides, polluting experimental plot, in different organs of the test plants are shown in the figure.

On the figure first triad of columns corresponds to the content of radio nuclides in the soil, and the rest - in different organs of the plant.

As can be seen from the figure that almost all organs have a certain number of radio nuclides, which pollute the places of growth of the plant. In all organs of the content of K-40 is superior to the others. In accumulation of radio nuclides second place takes Ra-226. A different organs of the plant incorporates a small amount of Th-232 also.

The ability of accumulating radio nuclides different organs of the plant is different. Leaves of the plant as compared with the root and seeds as compared with leaves accumulate more K-40. Ra-226 accumulates almost the same as in the leaves and in the roots of plants. Interestingly, the ability to accumulate Ra-226 seeds, compared with leaves greater. On the figure first triad of columns corresponds to the content of radio nuclides in the soil, and the rest - in different organs of the plant.

As can be seen from the figure that almost all organs have a certain number of radio nuclides, which pollute the places of growth of the plant. In all organs of the content of K-40 is superior to the others. In accumulation of radio nuclides second place takes Ra-226. A different organs of the plant incorporates a small amount of Th-232 also.

The ability of accumulating radio nuclides different organs of the plant is different. Leaves of the plant as compared with the root and seeds as compared with leaves accumulate more K-40. Ra-226 accumulates almost the same as in the leaves and in the roots of plants. Interestingly, the ability to accumulate Ra-226 seeds, compared with leaves greater.

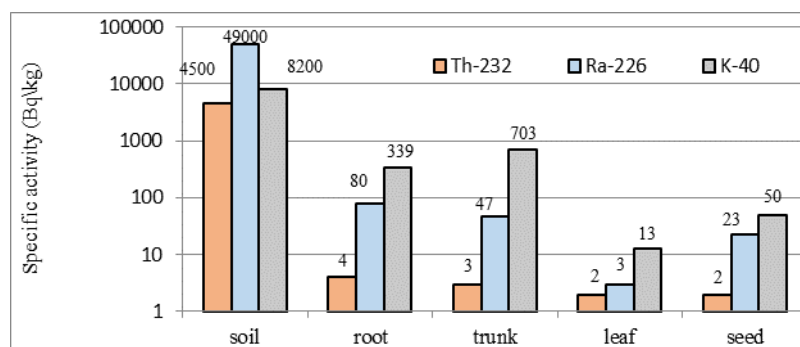


Figure. Distribution of radio nuclides in different organs of *Zygophyllum fabagoo* L.

**ВЛИЯНИЕ СОЛЕВОГО СТРЕССА НА ФЕРМЕНТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ КУКУРУЗЫ, СЕМЕНА КОТОРОЙ ПОДВЕРГЛИСЬ ПРЕДПОСЕВНОМУ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ ПРИ РАЗНЫХ ДОЗАХ**

*Велиджанова М.З., Агаева А.В., Джафаров Э.С.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана, Баку, Азербайджан

Биологические объекты подвергаются воздействию различных факторов окружающей среды. Одним из таких факторов является засоление почвы.

Большое количество почв характеризуется повышенным содержанием солей, которое может оказывать вредное и даже губительное влияние на растительный организм. Кроме того, неумелое орошение часто приводит к засолению. Оросительная вода является и мощным источником солей для почвы, (поскольку около 80% ее расходуется на испарение, а соли остаются в почве) и, одновременно «транспортёром» в глубокие подпочвенные слои при регулярном и своевременном проведении поливов [1]. Вредное влияние высокой концентрации солей может проявляться и при резко повышенных дозах минеральных удобрений.

Известно, что ~ 23% всех культивируемых земель засолены [2]. Солевой стресс приводит к многократному увеличению в клетках уровня активных форм кислорода, таких как супероксид ( $O_2^{\cdot-}$ ), перекись водорода ( $H_2O_2$ ) и гидроксильный радикал ( $HO^{\cdot}$ ) [3].

В случаях засоления для защиты растения от негативного действия стрессового фактора функционирует антиоксидантная система защиты (АОСЗ) [4]. Исследовательские работы, выполненные в направлении изучения функционирования АОСЗ в условиях стресса разной природы, помогут уточнить механизм адаптации растений к стрессовым ситуациям. Это, в свою очередь, откроет перспективы, как в пути повышения продуктивности, так и сохранения биоразнообразия растений. Кроме того, результаты исследований такого рода помогут выбрать солеустойчивые виды растений.

Одна из наиболее чувствительных к солевому стрессу культура – кукуруза. В представленной работе отражены результаты по функционированию антиоксидантной системы кукурузы в условиях солевого стресса при ее разных концентрациях. Учитывая тот факт, что ионизирующее излучение может активировать антиоксидантную систему защиты, семена растения перед посевом облучены гамма-лучами в разных дозах. Функционирование АОСЗ изучено на основе изменений активностей антиоксидантных ферментов, таких как аскорбатпероксидаза (АПО), каталаза (КАТ), супероксиддисмутаза (СОД) и количественных изменений низкомолекулярных антиоксидантов (антоцианы, каротиноиды и флавоноиды).

Получено, что с увеличением дозы облучения изменяется активность ферментов. Масштабы этих изменений зависят от концентраций NaCl.

При концентрациях соли 1, 5 и 10 мМ наблюдается снижение активности СОД на фоне заметного увеличения активности КАТ и АПО. При концентрациях соли, равных 50 и 100 мМ, наоборот, активность КАТ и АПО снижается на фоне вырастающей активности СОД. Показано, что увеличение концентрации соли при высоких дозах облучения приводит к увеличению количества каротиноидов, как ответ к комбинированному действию радиационного и солевого стресса. В отличие от каротиноидов, для антоцианов характерна тенденция увеличения количества в области низких доз, и наоборот. Такая динамика изменений сохраняется почти во всех концентрациях NaCl.

По сравнению с низкомолекулярными ферментами, антиоксидантные ферменты играют более важную роль в защите кукурузы от солевого стресса. Точнее, в случаях низкоконтрационного солевого стресса защитную функцию выполняет фермент СОД, а в больших солевых концентрациях NaCl эту функцию берут на себя ферменты КАТ и АПО.

Итак, в случае солевого стресса антиоксидантные ферменты, действуя согласованно как между собой, так и с низкомолекулярными антиоксидантами обеспечивают защиту растения от повреждающего действия стрессора.

**Литература**

1. Гулиев А.Г., Самофалова И.А., Мудрых Н.М. Засоление – глобальная экологическая проблема в орошаемом земледелии. Пермский аграрный вестник №4 (8) 2014, с. 32 - 43
2. Dajic Z. Salt stress. In: Physiology and molecular biology of stress tolerance in plants. Springer, 2006. p. 41-99. 1 Конференция «Ломоносов 2017»
3. Донцов В.И., Крутько В.Н., Мрикаев Б.М., Уханов С.В. Активные формы кислорода как система: значение в физиологии, патологии и естественном старении. Труды ИСА РАН 2006. Т. 19 с. 50-69
4. Mittlerer R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance // Trends in Plant Science, 2002, v. 7, № 9, p. 405-410.

**DEVELOPMENT OF SrI<sub>2</sub>(Eu)/MPPC/Raspberry-Pi—MODULE AS ANOTHER POTENTIAL BASIS FOR RADIATION MONITORING NETWORK**

<sup>1</sup> Kimura Y., <sup>2</sup> Nagai S., <sup>3</sup> Kamakura Y., <sup>3</sup> Inoue Y., <sup>4</sup> Yoshii J., <sup>5</sup> Shimizu R. and <sup>6</sup> Gluchschenko V.N.

<sup>1</sup>Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita, Japan

<sup>2</sup>Graduate School of Engineering, Mie University, Tsu, Japan

<sup>3</sup>Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology, Hirakata, Japan

<sup>4</sup>Advanced Clinical Research Center, Fukushima Medical University, Fukushima, Japan

<sup>5</sup>Office for University-Industry Collaboration, Osaka University, Suita, Japan

<sup>6</sup>Institute of Nuclear Physics, Almaty, Republic of Kazakhstan

The excellent performance of the SrI<sub>2</sub>(Eu)/MPPC/Contoller-module has been reported in detail elsewhere<sup>1</sup>). The controller of this module has adopted the commercial products from the National Instrument Inc., enabling long term fixed spot measurement, e.g. 24 hour's operation by the help of high power battery installed in the controller.

However, we have often found the necessity to make the controller much smaller in size and lighter in weight so as to carry the module more easily for in-situ measurement.

So, we focused on a single board computer "Raspberry Pi" originally developed by the Raspberry Pi Foundation in the UK to promote education of basic computer science at school. The Rapsberry Pi is of size of a business card, 46g weigh and can be operated with the mobile battery widely used on smartphones.

Replacement of the conventional controller with Raspberry Pi will enable us to reduce whole module so small in size and net weight less than 1kg., leading to new application for in-situ measurement by making it wearable and, furthermore, use of drone will be considered as a carrier in future (Fig.1)

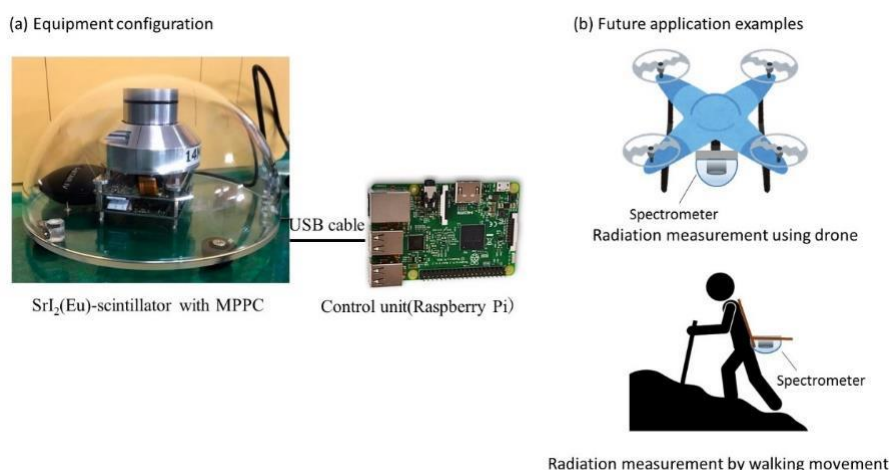


Figure 1. Equipment configuration and example of application

Reference:

1 [1] S.Nagai, K.Kawamura, Y.Kimura, J. Yosii, R. Ikeda, and R.Shimizu: Surf. Interface Anal.2016, 48, 1263 – 1268.

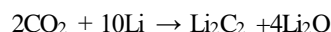
#### RADIOCARBON DATING OF FOSSIL WOOD AND CHARCOAL SAMPLES

\* Mammadov S.G., \* Gurbanov M. A., \* Dadashov Z.Kh., \* Ahadov A.B.

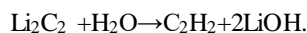
\*Institute of Radiation Research ANAS, B. Vahabzade str., 9, Baku, Azerbaijan, AZ1143  
mammadov\_sahib@yahoo.com

Institute of Radiation Research, Azerbaijan National Academy of Sciences has established radiocarbon dating group in 2016. The aim of this group is to meet local needs for the dating of archaeological artefacts through the use of radiocarbon as a dating tool and also the continuous monitoring of the atmospheric CO<sub>2</sub> subject to possible fluctuations of radiocarbon due to carbon exchange in the environment. The facility is equipped with the benzene synthesis line and Liquid Scintillation Counter Tri-Carb 3100TR.

Our procedure follows the procedure described in [1]. Samples were prepared by using of conventional acid-base-acid (ABA) pretreatment. The wood or charcoal was first oxidized by combustion in an oxygen steam and then combustion gases were passed over CuO at 650°C in order to complete the oxidation of CO, NO, N<sub>2</sub>O and NO<sub>2</sub>. The CO<sub>2</sub> then has been purified using a chain of wet chemical reagents: AgNO<sub>3</sub> to precipitate halogens and the oxidizing agents KMnO<sub>4</sub> and K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> to remove nitrogen and sulphur compounds; dry ice trap to remove any water remaining in the gas. The purified CO<sub>2</sub> is then reacted with molten lithium in stainless vessel at 650°C:



and then hydrolyzed to acetylene



In order to remove possible ammonia compounds acetylene was passed through a phosphoric acid. Chromium activated alumina-silica catalyst has been used for conversion of acetylene to benzene at room temperature. Benzene is then evaporated out of catalyst at 120°C and collected under vacuum at liquid nitrogen temperature. The low-potassium glass counting 20 ml vials were used for the counting. The synthesized benzene is transferred into 20 ml low-potassium glass counting vials and is brought up to 3 ml volume by adding petroleum-derived benzene. As a scintillation solution we added 1 ml of commercially available SIGMA-ALDRICH liquid scintillation mixture PPO/POPOP in toluene.

The information needed in a radiocarbon measurement performed by decay counting is the measured specific activity of the sample, a standard, and a background sample. Due to lack of internationally accepted oxalic acid standard (we have not obtained it yet), we prepared benzene from the wood of the known age i.e. from the wood cut in the year of 1938 with the method as described above. As a background we used commercially available petroleum-derived ('dead') benzene. The <sup>13</sup>C isotopic fractionation is taken into account by normalizing to -25 per mil with respect to PDB (Pee Dee Belemnite) [2], the postulated mean value of terrestrial wood, as we have not determined in our experiments the fractionation factor i.e. <sup>13</sup>C/<sup>14</sup>C ratio yet.

As a startup point we have investigated two different samples. One charcoal sample has been provided by the Institute of Archeology of ANAS found frequently at the site near the Gabala district of Azerbaijan. The other wood sample was taken from the old mining factory in Gedebe district of Azerbaijan. The mining factory was built in 1880 and it was well documented. The radiocarbon activity of benzene produced from the charcoal sample was undistinguishable from the background therefore we concluded that the age of sample is beyond 50,000 years. But it was in sharp contradiction with the archaeological age of this site which was estimated not more than 3,000 years old. Further investigations discovered that it was the pieces of oil shale which is scattered around this area. The age of other sample was found as old as 180±30 years, which is in agreement with the documented age of the mining factory.

#### References

1. Tamers M.A. (1975). Chemical yield Optimization of the Benzene Synthesis for Radiocarbon Dating. *International Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 26, 676-682.
2. Stenstorm K.E., Skog G., Georgiadou E., Genberg J., Johanson A., (2011), A guide to radiocarbon units and calculations. *Lund University, Internal Report LUNFD6 (NFFR-3111/1-17(2011))*.

**LOW CARBON RADIATION-CHEMICAL TECHNOLOGY FOR HYDROGEN ENERGY**

*Islam Mustafayev and Ayten Ahmedova*

Institute of Radiation Problems of the Azerbaijan National Academy of Sciences,  
122 H. Javid ave AZ1143 Baku-Azerbaijan, [imustafayev@mail.ru](mailto:imustafayev@mail.ru)  
Azerbaijan University of Architecture and Construction, 05 A.Sultanova str. AZ1073 , Baku-Azerbaijan,  
[aytenaxmedova@mail.ru](mailto:aytenaxmedova@mail.ru)

The regularities of the radiation-thermal and Solar-thermal transformations of coals , anthracite, peat, heavy oil fractions (gasoil, fuel-oil, tar, bitumen) and oil-bituminous rocks to hydrogen fuel are studied in the Institute of Radiation Problems for 1985-2014. As a radiation the gamma-rays of isotope sources Co-60, electron beam of electron accelerators of ELIT-1 and ELU-4 are used, Solar-furnace . Parameters of processes varied in following limits: dose rate 0.4-2000 Gy/s, Energy intensity in Solar furnace 1.15 kW/m<sup>2</sup> , absorbed dose 0.7- 800 kGy, temperature 40-700C. As products are identified: hydrogen, carbon monoxide, hydrocarbons C<sub>1</sub>-C<sub>7</sub>, high-molecular olefins, active carbon and liquid fuel. For studying physical and chemical processes at the radiation-thermal transformation of organic fuels are used methods: a chromatography, IR-spectroscopy, ESR- spectroscopy , derivatography, chemical methods of the liquid analysis, etc. Kinetics and mechanism of proceeding processes was studied on an example carbon and model hydrocarbons - heptane and pentadecane. It is applied calculation methods for definition of chemical reactions rates on the basis of the offered kinetic model and are received satisfactory consent between calculation and experimental results. It has been shown that sub-thermal effect at the radiation-thermal decomposition of organic fuels is function of temperature and dose rate. The feasibility studies for gas production from coal were carried out. Comparative analysis of CO<sub>2</sub> formation in traditional and radiation/solar processes of transformation of organic fuels into Hydrogen fuel were conducted.

Energy efficiency, degree of Solar energy accumulation, productivity and other parameters of the low carbon technology processes were calculated.

**LONG-TERM MEASUREMENTS OF THE RADIATION EXPOSURE OF THE INHABITANTS OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED REGIONS OF BELARUS. THE KORMA REPORT II (1998–2015)**

*Petro Zoriy, Herbert Dederichs, Jürgen Pillath, Peter Hill, Reinhard Lennartz, Burkhard Heuel-Fabianek*

Forschungszentrum Jülich, Safety and Radiation Protection (S)  
2016

Radiological long-term measurements were performed between 1998 and 2015 in a region of Belarus that was affected by the Chernobyl accident.

The internal radiation exposure of the inhabitants of the village of Volincy (Korma district) — caused by the existing contamination and an increasing lack of precautions in the course of time with regard to eating home-grown food — has experienced a significant decrease from a very high level. External exposure, however, reveals a different picture. Although an overall decrease was observed, the organic constituents of the soil show an increase in contamination. This increase was not observed in soils from cultivated land or gardens.

In addition to the measurements, a relationship based on mutual trust allowed us to offer the inhabitants individual advice on how to reduce internal contamination.

As a result of this advice and the decreasing environmental contamination (topsoil and crops), the internal dose was reduced significantly. Today, internal exposure is only slightly elevated and has no significant negative influence on the health of the inhabitants. In 2013, the internal dose decreased to less than 0.1 mSv/a. Despite this, the cumulative dose will remain significantly higher than "normal" values due to external exposure.

Up to now, we have found no statistically significant signs or symptoms of diseases caused by radiation exposure.

If internal exposure is checked on a regular basis and individual advice is available, there should be no specific danger for the people in the region in the near future. Resettlement may even be possible in former closed areas provided that people comply with appropriate dietary rules.

TESTING OF  $\text{SrI}_2(\text{Eu})/\text{MPPC}/\text{CONTROLLER}$ —MODULE AS A POTENTIAL BASIS FOR RADIATION MONITORING NETWORK

Nagai S. (1), Kimura Y. (2), Yoshii J. (3), Shimizu R. (4), Ohta A. (5), Sato N. (5), and Gluchshenko V.N. (6)

- (1)Graduate School of Engineering, Mie University, Tsu, Japan
- (2)Graduate School of Engineering, Osaka University, Suita, Japan
- (3)Advanced Clinical Research Center, Fukushima Medica University
- (4)Office for University-Industry Collaboration, Osaka University, Suita, Japan
- (5)Oarai Research Center, Chiyoda Technol Cooperation, Oarai, Japan
- (6)Institute of Nuclear Physics, Almaty, Republic of Kazakhstan

Since the accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (F1NPP) in March 2011, we have been involved in the in-situ measurements of not only ambient dose but also gamma-ray spectra. For this we developed the  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ -scintillator with a multi-pixel photon counter(MPPC) [1], as shown in Fig. 1, which has enabled capabilities of a high energy resolution(<4%) and a high sensitivity(>80000photons/MeV) to be obtained.

This module allow the radioactive Cs originating from the F1NPP-accident to be distinguished from other radioactive species, leading to the precise assessment of the ambient dose originating from Cs134 and Cs137 radiation. Furthermore, a software platform is adopted in the present module that is based on the use of the ANSI N42-42 Data File Format published by the National Institute of Standards and Technology. It allows for standardization of radiation monitoring.

A cooperative investigation on the present module to be extended to Kazakhstan has been under development between the Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan and Japan Society of Promotion of Sciences(JSPS)-141st Committee, Japan. In the conditions of expanded scale of uranium raw materials mining and processing, and in connection with the plans for establishment and development of the own nuclear power complex in Kazakhstan, the most important task is a regular obtaining of reliable data about the radio-ecological situation in the locations of the radiation hazardous facilities and formation of the adequate attitude of the population and the public to the activities of the nuclear industry based on the obtained information. The prerequisite for fulfilling this task is the development of the global radio-ecological monitoring network in Kazakhstan based on the modern instrumental and methodological developments in detection and registration of radioactive radiation of various origins.

It is proposed to perform the comparative tests using both the traditionally used dosimeter-radiometers with NaI(Tl) crystals and the new Japan  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$  monitor. The comparative tests will be performed on the example of such radiation-hazardous facilities as the former “Azgir” nuclear test site, “Lira” facilities, the WWR-K research reactor, the settlements Aksu and Saumalkol, which have the long-term impact from the activities of uranium mining enterprises.

The results of the works will be added to the existing approaches for assessing the radio-ecological state of the environment in the places of nuclear plants and other radiation hazardous facilities.

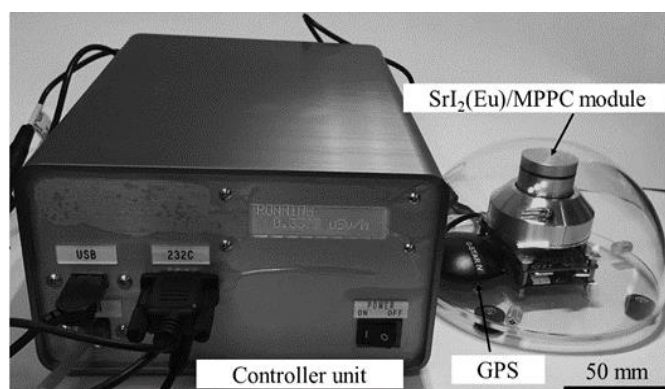


Fig. 1. Photo of the new  $\text{SrI}_2(\text{Eu})$ -scintillator with MPPC, GPS and controller unit[1].

Reference

- [1] S. Nagai, K.Kawamura, Y.Kimura, J.Yoshii, R.Ikeda, R. Shimizu; Surf. Interface Anal. 2016,48, 1263—1268

**RESULTS OF THE INTERNATIONAL REVIEWS ON THE STUDIES TO EXPLORE THE RADIOLOGICAL SITUATION IN VARIOUS PARTS OF THE FORMER NUCLEAR TEST SITE**

*Proehl G.*<sup>1</sup>, *S. Fesenko*<sup>2</sup>, *Joanne Brown*<sup>3</sup>, *Justin Brown*<sup>4</sup>, *V. Kashparov*<sup>5</sup>, *J.C. Mora Canadas*<sup>6</sup>, *P. McDonald*<sup>7</sup>, *Nielsen S.P.*<sup>8</sup>, *Sjoebloom K.L.*<sup>9</sup>

- <sup>1</sup> International Atomic Energy Agency, Department of Nuclear Safety and Security  
<sup>2</sup> International Atomic Energy Agency, Department of Nuclear Applications  
<sup>3</sup> International expert, United Kingdom  
<sup>4</sup> Norwegian Radiation Protection Agency, Norway  
<sup>5</sup> Institute of Agricultural Radiology, Ukraine  
<sup>6</sup> Centre for Energy, Environment and Technology, Spain  
<sup>7</sup> AMEC United Kingdom  
<sup>8</sup> Centre for Nuclear Technologies, Technical University of Denmark, Denmark  
<sup>9</sup> International expert, Finland

In 2009, the Security Council of the Government of Kazakhstan decided to systematically work towards the release of parts of the former Semipalatinsk nuclear test site to normal economic use. As a result, detailed studies were performed by the National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNC RK) to investigate the radiological situation in various parts of the STS.

The Government of the Republic of Kazakhstan requested the International Atomic Energy Agency (IAEA) to review and evaluate the work done by NNC RK for investigating the feasibility of releasing various parts of the Semipalatinsk Test Site (STS) for normal economic use. For this purpose, from 2010 to 2016 five studies on the radioecological situation of different parts of STS were reviewed by three international Review Teams, who were assembled by the International Atomic Energy Agency.

The reviews emphasized in particular on the following aspects:

- The regulations of the Republic of Kazakhstan for the release of areas affected by enhanced levels of radionuclides for normal economic use;
- the design of the monitoring and experimental programme to characterise the radiological situation of the former test site;
- the quantities measured and the temporal and spatial resolution of the measurements;
- the evaluation of the sampling and analytical techniques used for monitoring the areas affected by nuclear tests within the boundaries of the STS;
- the statistical analysis of the measurements on of the territory of the STS;
- an evaluation of the measurements through a comparison with global experience;
- the comparison of the parameters, derived by NNC RK for dose assessment of potentially exposed population groups, with global experience;
- the setup of exposure scenarios for the assessment of radiation doses to a spectrum of population groups;
- the models used for the assessment of exposures to various population groups using the data prepared and presented by the NNC RK; and
- the conclusions drawn by NNC RK on the release of parts of the STS for normal use.

The International Review Teams performed independent assessment of the doses to people, should they live in the areas investigated by NNC RK. The reviews were carried out using the reports provided by NNC RK and using the experience from the visit to the laboratories of NNC RK and the test site by IAEA Review Teams in 2010 and 2013. All reviews confirmed the conclusions of NNC RK with regard to the release of the areas included in the studies. The paper gives an overview on the work of the Review Team, it summarizes the results of the reviews and the conclusions by the review Teams and it discusses the recommendations provided in the review reports.

РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Абдуллаев А.С., Шамилов Э.Н., Гасымова Г.Э.

Институт Радиационных Проблем, г.Баку, НАН Азербайджана

Охрана окружающей среды от различных видов загрязнений является одной из важнейших проблем современности. Поскольку почвенные ресурсы ограничены, то особую актуальность приобретает охрана почв от загрязнения нефтепродуктами, радионуклидами (РН) и тяжелыми (ТМ) металлами, которые попадают в нее в процессе нефтедобычи, транспортировки, хранения и их потребления, а также предприятиями химической и нефтехимической промышленности. Загрязняющие почву нефтепродукты ухудшают водный режим и физические свойства почв, резко снижают содержание подвижных соединений азота и фосфора, оказывают токсическое действие.

Известно что, обычно для очистки почвы *in situ* и *ex situ* используют: (а) поверхностную или глубокую промывку почвы, (б) химическое восстановление или окисление, (в) удаление загрязненной почвы и сбор ее на специальных площадях. Все эти технологии являются дорогостоящими и часто приводят к накоплению вторичных загрязнителей.

Нами проведены анализы и изложены собственные эксперименты по разработке методов очистки загрязненных почв Апшерона от радионуклидов (РН) и тяжелых металлов (ТМ) с применением природных фитонакопителей и сорбентов. Сущность подхода заключается в разработке концептуальной модели очистки загрязненных почв фитоэкстракцией и природными сорбентами.

В нефтедобывающих промыслах Апшеронского полуострова наблюдается повышенный радиационный фон, вызываемый радионуклидами нефтяного происхождения. Кроме того изучение промышленно-загрязненных почв Апшерона показало наличие тяжелых металлов Co, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Pb, Mo. Поскольку загрязненные территории находятся в непосредственной близости населенных пунктов, проблема очистки таких территорий и водоемов представляется особенно актуальной.

Несмотря на значительное число исследований, проводимых для решения радиационно-экологических проблем, связанных с добычей углеводородов, лишь немногие работы посвящены санации и рекультивации загрязненных промышленных объектов, и переработке отходов с высокой удельной активностью естественных радионуклидов. Это можно объяснить несовершенством соответствующих промышленных методов и технологий или их высокой стоимостью.

Основная цель проводимых нами экспериментов состояла в разработке концептуальной модели фитоэкстракции радионуклидов (РН) и тяжелых металлов (ТМ) из загрязненных почв, что в дальнейшем представило бы возможность реализации фитоэкстракции радионуклидов *in situ* на конкретных нефть или промышленно загрязненных территориях Апшерона. При этом подбор накопителей был выбран из числа самых распространенных и устойчивых фитоэкстрантов. Размножение фитонакопителей, способных поглощать и аккумулировать несколько радионуклидов одновременно в высокой концентрации, осуществляли в лабораторных условиях.

Одновременно с этим осуществляли поиск фитохелаторов характерных для разного типа загрязнения. Параллельно начали поиск эффекторов фитоэкстракции, увеличивающих подвижность радионуклидов в почве. В качестве эффектора фитоэкстракции использовали нитрилотриуксусную кислоту (НТУК). Для сравнения действия эффекторов нами также использованы карбамид, тиокарбамид и пирокатехин. При сочетании с хелатообразующими (НТУК) эти вещества положительно влияли на процесс фитоэкстракции радионуклидов и тяжелых металлов из почв.

Полученные предварительные результаты дают основания разработать более детальную методику ремедиации и очистки нефть или промышленно загрязненных территорий, включающие использование для этой цели конкретной культуры, сорбентов и хелатообразующего агента. В настоящее время продолжают экспериментальные работы по избирательному фитохелатированию и поиск новых природных сорбентов.



ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СИСТЕМЕ «ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – ВОДА – РАСТЕНИЯ» ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Айдарханова А.К.<sup>1</sup>, Лукашенко С.Н.<sup>1</sup>, Ларионова Н.В.<sup>1</sup>, Полевик В.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup>Государственный университет им. Шакарима, Семей, ВКО, 071412, Казахстан

Одной из главных проблем радиоэкологии является миграция радионуклидов в экосистемах, в том числе и в водных. Водные экосистемы могут способствовать миграции техногенных радионуклидов на большие расстояния от источников образования или поступления. Аккумулируя загрязнение на протяжении продолжительного периода, донные отложения могут быть источником вторичного радиоактивного загрязнения водного объекта. Вышние водные растения также активно участвуют в распределении радионуклидного загрязнения водного объекта. Целью данной работы является оценка уровней радионуклидного загрязнения и определение механизмов переноса в системе "донные отложения – вода – растения" объектов бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

В качестве объектов исследования были выбраны поверхностные воды территории СИП, которые условно можно разделить на 3 типа. К 1 типу относятся водоемы техногенного происхождения – это, как правило, воронки, образованные в результате проведения наземных или экскавационных взрывов, заполненные водой, расположенные на территории испытательных площадок "Опытное поле", "Балапан", "Телькем" и "Сары-Узень". Ко 2 типу относятся водоемы природного происхождения – природные озера, расположенные как на территории испытательных площадок, так и вне их. К 3 типу относятся водотоки – это ручьи площадки "Дегелен" и река Шаган, которая протекает вдоль границы площадки "Балапан" и выходит за границу СИП.

На выбранных объектах проводился сопряженный отбор пробы донных отложений, воды и растений. Отбор проб донных отложений проводился с глубины порядка 30 – 40 см, при этом расстояние от береговой линии составляло от 0,3 – 0,5 м до 1 – 2 м. Отбор проб донных отложений проводился на глубину 0 – 10 см, воды – с придонного слоя, примерно 5 см от дна. В качестве растений были отобраны водные растения, в случае их произрастания в водном объекте, а также прибрежное растение – тростник южный (*Phragmites australis*), который наиболее часто встречается на всех водных объектах. У тростника южного в качестве пробы отбиралась наземная часть. В отобранных пробах проводилось определение содержания техногенных радионуклидов <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu, <sup>137</sup>Cs, <sup>241</sup>Am.

В результате проведенных исследований были рассчитаны коэффициенты перехода (К<sub>п</sub>), определяющие характер распределения радионуклидного загрязнения в водных объектах. К<sub>п</sub> рассчитывалось как отношение содержания радионуклидов в донных отложениях к содержанию в воде. Согласно полученным данным для системы «донные отложения – вода» К<sub>п</sub> уменьшается в ряду <sup>239+240</sup>Pu > <sup>137</sup>Cs > <sup>90</sup>Sr. При этом миграционная способность радионуклидов из донных отложений в воду в этом ряду увеличивается. Для водоемов, относящихся к 1 и 2 типам, характерны очень высокие К<sub>п</sub>, даже для такого подвижного радионуклида как <sup>90</sup>Sr: для <sup>239+240</sup>Pu значения К<sub>п</sub> составляют порядка от >4,3×10<sup>3</sup> до >1,5×10<sup>7</sup>, для <sup>137</sup>Cs – от 2,3×10<sup>3</sup> до >3,3×10<sup>5</sup>, для <sup>90</sup>Sr – от 1,1×10<sup>2</sup> до >1,6×10<sup>5</sup>. Для водотоков получены более низкие К<sub>п</sub>: для <sup>239+240</sup>Pu значения К<sub>п</sub> составляют порядка от 8,5×10<sup>2</sup> до 2×10<sup>4</sup>, для <sup>137</sup>Cs – от >9×10<sup>2</sup> до >3,5×10<sup>3</sup>, для <sup>90</sup>Sr – от 7×10<sup>0</sup> до >3×10<sup>3</sup>. Это связано с тем, что в данной системе вода является подвижной динамической средой, что не позволяет радионуклидам полностью аккумулироваться в донных отложениях.

Несмотря на то, что К<sub>п</sub> для различных техногенных радионуклидов различаются на несколько порядков для разных типов водных объектов в среднем от n×10<sup>2</sup> до n×10<sup>5</sup>, что значительно больше 1. Это свидетельствует о том, что большая часть исследуемых радионуклидов в системе "вода-донные отложения" сосредоточена в донных отложениях. Исключение составляет лишь <sup>90</sup>Sr, для которого в некоторых случаях для водотоков получен К<sub>п</sub> равный n×10<sup>0</sup>, что свидетельствует о равномерном распределении <sup>90</sup>Sr в системе "донные отложения – вода".

В случае растений, наземная часть тростника южного способна накапливать до 0,6 % <sup>137</sup>Cs от его содержания в прибрежном грунте. При это К<sub>н</sub> (К<sub>н</sub> – коэффициент накопления, рассчитанный как отношение содержания радионуклида в растительной массе к содержанию радионуклида в почве) варьирует в пределах 0,003 – 0,005.

Распределение радионуклидов между компонентами "донные отложения – вода – растения" является одним из важнейших показателей радиоэкологической ситуации в водном объекте. Несмотря на то, что основная часть радионуклидного загрязнения в водных объектах СИП в системе "донные отложения – вода – растения" сосредоточена в донных отложениях, техногенные радионуклиды могут присутствовать и в воде, и в растениях в значимых количествах.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА РАДИХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА В ВОДАХ  
ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК КАЗАХСТАНА

Аманова Г. Т.<sup>1,2</sup>, Кабирова Г.М.<sup>1</sup>, Солодухин В.П.<sup>1</sup>, Матвеева И.В.<sup>2</sup>

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан  
Казахский Национальный Университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Для обеспечения радиационной безопасности воды, потребляемой населением, необходима информация об удельной активности радионуклидов присутствующих в воде в растворенном виде. Несмотря на относительно малую концентрацию урана в природных водах, которая варьируется в пределах  $n \cdot 10^{-8} - 10^{-5}$  г/л, потенциальный вред, наносимый им, может быть значительным. Ультранизкие концентрации при этом усложняют работу химика-аналитика, требуя от него профессионального уровня владения аналитическими методами. Разработка более простой и менее трудоемкой методики определения урана является актуальной задачей.

В докладе приведены результаты определения удельной активности радионуклидов  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  в пробах воды, отобранных осенью 2016 года на 15-ти контрольных пунктах (КП) в следующих трансграничных реках Казахстана: Шаган, Урал, Илек (2КП), Тобол, Аят, Иртыш (2КП), Емель, Или, Чу, Текес, Карабалта, Сырдарья, Талас.

Определение содержания изотопов урана проводилось альфа-спектрометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой, включающей следующие процедуры: добавление изотопного индикатора  $^{232}\text{U}$  с активностью равной 0,4 Бк в объем пробы равной 10 литров, соосаждение на гидроксиде марганца, переводение в солянокислый раствор, ионообменную хроматографию на анионите АВ-17, микроосаждение на фториде ниобия с последующей ультрафильтрацией. Полученный спектрометрический образец сушили и передавали на альфа-спектрометрическое измерение. Для альфа-спектрометрических измерений применяли альфа-спектрометр высокого разрешения «Alpha-analyst».

В ходе работы было установлено, что максимальные содержания изотопов  $^{238}\text{U}$  и  $^{234}\text{U}$  наблюдается для вод реки Карабалта ( $356 \pm 45$  мБк/л и  $434 \pm 59$  мБк/л) и Сырдарья ( $218 \pm 36$  мБк/л и  $303 \pm 43$  мБк/л), соответственно. Наименьшее содержание изотопов урана установлено в воде реки Иртыш:  $^{238}\text{U}$  - ( $12,5 \pm 1,2$ ) мБк/л,  $^{234}\text{U}$  - ( $18,2 \pm 1,4$ ) мБк/л. Стоит отметить, что содержание урана в исследуемых водах по радиационному признаку не представляет опасности для живых организмов и окружающей среды, поскольку активность его радионуклидов не превышает уровня вмешательства для питьевых вод ( $^{238}\text{U}$  - 3,0 Бк/л,  $^{234}\text{U}$  - 2,8 Бк/л). Вместе с тем, следует обратить внимание на то обстоятельство, что уран является химическим элементом 1 – го класса опасности, и его содержание (в единицах массы) в р. Карабалта ( $28,8$  мкг/л) соразмерно с его значением ПДК для питьевых вод ( $30$  мкг/л), рекомендованным Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ).

Намечен способ усовершенствования используемой методики для получения более точных результатов и снижения трудоемкости проведения анализа. Одним из наиболее важных аспектов альфа-спектрометрии является получение тонкого спектрометрического образца. Наиболее приемлемым способом усовершенствования является замена микроосаждения и ультрафильтрации на электрохимическое осаждение урана на стальной диск, что позволит улучшить разрешающую способность и, соответственно, точность метода.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ  
МХА АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ

Амир Ж.А.<sup>1</sup>, Кабирова Г.М.<sup>1</sup>, Ленник С.Г.<sup>1</sup>, Ливенцова А.С.<sup>1</sup>, Павлов С.С.<sup>2</sup>, Силачев И.Ю.<sup>1</sup>, Солодухин В.П.<sup>1</sup>,  
Фронтасьева М.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Объединенный институт ядерных исследований г. Дубна, РФ

С конца 1970-х годов в Западной Европе для изучения атмосферных выпадений тяжёлых металлов используется единая методика, предложенная скандинавскими учёными – метод мхов-биомониторов с использованием видов мха, широко распространённых в странах с умеренным климатом. Мхи служат аналогами аэрозольных фильтров и являются живыми системами, элементный состав которых хорошо отражает состояние атмосферы. С точки зрения их распространённости, доступности и лёгкости пробоотбора они представляют собой универсальные объекты для исследования.

В Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (ЛНФ ОИЯИ) на протяжении многих лет ведутся работы по изучению загрязнения воздуха тяжелыми металлами с помощью

нейтронного активационного анализа. В настоящее время рабочая группа Комиссии ООН по дальнему трансграничному переносу воздушных загрязнений в Европе (UNECE LRTAP) выражает заинтересованность по участию Казахстана в этой программе. В связи с выше изложенным, нами рассмотрена возможность оценки уровней атмосферных выпадений тяжёлых металлов и радионуклидов в некоторых регионах Республики Казахстан с использованием метода биомониторинга по мхам.

В работе представлены первые результаты исследований радионуклидного и элементного состава мхов, отобранных в предгорьях г. Алматы. Приводятся результаты сравнения данных, полученных в лабораториях ИЯФ и ОИЯИ. Обсуждаются особенности применения метода в РК, исходя из климатических и территориальных особенностей республики, а также перспективы развития исследований.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМА «КИШКЕНСОР» НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

*Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Пронин С.С.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В настоящее время на площадке "Балапан", расположенной на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона, существует около 10 водоемов, сформированных в виде степных солончаков с отложениями высокоминерализованных солей на поверхности. Характерными особенностями данных водоемов является то, что присутствие поверхностной воды в озере зависит от изменения условий сезонного половодья или кратковременного паводка.

В 2015 г., были начаты систематические обследования данных водоемов, включающие отбор воды из различных прибрежных зон. В результате исследования, на 3-х водоемах, расположенных на северо-западной части площадки "Балапан", были зафиксировано наличие радионуклида  $^3\text{H}$  в поверхностных водах. Так, в оз. Шункурсор и Каражурек содержание  $^3\text{H}$  в зависимости от места отбора, изменялось от <12 до 30 Бк/кг. В водах оз. Кишкенсор содержание  $^3\text{H}$  изменялось от 1200 до 9000 Бк/кг. Обнаруженные численные значения  $^3\text{H}$  свидетельствовали о возможном подтоке загрязненных подземных вод, поскольку в районе расположения данных озер существуют ряд "боевых" скважин, в которых проводились глубинные (~500 м) подземные ядерные испытания различных мощностей. В тоже время, в географическом плане, водоемы расположены за пределами условной административной границы площадки "Балапан", что дополнительно указывало на необходимость детализации радионуклидного загрязнения данной местности.

Детальные исследования проводились в оз. Кишкенсор, поскольку в данном водоеме были обнаружены максимальные концентрации  $^3\text{H}$ . Учитывая специфическую особенность формирования оз. "Кишкенсор" (сезонный водоем) для исследования характера и механизма загрязнения была применена комплексная методология, включающая исследование поверхностных вод, донных отложений, прибрежных грунтов и подземных вод. Лабораторный анализ включал определение содержания техногенных радионуклидов  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ .

В результате проведенных исследований был установлен характер и механизмы загрязнения оз. Кишкенсор. Обнаружено, что поверхностные воды озера загрязнены техногенными радионуклидами  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ . Удельная активность  $^3\text{H}$  в поверхностной воде достигала 400 000 Бк/кг, концентрация  $^{90}\text{Sr}$  составляла 4,2 Бк/кг, содержание  $^{239+240}\text{Pu}$  – 0,005 Бк/кг.

В донных отложениях наличие  $^3\text{H}$  обнаружено повсеместно, на всей поверхности водоема, удельной активностью от 670 до 770 000 Бк/кг. Концентрация  $^{137}\text{Cs}$  изменялась от минимально детектируемой <1, до максимальной 30 Бк/кг. Глубинное перераспределение  $^3\text{H}$  в донных отложениях фиксировалось в местах наиболее высоких концентраций  $^3\text{H}$ , расположенных в южной части водоема. Во всех случаях, максимальные концентрации отмечались на глубине 60-80 см, а минимальные - в верхних слоях 0-20 см.

В грунтовых водах содержание  $^3\text{H}$  изменялось от 30 до 320 000 Бк/кг. Повышенные концентрации  $^3\text{H}$  фиксируются в грунтовых водах, распространенных на южной части озера (скважины №СК-31, Ск-27, Ск-34).

Таким образом, в результате проведенных исследований был локализован участок разгрузки загрязненных подземных вод на южной части оз. Кишкенсор. Установлено, что загрязнение оз. Кишкенсор происходит в результате выхода загрязненных подземных вод на дневную поверхность. При этом, разгрузка загрязненных подземных вод происходит как на прибрежные участки, так и непосредственно в озеро.

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЕДЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан  
[baigazinov@nnc.kz](mailto:baigazinov@nnc.kz)

В результате деятельности Семипалатинского испытательного полигона (СИП) (Восточно-Казахстанская область, Казахстан) в период с 1949 по 1989 годы на его территории образовались локальные участки с высокими концентрациями радионуклидов в окружающей среде (Лукашенко С.Н., 2010). После официального закрытия полигона жители, проживающие в близлежащих населенных пунктах, начали активную несанкционированную хозяйственную деятельность. В итоге, на сегодняшний день, сформировано порядка 100 фермерских хозяйств, занимающихся непрерывным и неконтролируемым животноводством. Характерными типами содержания животных являются пастбищное овцеводство и коневодство на обширных степных территориях.

Площадь СИП составляет порядка 18 тыс.км.кв., основную часть которой (более 90%) принято считать «фоновыми» (С.Н. Лукашенко, 2015). В настоящее время ведутся работы по передаче этих земель полигона в хозяйственный оборот. В этих условиях необходим прогноз уровней радиоактивного загрязнения животноводческой продукции, полученной на СИП для оценки дозовых нагрузок на население, потребляющего данные продукты.

Имеющиеся в мире знания по переходу радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в продукцию животноводства достаточно широки. Однако, большинство из них были получены в лабораторных условиях или на территориях загрязненных в результате радиационных аварий (N. Green, 2003; С. Фесенко, 2009), которые отличаются от территории СИП как по характеру радиоактивного загрязнения, так и по природно-климатическим условиям. Переходу трансурановых радионуклидов (Pu, Am) в животноводческую продукцию посвящены единичные работы, в некоторых случаях данные отсутствуют (МАГАТЭ №472, 2010).

Также следует обратить внимание на то, что основные работы по изучению параметров перехода в продукцию животноводства (в частности коэффициентов перехода) выполнены в системе «корм – продукция», так как принято считать, что основная доля радионуклидов поступает именно с кормом. Однако, нужно отметить, что в условиях СИП ситуация иная. К примеру, в местах наземных ядерных испытаний на СИП основной вклад в загрязнение продукции вносит загрязненная почва (более 90% от содержания  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в баранине обусловлено поступлением радионуклидов с почвой) (Лукашенко С.Н., 2015).

Начиная с 2007 г. на базе Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК проводятся исследования параметров перехода радионуклидов в животноводческую и птицеводческую продукцию. Основное внимание уделено радионуклидам  $^3\text{H}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ , трансурановым радионуклидам  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ .

Полученные результаты исследования свидетельствуют, что животноводческая продукция будет соответствовать гигиеническим нормативам по обеспечению радиационной безопасности. Во-первых, это связано с тем, что площади загрязнения испытательных площадок малы и локальны. Вторая причина, это относительно низкая миграционная способность радионуклидов в системе «почва-корм-продукция» на территории СИП.

Исключением является р. Шаган и водные источники, вытекающие за пределы площадки «Дегелен». При выпасе животных на этих участках возможно поступление повышенных концентрации  $^3\text{H}$  в продукцию. Для контроля качества получаемой на этой территории продукции, достаточно проведение теоретических расчетов, принимая во внимание площади загрязнения, объемы кормовых запасов на загрязненных участках и периоды полувыведения  $^3\text{H}$  из организма.

В случае если животных выпасали на территории площадки «4А» или в непосредственной близости к этому участку, целесообразно провести оценку содержания  $^{90}\text{Sr}$  в шерсти животных или в молоке.

В целом, можно утверждать, что животноводческая продукция полученная, на территории СИП вне испытательных площадок (т.е. более 95% территории полигона), будет соответствовать гигиеническим нормативам.

Авторы статьи выражают благодарность отдела комплексных исследований экосистем Института радиационной безопасности и экологии (г. Курчатов, Казахстан) за помощь в организации и проведении радиоэкологических работ.

Лукашенко С.Н. и др., 2015. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Вып. 5. Дом печати. Павлодар.

Лукашенко С.Н. и др., 2010. Актуальные вопросы радиоэкологии Казахстана. Вып. 1. Дом печати. Павлодар.

Green, N., Woodman, R.F.M., 2003. Recommended transfer factors from feed to animal products. NRPB-W40. Nation. Radiol. Protec. Board, Chilton.

Fesenko, S., Isamov, N., Howard, B.J., Beresford, N.A., Barnett, C.L., Sanzharova, N., Voigt, G., 2009. Review of Russian language studies on radionuclide behaviour in agricultural animals: part 3. Transfer to muscle. J. Environ.Radioact.100, 215–231.

International Atomic Energy Agency, 2010. Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments. TRS 472. IAEA, Vienna.

Байгазинов, Ж.А., 2016. Исследование параметров перехода  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^3\text{H}$  в организм некоторых видов сельскохозяйственных животных и птиц в условиях семипалатинского испытательного полигона: автореф. дис...канд. биол. наук, Обнинск.

#### ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ $^{137}\text{Cs}$ , $^{90}\text{Sr}$ , $^{241}\text{Am}$ И $^{239+240}\text{Pu}$ В ОРГАНЫ И ТКАНИ КРУПНОРАГАТОГО СКОТА В УСЛОВИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

*Байгазы С.А., Байгазинов Ж.А., Паницкий А.В.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Исследования обусловлены оценкой возможности передачи земель полигона, которые принято считать «фоновыми», в хозяйственный оборот. В этих условиях необходим прогноз уровней радиоактивного загрязнения животноводческой продукции, для оценки дозовых нагрузок на население, потребляющее данные продукты.

Объектами исследования являлись 3 дойные коровы местной поместной породы, возрастом 8-10 лет.

Эксперимент проводился в летний период. Срок проведения эксперимента составил 40 суток. Эксперимент был проведен в 3-х направлениях. В первом случае, животному в условиях стойлового содержания, ежедневно, скармливалась растительность, содержащая радионуклиды. Растения скашивали за 12 часов до скармливания с радиоактивно-загрязненной территории. Кормление проводилось два раза - утром и вечером. На всем протяжении эксперимента проводили ежедневный учет количества съеденного сена. В среднем корова съедала 7,3 кг сена в сутки.

Во втором случае, экспериментальному животному в условиях стойлового содержания ежедневно, во время утреннего и вечернего кормления в рацион добавляли по 500 г радиоактивно-загрязненной почвы путем разбавления с кормовой добавкой (отрубями) в соотношении 500 г почвы на 1,5 кг отрубей. Почва была заготовлена перед началом эксперимента.

В последнем случае, экспериментальное животное выпасалось на радиоактивно-загрязненной территории. Выпас проводился на привязи арканом длиной 13 м весь световой день. На протяжении всего эксперимента использовали 4 участка выпаса. Животное находилось на каждом участке 10 суток.

Доение всех 3 животных проводилось 2 раза в день - утром и вечером. При каждом доении на всем протяжении эксперимента животные выдаивались полностью, а на анализ отбиралась проба с утреннего доения.

После 40 суток содержания все экспериментальные животные были забиты методом обескровливания. Отобраны пробы внутренних органов, мышечной и костной ткани.

В результате проведенных исследований установлено, что во всех трех случаях равновесное состояние радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в коровьем молоке отмечается на 20 сутки. Концентрации  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в коровьем молоке были ниже предела обнаружения. Лишь в единичных случаях достигнуты численные значения.

В ходе исследований определено, что коэффициент перехода  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  в органы и ткани коров, при поступлении радионуклидов в организм животных с различными источниками (корм, почва), отличаются. При этом наибольшая биологическая доступность радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  организму отмечена при поступлении с кормом, наименьшая – с почвой. Коэффициент перехода  $^{239+240}\text{Pu}$  в говядину при поступлении с растительностью, в среднем, в 400 раз больше коэффициента перехода при поступлении с почвой. Коэффициент перехода  $^{90}\text{Sr}$  в говядину при поступлении с кормом больше, чем при поступлении радионуклида с почвой в 15 раз.

Содержание  $^{241}\text{Am}$  в органах были ниже предела обнаружения при использованных методах и аппаратно-методическом обеспечении. Лишь в печени и легких зафиксированы единичные численные значения.

В целом, полученные результаты исследования показывают, что на отдельных испытательных площадках СИП возможно получение животноводческой продукции соответствующей гигиеническим нормативам в области обеспечения радиационной безопасности, не смотря на высокие уровни удельной активности радионуклидов в компонентах природной среды этих площадок.

## ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО РАЗБРОСА ПО СКОРОСТЯМ ИОНОВ НА АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ TOF MS НА БАЗЕ КЛИНОВИДНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА С 2D ПОЛЕМ

Спивак-Лавров И.Ф.<sup>1</sup>, Байсанов О.А.<sup>2</sup>, Аманжол Е.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

<sup>2</sup>Военный институт Сил воздушной обороны им. Т.Я. Бегельдинова, Актюбе, Казахстан

Клиновидное зеркало с двумерным полем, рассмотренное в работах [1,2], может быть использовано как ортогональный ускоритель. Ускоряющее поле в зеркале создается без использования сеток и диафрагм за счет изменения потенциалов на полегающих поверхностях зеркала. В работах [1,2] получены аналитические выражения для потенциала  $\varphi(x, y)$  поля зеркала в приближении бесконечно узких зазоров между электродами.

Ионы поступают в зеркало из ионной ловушки в виде ионного пакета, имеющего форму цилиндра малого радиуса. Черной точкой на рис. 1 показано положение сечения ионного пакета. На рис. 1 также изображены границы электродов, эквипотенциалы поля зеркала и показано положение плоскости детектора  $D$ . На рисунке точками указаны границы электродов  $A, B, C$  и длины электродов  $L_1, L_2, L_3$ , которые имеют потенциалы  $V_1, V_2, V_3$  соответственно. Нижний замыкающий электрод имеет потенциал  $V_4$ , внешний примыкающий к детектору электрод, имеет потенциал  $V_0$ .

На рис. 1 представлено зеркало со следующими параметрами: угол расходимости между внутренними поверхностями конических электродов  $2\alpha = -1.6^\circ$ , длина замыкающего электрода вдоль оси  $x$  равна  $2l_0$ , а потенциал равен  $V_4 = -0.1$ ; следующий электрод имеет длину  $L_3 = 1.15$  и потенциал  $V_3 = -0.01$ ; третий электрод  $L_2 = 1.20$  и потенциал  $V_2 = 0.65$ ; четвертый электрод имеет длину  $L_1 = 1.75$  и потенциал  $V_1 = 1.01$ . Последний выходной электрод примыкает к детектору и имеет потенциал  $V_0 = 1$ .

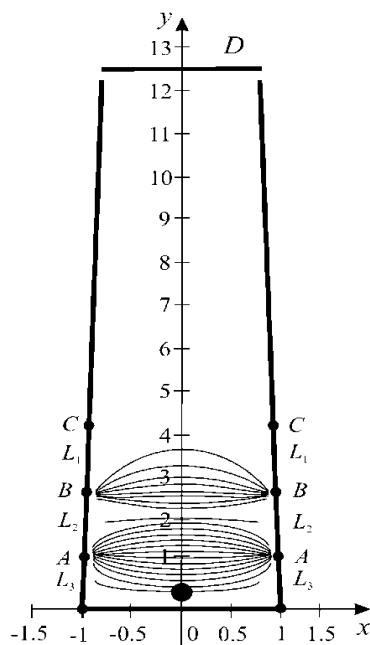
При импульсном включении электрического поля зеркала ионы ускоряются в направлении декартовой координаты  $y$ . Вследствие того, что ионы экстрагируются из разных точек, имеющих различные потенциалы, при выходе из ускоряющего поля зеркала в дрейфовое пространство они имеют разные скорости. Причем частицы, прошедшие большую разность потенциалов, движутся с большей скоростью. В результате в дрейфовой области с потенциалом  $V_0$  вблизи детектора задние частицы пакета догоняют передние, и ионный пакет сжимается в направлении движения, а также фокусируется в перпендикулярном направлении. Расположив плоскость детектора ионов там, где происходит наибольшее сжатие пакета, мы получаем TOF MS с высоким качеством пространственно-временной фокусировки и разрешением более 30000 при небольших размерах в случае идеального детектора.

Однако все расчеты приборных характеристик TOF MS на основе клиновидного зеркала с ортогональным ускорением в работах [1,2] были проведены без учета теплового разброса по скоростям ионов. Учет теплового разброса по скоростям уменьшает разрешение TOF MS. Расчеты проведенные методом Монте-Карло показывают, что уже при  $T=0.01$  К разрешение по массе уменьшается до 10000 на уровне 20% от высоты пика. Но уже при  $T=1$  К разрешение не превосходит 2000 на уровне 30% от высоты пика, а максимальное разрешение у основания пика не превосходит 1000.

1. Spivak-Lavrov, I.F. / I.F. Spivak-Lavrov // Advances in Imaging and Electron Physics. – Vol. 193, Burlington: Academic Press, 2016. – P. 45-128.

2. Байсанов О.А., Сапаргалиев А.А., Спивак-Лавров И.Ф., Тургамбаева А.У. // Научное приборостроение. – 2014. – Т. 24, № 1. – С. 82–89.

Рис. 1 – 2D поле клиновидного зеркала



ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ АНОМАЛИЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Бахур А.Е.

ФГБУ "ВИМС", Москва, Россия

Радиационный контроль и мониторинг загрязнения окружающей среды включает выявление участков или объектов с повышенной радиоактивностью, идентификацию радионуклидов, измерение их количеств, определение изотопного состава, установление источника поступления, анализ миграционных характеристик и форм нахождения, заключение о соответствии критериям радиационной безопасности и степени радиационных рисков для живой природы, прогноз развития ситуации.

Решение этих задач связано с всесторонним комплексным исследованием объекта радиоизотопными, радиографическими, электронно-микроскопическими, физико-химическими, минералогическими и другими методами. Без этой информации идентификация источника аномалии, объективная оценка и обоснованный достоверный прогноз развития радиационной ситуации невозможны.

Радиоактивные аномалии могут быть связаны как с природными геологическими (месторождения U, Th, редких и редкоземельных элементов, ореолы рассеяния и др.), так и с антропогенными (ядерные испытания, аварии и сбросы на предприятиях ЯТЦ, горнодобывающее производство, складирование и захоронение радиоактивных материалов, и др.) факторами.

Проблема идентификации источников радиоактивного загрязнения с каждым годом становится все острее. Источники загрязнения множатся, радионуклидный состав становится все более сложным, техногенные компоненты взаимодействуют с природными, образуя новые и специфичные формы локализации, приобретают характер констелляционного и кумулятивного воздействия на биосферу.

На сегодняшний день цельной комплексной системы идентификации аномалий и установления их источника пока не сложилось.

Нами в течение многих лет исследованы почвы, грунты, горные породы, поверхностные и подземные воды, растительность в известных районах техногенного радиационного загрязнения, на участках природных аномалий, а также на локальных аномалиях неустановленной природы: ближняя и удаленные зоны ЧАЭС, район озера Карачай на Южном Урале, Семипалатинский и Новоземельский ядерные полигоны, аномальные участки в Москве и Подмосковье, Воронежской, Ленинградской и Курской областях, Арзамаса, Приморья, Северного и Южного Казахстана, Югославии, Красноярска и др.

В целом исследования этих объектов базировались на комплексном подходе и следовали схеме, предложенной автором, с использованием разработанных альфа-, бета-, гамма- спектрометрических и радиометрических методов, радиографии, а также с привлечением физико-химических и электронно-микроскопических методов, и, как результат - обоснование критериев идентификации генетически различных источников поступления радионуклидов в природные среды.

Изотопный состав естественных и техногенных радионуклидов (ЕРН и ТРН) зависит от их происхождения и является индикатором возможного источника и времени поступления в геологическую среду. Поэтому в радиоэкологии эта характеристика имеет принципиально важное значение.

Общая структура предложенной системы идентификации источника техногенного загрязнения включает следующие позиции:

- характеристика объекта исследования (вода, почвы, донные отложения, горные породы и др.) и района его нахождения, предельные уровни радиоактивности (интегральные значения  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ - активности);
- исследование характера распределения активности в объекте радиографическими методами (наличие радиоактивных частиц, локальных зон концентрирования);
- исследования радионуклидного состава загрязнения (ЕРН, ТРН, смешанный характер загрязнения) спектрометрическими, радиохимическими и радиометрическими методами;
- анализ соотношений измеренных активностей с природным фоном для объекта исследований, или с фоном глобальных выпадений на земную поверхность;
- определение изотопных и радионуклидных соотношений, специфичных для каждого источника загрязнения ( $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{235}\text{U}/^{238}\text{U}$ ,  $^{230}\text{Th}/^{238}\text{U}$ ,  $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}/^{238}\text{U}$ ,  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{137}\text{Cs}/^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}/^{239+240}\text{Pu}$  и др.);
- исследование форм нахождения радионуклидов в объекте, степени и интенсивности процессов разрушения или преобразования радиоактивных образований и др.;
- комплексный анализ полученных данных и обоснованное установление или предположение источника загрязнения.

Показана принципиальная возможность установления источника поступления радионуклидов в окружающую среду, определения потенциальной опасности, прогноза изменения радиационной обстановки, используя специфичность изотопных соотношений в аномальном объекте, информацию о формах нахождения радионуклидов, направленности миграционных процессов.

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ГРУНТОВ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СИП**

*Богатырёва Т.Ю., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Одной из важных задач при изучении радиационной обстановки на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) является прогнозирование поведения радионуклидов в окружающей среде, в частности, изучение процессов выщелачивания техногенных радионуклидов из грунтов в природные воды. Таким образом, грунты радиационно-опасных объектов (РОО) СИП могут являться источниками вторичного загрязнения водоемов за счет выщелачивания радионуклидов в природные воды. Данный процесс в первую очередь зависит от характера радиоактивного загрязнения грунта и его физико-химических характеристик.

Целью исследования являлось изучение выщелачивания техногенных радионуклидов из грунта различных РОО объектов СИП в природные воды.

Объектами исследования были выбраны два РОО СИП – площадка «Дегелен» и «Атомное» озеро, расположенное на площадке «Балапан».

Ядерные испытания на площадке «Дегелен» проводились в горизонтальных выработках – штольнях. Вынос радионуклидов на дневную поверхность осуществляется со штольневыми водами. Почвы данного участка исследования относятся к почвам лугового ряда.

«Атомное» озеро, расположенное на площадке «Балапан», было образовано в результате проведения экскавационного взрыва. Наиболее загрязненным является участок в непосредственной близости от воронки «Атомного» озера – в зоне навала, где фиксируется максимальное содержание радионуклидов в грунте. Отвалы сложены глыбами и обломками горных пород различного генезиса и рыхлым грунтом. В составе рыхлого грунта кроме мелкого обломочного материала присутствуют и почвенные частицы. Зональным типом почв являются светло-каштановые почвы.

Отбор проб грунта проводился на глубину 0-5 см в местах с повышенным содержанием изучаемых радионуклидов -  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ . После предварительной пробоподготовки, во всех отобранных образцах грунта было проведено определение их удельной активности.

В образце грунта с площадки «Дегелен» удельная активность радионуклидов составила:  $^3\text{H}$  - 2000 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  - 48000 Бк/кг,  $^{241}\text{Am}$  - 1600 Бк/кг. Удельная активность радионуклидов в образце грунта с «Атомного» озера составила:  $^3\text{H}$  - 55000 Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  - 6200 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  - 5200 Бк/кг,  $^{241}\text{Am}$  - 380 Бк/кг,  $^{152}\text{Eu}$  - 1800 Бк/кг.

Методология исследования заключалась в следующем: грунт приводился в контакт с выщелачивающим раствором (дистиллированная вода), и в течение всего эксперимента находился в условиях постоянного перемешивания. Соотношение твердой и жидкой фаз (Т:Ж) составляло 1:2,5 (г/мл). Через определенное время (1-е, 10-е, 20-е, 30-е, 60-е сутки) из полученной системы отделяли водные вытяжки методом фильтрации и анализировали на содержание  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ .

Определение удельной активности  $^3\text{H}$  проводилось методом жидкостносцинтилляционной спектрометрии,  $^{90}\text{Sr}$  -  $\beta$ -спектрометрическим методом,  $\gamma$ -излучающие радионуклиды – методом  $\gamma$ -спектрометрии. Определение содержания  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{90}\text{Sr}$  проводилось методом радиохимического выделения с последующей альфа - и бета -спектрометрией. Определение содержания низких концентраций  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  в водных вытяжках проводилось методом соосаждения с последующим озолением осадка для измерения на гамма-спектрометре с детектором колодезного типа.

Установлено, что выщелачивание техногенных радионуклидов в грунтах СИП зависит от физико-химических показателей грунтов и характера радиоактивного загрязнения почвенного покрова.

По мере увеличения времени взаимодействия грунта с выщелачивающим раствором концентрация радионуклидов в водных вытяжках возрастает. Содержание  $^3\text{H}$  в водных вытяжках варьировало от  $40 \pm 13$  Бк/кг до  $1000 \pm 100$  Бк/кг. Значения удельной активности радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  - от  $120 \pm 12$  Бк/кг до  $160 \pm 16$  Бк/кг. Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в водных вытяжках изменялось от 0,2 Бк/л до 3 Бк/л. Содержание радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$  в водных вытяжках составило менее предела обнаружения.

Результаты исследования показали, что наибольшей способностью к переходу в водные растворы из грунта обладают радионуклиды  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ . Так, степень выщелачивания радионуклида  $^3\text{H}$  (в % от исходного содержания в образце) при контакте твердой фазы с раствором составила: 2% для грунта с «Атомного» озера; 14,2% для грунта с площадки «Дегелен». Степень выщелачивания радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  для грунта с «Атомного» озера составила 3%.

Полученные данные свидетельствуют о возможности вторичного радионуклидного загрязнения водоемов, связанных с выщелачиванием радионуклидов из грунтов в природные воды. Результаты проведенного исследования дают основание к проведению более детальных исследований процессов выщелачивания в водных объектах, расположенных на территории различных РОО СИП.



**STATISTIC METHODS FOR ASSESSMENTS OF RISKS AND DAMAGES AT NUCLEAR POWER PLANTS**

*Alexander Valyaev<sup>1</sup>, Gurgen Aleksanyan<sup>2</sup>, Alexey Valyaev<sup>3</sup>, Oleg Arkhipkin<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Nuclear Safety Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Yerevan State University, Yerevan, Republic of Armenia

<sup>3</sup> Oklahoma State University, Stillwater, USA

<sup>4</sup> Kazakhstan Institute of Oil and Gaz, Almaty, Kazakhstan

Today NPP using for energy production is constantly increasing in the world with the growth of different threats, for example, caused by the natural and manmade catastrophes and directed terrorist attacks [1].

It is necessary to make possible correct assessments of corresponding risks levels in common case and for single separated NPP from moment of NPP projecting, building and especially during its exploitation. It demands to provide exclusive attention and special conditions under realization of complex integrated emergency NPP management [1].

We use our universal formula for assessment of the total vector of limited losses under NPP exploitation.

The main problem is assessment of loss probability matrix elements [2]. If representative statistic data, obtained for long NPP exploitation period, are present, then some of its elements may be assessed by statistic methods. We have predicted the irradiation doses and corresponded risks for population under implementation of Russian Federal Program: "Development of Russian atomic energy industrial complex on 2007-2020 years at 10 Russian NPP, that operated during some last decades [3]. But early some types of NPP disasters were absent at researched NPP. Using of classic methods of expertise assessments is not correct in this case.

Some needed data may be obtained from primary virtual computer tests of concrete NPP with imitation of possible disasters. It allows to assess risk values and also to plan the actions for NPP operators and special services under serious NPP disasters or may be to prevent them at all.

The following important aspects and problems are under consideration in our communication: 1. The NPP researchers by our statistic methods [4]; 2. Assessments of Risks and Possible Ecological and Economic Damages from Large-Scale Natural and Manmade Catastrophes in Ecology-Hazard Regions of Central Asia and the Caucasus [2,3]. 3. Some particularizes, connected with the future development of nuclear energy industrial complex in Kazakhstan regions of Ust-Kamenogorsk city and NPP future construction near Lake Balshash and Kurchatov city are also presented in our communication.

1. A.N. Valyaev, G.M. Aleksanyan., A.A. Valyaev "Integrated Emergency Management and Risks for Mass Casualty Emergencies." Proc. of the 7<sup>th</sup> Chaotic Modeling and Simulation International Conference Lisbon, Portugal, 7 - 10 June, 2014. pp. 507-522.

2. A.N. Valyaev, S.V. Kazakov, H. D. Passell et. al. "Assessments of Risks and Possible Ecological and Economic Damages from Large-Scale Natural and Man-Induced Catastrophes Ecology-Hazard Regions of Central Asia and the Caucasus." in NATO Science for Peace and Security Series -C: Environmental Security, Proc. of NATO Advanced Research Workshop: "Prevention, Detection and Response to Nuclear and Radiological Threat", May 2-7, 2007 Yerevan, Armenia, Editors: S. Apikyan et. al. Published House: Springer, Netherlands, 2008, pp. 281-299.

3. A.N. Valyaev, A. L. Krylov., V.N. Semenov., D.V. Nikolisky, "Prediction of irradiation doses for population under implementation of Russian Federal Program: "Development of Russian atomic energy industrial complex on 2007-2020 years". Ibidem, pp.294- 308. in Proceeding of the NATO Advanced Research Workshop: "Stimulus for Human and Societal Dynamics in the Prevention of Catastrophes: NATO Science for Peace and Security Series. E: Human and Societal Dynamics" -(2011), vol. 80, pp.172-188, IOS Press -Amsterdam - Berlin - Tokyo -Washington, D.C., Edited by Arman Avagyan, David L. Barry, Wilhelm G. Goldewey, Dieter W.G. Reimer.

4. A.N. Valyaev, G.M. Aleksanyan., A.A. Valyaev, O. A. Arkhipkin "Statistic Methods for Assessments of Risks and Damages at Nuclear Power Plants" Nuclear Science Volume 2, Issue 1, February 2017, pp. 16- 25.

**МАСС-СПЕКТРОМЕТР МТИ-350ТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УРАНА, ТРАНСУРАНОВ И МОКС ТОПЛИВА**

*Кузьмин Д.Н.<sup>1</sup>, Савина Ж.А.<sup>1</sup>, Бородин А.В.<sup>1</sup>, Галль Л.Н.<sup>2</sup>, Галль Н.Р.<sup>1,2,3</sup>*

<sup>1</sup>ФГУП ЭЗАН, г.Черноголовка Московской области, Россия

<sup>2</sup> Институт аналитического приборостроения РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>ФТИ им. А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

Измерения изотопного состава делящихся материалов, в том числе урана и трансуронов, а также их смесей диктуется логикой развития ядерной энергетики, ориентированной на воспроизводящиеся источники делящихся материалов. Этот подход требует адекватного приборного обеспечения, в том числе ориентированного на технологические применения и для решения задач учета и контроля ядерных материалов. Для решения этой задачи применение поверхностной термоионизации остается наиболее выгодным путем получения ионов: интенсивным, многократно проверенным, свободным от интерференций с молекулярными ионами, в том числе с гидридными, присущих ИСР.

Специфика работы с трансуронами и МОКС топливом состоит в необходимости использования высокоактивных проб, которые эффективно загрязняют внутренние поверхности вакуумной камеры в области источника ионов. Это затрудняет использование коммерческих приборов.

Для решения этих задач разработан универсальный масс-спектрометр МТИ-350ТМ, пригодный как для технологического применения, так и для решения научных задач в области ядерной физики и техники, геохронологии, экологии и пр. Он построен по схеме однокаскадного магнитного анализатора работающего в спектроскопическом режиме и позволяет регистрировать до 9 изотопных линий одновременно. Масс-анализатор обладает высоким пропусканием обеспечивает изотопическую чувствительность на уровне  $1 \cdot 10^{-4}$ . Испытания показали, что прибор демонстрирует точность определения изотопного состава не хуже  $0.3 \cdot 10^{-4}$  на образцах соответствующих природному урану. Магазин проб на 20 образцов барабанного типа оборудован специальной контактной системой, обеспечивающей высокую надежность работы, и оснащен легко съёмными экранами, позволяющими защитить внутренности камеры от запыления высокоактивными пробами. Для научных применений прибор может поставлять в облегченном варианте, без экранов.

**ДОЗИМЕТРИЯ И МОНИТОРИНГ - ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ И ГРАЖДАН**

*Бредихин Иван*

ООО «ГаммаТек», Россия, Москва

ivan@gammatech.pro

Развитие экономики современных обществ напрямую зависит от способности легко транспортировать товары, транспортные средства и людей из разных стран. Необходимость же проверки, обнаружения и идентификации радиоактивных и специальных ядерных материалов (SNM), которые могут «ошибочно» или незаконно перевозиться. Необходимость выполнения обоих требований подразумевает совершенную систему наблюдения и контроля за товарами.

В рамках доклада будет сделан обзор современных методов и решений от компании CAEN SyS:

- Мониторинга (портальные мониторы, станции)
- Сканирования по местности (аэро, автомобильная, вертолётная, или съёмка дронами)
- Оперативного вмешательства
- Длительного наблюдения

Отдельная часть доклада будет уделена проблеме непрерывного контроля воды для гражданского населения как одного из наиболее уязвимых мест в силу потенциальной быстроты распространения нуклидов с жидкостью.

РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПАУ НЕФТЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

<sup>1</sup> Гулиева Н.К., <sup>1</sup> Набизаде З.О., <sup>2</sup> Мустафаев И.И., <sup>2</sup> Сабзалиев С.А.

<sup>1</sup>Институт Радиационных Проблем Национальной Академии Наук Азербайджана. Баку, Азербайджан

<sup>2</sup>Азербайджанский Университет Архитектуры и Строительства. Баку, Азербайджан

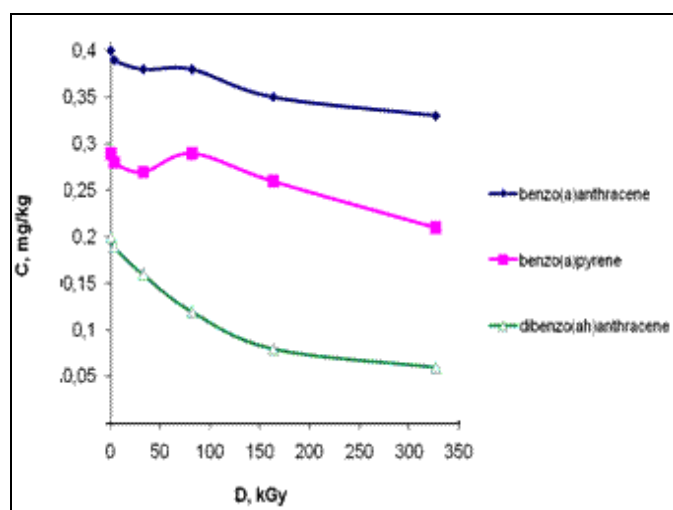
Нефтепроводы являются самым дешевым и экологически безопасным способом транспортировки нефти. При транспортировке нефти трубопроводами в связи с колебаниями температуры окружающей среды и другими факторами, нефтяные отложения (НО) выделяются из нефти и осаждаются на стенки трубопровода, уменьшая его проходной диаметр. Отложение осадков в трубопроводах приводит к возрастанию перепада давления по длине трубопровода вплоть до полной его остановки в результате образования парафиновой пробки. Это создает потенциальную экологическую угрозу, так как из-за повышения давления могут происходить прорывы трубопроводов.

Проблема нефтяных отложений в добыче нефти имеет два пути решения: профилактика (предотвращение) отложений, и удаление уже сформировавшихся отложений. Практика показала, что предотвращение отложения нефтяных соединений является менее дорогостоящим методом, чем их постоянное удаление.

В целях оценки роли радиации в процессах разлива нефтяных отложений в окружающей среде, и для разработки радиационно-химической технологии предотвращения образования НО изучены радиационно-химические превращения отложений, образовавшихся на поверхности нефтепровода при транспортировке нефти. Установлено наличие в составе отложений парафиновых углеводородов, радионуклидов, металлов, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ).

Из нефтяных углеводородов, вызывающих серьезное загрязнение, наиболее токсичными являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и продукты их распада. Изучены радиационно-химические превращения следующих полициклических ароматических углеводородов – 2-6 кольцевых ПАУ, группы 16 EPA (16 приоритетных загрязнителей ПАУ, предложенные Агентством по защите окружающей среды в США – US Environmental Protection Agency -EPA), группы NPD (нафталин, фенантрен, дибензотиофен).

На рисунке приведена дозовая зависимость изменения концентрации некоторых ПАУ при радиолитозе НО – бензоантрацена, бензапирена и дибензо(а)антрацена.



Зависимость концентраций индивидуальных ПАУ от дозы облучения

Из рисунка видно, что значительные изменения концентраций наблюдаются у наиболее токсичных ПАУ с увеличенным содержанием бензольных колец в их составе. Так, в изучаемых интервалах воздействия излучения уменьшение концентрации бензоантрацена составляет 15%, бензапирена -25%, дибензоантрацена -75%.

Представляют практический интерес возможности радиационного воздействия на расщепление канцерогенных полициклических углеводородов в составе нефтяных отложений.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ

*Егамедиев С.Х.*

Институт Ядерной Физики АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Эффективные и недорогостоящие сорбенты всегда будут востребованы в промышленности и хозяйственной деятельности. Разработка эффективных сорбционных материалов для селективного извлечения радионуклидов и тяжелых металлов из водных сред актуальна в связи с важностью решения экологических проблем, вызванных накоплением и распространением радиоактивных и токсичных загрязнений в окружающей среде. Тяжелые металлы и долгоживущие радионуклиды особенно опасны для природы и человека потому, что в отличие от многих других токсичных веществ, они не разлагаются и имеют тенденцию к накоплению. Они включаются в биологический круговорот веществ на длительные периоды времени и могут переноситься водотоками на большие расстояния. Поэтому необходимы активные действия по удалению и локализации радионуклидов и тяжелых металлов как на путях их попадания в организм человека, так и основных источников их поступления в природную среду – промышленных стоков и выбросов.

Разработка новых сорбционных материалов важна ещё и сточки зрения создания новых технологий в различных областях промышленности и в производстве перспективных радиоизотопной продукции. Сорбционные материалы могут быть использованы для извлечения, концентрирования и очистки основных целевых продуктов технологического процесса.

Эксплуатация ядерно-физических установок: ядерного реактора ВВР-СМ, циклотрона У-150, а также производство и применение радиоактивных изотопов сопровождается образованием радиоактивных сточных вод. Основу радиоактивных загрязнений составляют радионуклиды, такие как Cs-137, Sr-90, I-131 и радиоактивные металлы тяжелых металлов Zn-65, Co-57, Co-60, Mn-54. Переработка отходов с таким широким спектром химических элементов с целью их выделения, концентрирования и дальнейшего безопасного захоронения представляет собой сложнейшую технологическую задачу. Её сложность усугубляется ещё и тем, что большинство тяжелых металлов и особенно радионуклидов, проявляют свою токсичность при весьма низких концентрациях, составляющих доли миллиграммов на килограмм воды или почвы. Извлечение таких малых количеств обычными химическими методами дорого и не эффективно. В последнее время наиболее перспективными являются сорбционные методы с применением селективных сорбентов.

Цель работы обобщение результатов исследований по разработке технологий получения селективных сорбентов на основе силикатных материалов для выделения радионуклидов и тяжелых металлов из жидких радиоактивных отходов.

Разработан и изучен способ получения ферроцианидных сорбентов на основе ферроцианида никеля и крупнопористого силикагеля КСКГ. Определен оптимальный размер частиц крупнопористого силикагеля для приготовления ферроцианидных сорбентов. Показано, что ферроцианидные сорбенты на основе ферроцианида никеля и крупнопористого силикагеля с радиусом частиц 0,25 - 1 мм и 1-3 мм обеспечивают количественную адсорбцию радионуклида цезий-137 из жидких радиоактивных отходов. Так на образцах ферроцианидных сорбентов с радиусом частиц 0,25 - 1 мм и 1 - 3 мм коэффициент распределения цезия-134 составляет  $1,2 \times 10^4$  и 2280 соответственно. При этом процент адсорбции радионуклида цезий-134 достигает 99,6 % в течение 24 ч из реальной воды ЖРО.

Разработан способ получения ферроцианидного сорбента на основе бентонита. Способ включает в себя предварительную обработку бентонитового порошка в микроволновом поле при мощности поля 450 Вт в течение 6-10 мин, последующую обработку водно-аммиачным раствором соли переходного металла и затем раствором ферроцианида щелочного металла, подкисление полученной смеси до pH 4-5, промывку и сушку готового сорбента при 120 – 140 °С.

Установлена возможность применения метакаолина полученного методом ИК-обработки для дезактивации щелочных низкоактивных жидких радиоактивных отходов от радионуклида цезий-137. При этом коэффициент очистки ЖРО по радионуклиду  $^{137}\text{Cs}$  составляет 390- 780. Изучена систематически сорбция радионуклида цезий-134 на метакаолине из реальной воды в зависимости от pH и времени контакта. Установлено, что наибольший коэффициент распределения радионуклида цезий-134 составляет 3560 при pH 8 и времени контакта 96 часов. Процент адсорбции Cs-134 составляет 99,3 %.

Полученные образцы ферроцианидных сорбентов на основе ферроцианидов никеля и меди и метакаолина были испытаны для переработки жидких радиоактивных отходов на уникальном объекте СХВО. Эта работа была выполнена при поддержке ККРНТ при Кабинете Министров Республики Узбекистан, грант № ФА -А12-Ф009.

ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ С. КАЛАЧИ ОТ ВНУТРЕННЕГО ПОСТУПЛЕНИЯ  $^{222}\text{Rn}$

Жадыранова А.А., Шатров А.Н., Топорова А.В., Романенко Е.В.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Актуальность изучения влияния радона и его дочерних продуктов распада на человека и на популяцию в целом сегодня уже ни у кого не вызывает сомнений. Широкомасштабные исследования, проведенные в начале 90-х годов в Западной Европе показали, что за счет радона формируется от 50% коллективной дозы для благополучных регионов и до 92% для регионов с повышенной радоноопасностью.

Учет дозовых нагрузок от естественных радионуклидов необходимо проводить по двум причинам. Во-первых, сопоставление уровней дозовой нагрузки от естественных радионуклидов и искусственных источников излучения позволяет определить уровни, объемы, направленность и даже целесообразность проведения реабилитационных мероприятий. Во-вторых, снижение общей текущей дозовой нагрузки, следовательно, и вредных последствий облучения может быть более эффективным и менее дорогостоящим при проведении работ по снижению концентрации радона и его дочерних продуктов распада в жилых и общественных зданиях по сравнению с другими видами вмешательства.

В Санитарных правилах "Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности" эффективная равновесная объемная активность дочерних продуктов изотопов радона – это взвешенная сумма объемных активностей короткоживущих дочерних продуктов изотопов радона.

Классический расчет дозы от радона автоматически подразумевает учет вклада дочерних продуктов распада. В этом случае предполагается, что радон и его ДПР находятся в "относительном" равновесии. Однако данное состояние не всегда имеет место. Так в ходе радиоэкологического обследования с. Калачи обнаружено, что объемная активность радона существенно превосходит величину ЭРОА, что в свою очередь требует расчета дозы только от радона без учета его ДПР.

Научный комитет организации объединенных наций по действию атомной радиации рекомендует принимать дозовый коэффициент для ДПР радона  $9 \times 10^{-6}$  мЗв/(ч $\times$ Бк/м<sup>3</sup>). Однако, как и в зарубежных правилах, так и в отечественных гигиенических нормативах не приводится дозовый коэффициент для  $^{222}\text{Rn}$ . Вместе с этим в санитарных нормах Республики Казахстан неоднократно напоминает, что  $^{222}\text{Rn}$  (помимо его ДПР) вносит существенный вклад во внутреннюю дозу облучения. Кроме этого если объемная активность  $^{222}\text{Rn}$  больше ЭРОА ДПР, то необходимо проводить оценку дозы в первую очередь от  $^{222}\text{Rn}$ , дозовый коэффициент для которого не приводится.

В данной работе был проведен расчет дозовых коэффициентов  $^{222}\text{Rn}$  при пероральном и ингаляционном путях поступления с использованием его биокинетической модели. Полученные значения были применены при расчете дозовой нагрузки на население, проживающее в поселке Калачи.

Для расчета дозовых коэффициентов были использованы биокинетические модели поведения радона в организме человека. Составлена система дифференциальных уравнений первого порядка, которая описывает изменение активности радона в критических органах и тканях с течением времени при ингаляционном и пероральном пути поступления. Проведен расчет функций удержания  $^{222}\text{Rn}$  в организме.

Полученные значения дозовых коэффициентов применены в расчетах дозовых нагрузок от  $^{222}\text{Rn}$  для жителей с. Калачи Акмолинской области. Известно, что резонансным событием 2014 – 2015 гг в Казахстане отмечен факт "сонного синдрома" в данном селе. В данном факте интерес для сотрудников ИРБЭ представляло определение возможной доли причастности естественных радионуклидов, а именно  $^{222}\text{Rn}$ . Проведенные исследования на территории с. Калачи показали, что среднегодовая объемная активность в воздухе жилых помещений находится в диапазоне 6 – 1269 Бк/м<sup>3</sup> и 5 - 2024 Бк/м<sup>3</sup> соответственно в теплый и холодный периоды года. Значения объемной активности  $^{222}\text{Rn}$  в питьевых источниках с. Калачи находятся в диапазоне 2 – 64 Бк/л.

Ожидаемые дозы при ингаляционном и пероральном путях поступления  $^{222}\text{Rn}$  составили 2,2 мЗв и 1,3 мЗв, соответственно. Как видно, доза от ингаляционного поступления  $^{222}\text{Rn}$  превалирует над пероральным поступлением. Также, проведена расчетная оценка доз для населения с.Калачи от дочерних продуктов распада радона. Полученные результаты показали, что дозовая нагрузка от ингаляционного поступления  $^{222}\text{Rn}$  мала по сравнению с ДПР радона и составляет менее 10 %.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ТРИТИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТЕ ИЗ ПОЛОСТЕЙ ОБЪЕКТА "ЛИРА" МЕТОДОМ МОКРОГО СЖИГАНИЯ

Желтов Д.А., Эдомская М.А., Быченко А.Н., Калиева А.К., Харкин П.В.

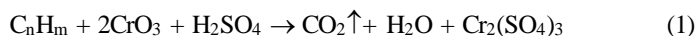
Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Определение содержания трития, как наиболее значимого радионуклида для радиационной безопасности в нефтепродуктах, связанных с объектами, созданными ядерно-взрывными технологиями является очень актуальной и востребованной задачей.



Рис. 1 Блок-схема аналитической процедуры определения объемной активности трития в ГК КГКМ

В работе, выполненной в рамках программы "Комплексное исследование и мониторинг объектов ЛИРА" исследована возможность определения содержания трития в стабильном газоконденсате (ГК) Карачаганакского месторождения (КГКМ) методом "мокрого сжигания". Метод [1] основан на нагревании пробы ГК в среде концентрированной серной кислоты и триоксида хрома для перевода в форму тритированной воды и последующем измерении водно-связанного трития на жидкосцинтилляционном бета-спектрометре, используя водносмешиваемый сцинтиллятор. При окислении ГК протекает реакция по схеме:



Для проведения процесса "мокрого сжигания" ГК по (1) использован аппарат с обратным холодильником, который после проведения окисления меняется на прямой для отгонки воды.

Проведена отработка аналитической процедуры "мокрого сжигания" 1 мл ГК КГКМ, физико-химический состав которого принят по [2]: парафин до 5,6 %, метанофтеновые углеводороды (УВ) более 70 %, ароматические УВ более 20 %. Определены оптимальные значения температуры и продолжительности процессов по стадиям процедуры (рис. 1), были эмпирически уточнены значения, содержания триоксида хрома и серной кислоты для наиболее полного окисления ГК, а также введены дополнительные стадии. Оценка предела обнаружения трития в ГК с учетом разбавления реакционной тритированной воды составила  $\approx 100$  Бк/л.

Выполнена отработка процедуры "мокрого сжигания" по методу "введено-найденно" стандартного образца (СО) водно-связанного трития SRM4927F (вводился в сернокислотную фазу) для предварительной оценки правильности, прецизионности и точности определения трития в ГК. Ввиду отсутствия СО содержания трития в УВ, химический выход, установленный по добавке водно-связанного трития, был принят за общий химический выход трития и составил в среднем  $(80,6 \pm 4,5)$  %, т.е. в каждый результат определения объемной активности трития в ГК необходимо вносить мультипликативную поправку.

В результате статистической обработки по РМГ 61-2010 данных экспериментов по методу "введено-найденно" также получена оценка основных метрологических показателей определения объемной активности трития в ГК КГКМ методом "мокрого сжигания" (в отн. ед. при  $P=0,95$ ): промежуточная прецизионность 0,08; точность 0,015.

Оценка объемной активности трития ( $n=4$ ) в пробе К1-129, отобранной 05.03.2001 г. на УКПГ-3, С-303 составила  $(850 \pm 130)$  Бк/л на 05.03.2001г., что заметно меньше уровня освобождения от контроля равного  $8 \cdot 10^4$  Бк/л [3] и позволяет отнести ГК по данной пробе к условно радиационно-безопасному нефтепродукту.

[1] Василенко Е.В. Особенности измерений трития в углеводородах: пробоподготовка, методы измерений, расчеты. ВНИПИ Промтехнологии, презентация на выставке MetroExpo-2015, Москва 2015.

[2] Батманов К.Б., Мансуров З.А. Нефть и газ, 2006, № 5, с. 59-65.

[3] Радиационная защита и безопасность источников излучения: Международные основные нормы безопасности. Общие требования безопасности, часть 3 (№ GSR Part 3). Разработаны совместно АЯЭ/ОЭСР, ВОЗ, ЕК, МАГАТЭ, МОТ, ПАОЗ, ФАО, ЮНЕП. МАГАТЭ, Вена, декабрь 2015. STI/PUB/1578.

**РАЗВИТИЕ МЕТОДА УСКОРИТЕЛЬНОЙ МАСС СПЕКТРОМЕТРИИ НА УСКОРИТЕЛЕ УКП-2-1  
ДЛЯ АНАЛИЗА УЛЬТРА НИЗКИХ СОДЕРЖАНИЙ ИЗОТОПА PU-239**

*Горлачев И.Д., Глуценко Н.В., Киреев А.В., Платов А.В.*

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Проблема анализа ультра низких концентраций плутония и урана с особой актуальностью стоит для Казахстана, имеющего на своей территории Семипалатинский ядерный полигон (СИП), а также два десятка уранодобывающих рудников.

За период с 1949 по 1989 года на СИП было произведено 116 атмосферных (в том числе 86 воздушных), 30 наземных и более 400 подземных ядерных испытаний. Количество выброшенных искусственных радионуклидов (в частности плутония) в экосистему в этом случае в сотни раз превышает количество плутония, выброшенного при аварии на Чернобыльской АЭС. Согласно проведенным исследованиям, на почве полигона дисперсировано 550000 Ки плутония. В районах, прилегающих к местам проведения ядерных взрывов, располагаются населенные пункты. При этом до сих пор не проводились исследования вклада радиационной нагрузки, обусловленной присутствием в организме местных жителей плутония в общую дозовую нагрузку. Необходимо при этом учесть, что биологическое действие плутония на два порядка больше, чем продуктов деления.

Предел обнаружения  $^{239}\text{Pu}$ , достигнутый в настоящее время альфа-спектрометрией (~25 мкВк), не позволяет использовать этот метод для анализа столь малого содержания плутония. В то же время, ускорительная масс спектрометрия (AMS), позволяющая достичь предел обнаружения  $^{239}\text{Pu}$  ~500 нБк, может быть успешно использована для анализа плутония в биологических образцах (моча, кровь и т.п.).

Разработка метода анализа ультранизких содержаний тяжелых элементов, в том числе плутония, в объектах окружающей среды и биологических образцах позволит получать новую чрезвычайно важную информацию о влиянии внешних источников загрязнения окружающей среды на присутствующие в области загрязнения биологические системы, прежде всего человека.

В 2015 году в Институте ядерной физики были начаты работы по развитию на базе ускорителя тяжелых ионов УКП-2-1 метода ускорительной масс спектрометрии для анализа изотопа  $^{239}\text{Pu}$  в биологических пробах. За прошедшее время были проведены работы по модернизации элементов и узлов ускорителя с целью получения технических характеристик, необходимых для развития метода AMS. Для проведения анализа биологических проб совместно с Институтом радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК была разработана методика пробоподготовки. В настоящее время проводится анализ пробы мочи, отобранных у людей, проживающих в непосредственной близости к СИП на содержание изотопа  $^{239}\text{Pu}$ . В представленной статье описаны выполненные работы и полученные результаты.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЧВЕННЫХ МИКРОГРИБОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО  
ПРОИХОЖДЕНИЯ С ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ**

*Желтоножская М.В. <sup>1</sup>, Желтоножский В.А. <sup>2</sup>, Тугай А.В. <sup>3</sup>, Тугай Т.И. <sup>3</sup>, Черняев А.П. <sup>1</sup>*

1Институт ядерных исследований НАН Украины,  
2Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына  
Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,  
3Институт микробиологии и вирусологии им. Д. К. Заболотного НАН Украины

Проведены исследования взаимодействия микромицетов с топливо-содержащими материалами из 4-го разрушенного энергоблока ЧАЭС. Впервые обнаружена аккумуляция  $^{241}\text{Am}$  микромицетами из топливных частиц, отобранных из 4-го разрушенного энергоблока ЧАЭС. Наблюдается практически полное усвоение  $^{241}\text{Am}$  мицелием без перевода части радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  в культуральную жидкость. Это качественно отличается от поведения этих же штаммов микромицетов при их взаимодействии с  $^{137}\text{Cs}$  из топливных частиц, участвующих в эксперименте. Из полученных результатов хорошо видно, что в отличие от  $^{241}\text{Am}$  активность  $^{137}\text{Cs}$  и в мицелии, и в культуральной жидкости соизмерима.

Полученные результаты открывают новые возможности по изучению взаимодействия различных микромицетов с трансурановыми радионуклидами, что в дальнейшем позволит разработать щадящие методы очистки загрязненных трансурановыми элементами территорий (полигоны проведения наземных ядерных испытаний, территории горно-обогатительных комбинатов, хранилища ядерного топлива, участки, загрязненные в результате радиационных аварий).

Проводится обсуждение полученных данных.

**ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ,  
ИЗЪЯТЫХ ИЗ НЕЗАКОННОГО ОБОРОТА В ВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ УКРАИНЫ**

*Кутний Д.В., Ванжа С.А., Медведев А.В., Белкин Ф.В., Зима Г.В.*

Национальный научный центр «Харьковский Физико-технический институт»  
г. Харьков, Украина

Концепцией развития ядерной криминалистики в Украине Национальному научному центру «Харьковский физико-технический институт» отведена роль региональной экспертно-криминалистической организации в Восточном регионе страны с целью выполнения идентификации радиоактивных материалов неизвестного состава по запросам компетентных государственных органов.

В апреле 2017 г. ННЦ ХФТИ получил запрос из Государственной инспекции ядерного регулирования Украины на проведение идентификации двух радионуклидных источников ионизирующего излучения (ИИИ), изъятых из незаконного оборота. ИИИ находились в стеклянных колбах прямоугольного и круглого сечения и представлял собой: гранулы желто-зеленого цвета и мелкодисперсный порошок желтого цвета. Мощность экспозиционной дозы на поверхности колб составляла 2,55 и 1,15 мкЗв/ч, соответственно.

Анализ изотопного состава образцов и расчет значений активности основных изотопов выполняли с помощью широкодиапазонного гамма-детектора на основе германия высокой чистоты типа BeGe 3830 (Canberra, США). Обработку экспериментальных спектрометрических данных осуществляли с помощью стандартных пакетов Genie 2000, MGAU, ISOCS.

Анализ элементного состава ИИИ выполняли на рентгенофлуоресцентном спектрометре с волновой дисперсией S 8 Tiger (Bruker AXS GmbH, Германия). Управление спектрометром и обработка спектральных данных осуществляется с помощью пакета программ Spectra Plus, в состав которого входит программное обеспечение для полуколичественного (безстандартного) экспресс-анализа образцов неизвестного состава.

Фазовый состав образцов определяли методом рентгеновской дифракции на установке ДРОН-3М в излучении медного анода с применением никелевого селективного фильтра с фокусировкой по Брегу-Брентано. Для идентификации фаз использовали базу дифракционных данных.

Результаты гамма-спектрометрических исследований показали, что оба, представленных для идентификации ИИИ, содержат изотопы урана  $^{235}\text{U}$ ,  $^{238}\text{U}$ , обогащение по изотопу  $^{235}\text{U}$  – естественное (~ 0,7 %). Активности изотопов [ $^{235}\text{U}$ ;  $^{238}\text{U}$ ] в первом и втором образцах составляют соответственно [30 кБк; 634 кБк] и [8 кБк; 167 кБк].

Результаты анализа элементного состава ИИИ подтвердили наличие в обоих образцах U с содержанием  $\leq 80$  мас.%, а также микропримесей Ca, P, Mo, Si в незначительных концентрациях  $< 0,5$  мас. %. В связи с особенностями метода рентгенофлуоресцентного анализа определение содержаний легких примесей (H, B, C, N, O) не выполнялось.

Данные, полученные при расшифровке дифрактограмм исследуемых образцов, свидетельствуют о том, что первый ИИИ является гидратом ацетата урана (Uranyl Acetate Hydrate), рациональная формула –  $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6\text{U} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , тип решетки – ромбическая; второй ИИИ – гидрат нитрата уранила (Uranyl Nitrate Hydrate), рациональная формула –  $\text{UO}_2(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , тип решетки – ромбическая.

Таким образом, представленные для идентификации радионуклидные ИИИ, являются солями урана и могли применяться в качестве пигментов глазурей и реагентов в аналитической химии, в электронной микроскопии для контрастирования биологических структур, а также в фотографии для усиления негативов.



**ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСАМ РАДИОЭКОЛОГИИ И НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ**

*Зима Г.В.*

Национальный научный центр «Харьковский Физико-технический институт»  
г.Харьков, Украина

В то время как основными задачами и сферой интереса радиоэкологии является изучение и устранение последствий изменений радиационного фона, по причине техногенных, военных или иных внештатных ситуаций, нераспространение является одним из механизмов предотвращения ситуаций повышенного риска для окружающей среды. Это справедливо не только в отношении возможных последствий терактов, вооруженных столкновений и прочих ситуаций, ассоциируемых с понятием «нераспространение». Нерешённые задачи нераспространения могут породить проблемы вполне техногенного характера, поскольку распространение ОМУ (оружия массового уничтожения), а также его производство и просто обладание им связано с производственными мощностями, которые чреваты авариями как с незначительным, так и с существенным воздействием на окружающую среду. Производство почти всех видов ОМУ связано с воздействием вредных и поражающих факторов на сотрудников предприятий и проявления отдалённых последствий такого воздействия возможны в последующих поколениях, поскольку на ядерных, химических производствах высок риск получения дозы неблагоприятного фактора, вызывающей стохастические и даже детерминированные эффекты. Чем больше таких производств - тем больше возможных генетических поломок в популяции.

При использовании ядерного ОМУ радиационное загрязнение происходит неотвратно и очевидно для всех, но и при производстве, и при распространении ядерных материалов поражение территорий не столь очевидное, но не менее опасное [1]. Помимо производства, ядерные материалы необходимо правильно сохранять и утилизировать. И здесь многократно увеличивается риск нанесения радиационного ущерба экологическим системам в результате несоблюдения норм, ошибок в силу человеческого фактора, отказов или сбоев в работе приборов.

Проблемы обеспечения радиационной безопасности человека и окружающей среды в связи с быстро развивающейся ядерной энергетикой сегодня в центре внимания современной радиоэкологии [2]. При этом, в настоящее время, когда даже самые развитые государства вынуждены «уровень террористической угрозы» ставить на максимум, а в странах третьего мира терроризм превращается в повседневное явление одной из задач радиационной экологии, является умение быстро оценить возможные риски радиационной угрозы при проведении теракта и способы минимизации радиационных последствий в условиях различных экосистем. Решение проблем нераспространения позволит снижать вероятность таких терактов и попадания ядерных материалов в руки террористов. Тщательно проработанная модель потенциальных радиационных загрязнений от возможных указанных атак, вместе с алгоритмом минимизации их возможных последствий также представляет интерес для радиоэкологии. Понимание глубины проблемы, возможное благодаря подходам и методам, которые использует радиоэкология должно стимулировать усилия как отдельно взятых государств, так и мирового сообщества в целом направить максимум усилий в дело нераспространения ОМУ, ведь радиоактивные загрязнения окружающей среды невозможно остановить государственной границей [3]. И, весьма вероятно, понимание вклада в распространение радиационного загрязнения экологических факторов – течений, ветров, движения воздушных масс, осадков, пищевых цепей и т.п. поднимет на новый уровень осознание факта необходимости бороться с распространением ОМУ.

1. Актуальные проблемы ядерного нераспространения Зима Г.В. Тез. докл. VII-й международной научно-практической конференции «Семипалатинский испытательный полигон. Радиационное наследие и перспективы развития», 21-23 сентября 2016, г. Курчатов, Казахстан

2. Перспективы системной радиоэкологии в решении инновационных задач ядерной энергетики Спиридонов С.И. Радиационная биология. Радиоэкология, 2014, том 54, №4, с.415-422

3. Medical and radioecological consequences of the Chernobyl catastrophe in Western Europe Frenzel Ch., Lengfelder E. Сахаровские чтения 2016 года «Экологические проблемы XXI века», 16 международная конференция, 19-20 мая 2016 г. Минск, Беларусь, с. 198.

**ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА СОСТАВА  
НЕРАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И НАЗЕМНЫХ  
ВЫПАДЕНИЙ ИЗ АТМОСФЕРЫ**

Андреев А.В.<sup>1</sup>, Бурмистров Ю.М.<sup>1</sup>, Зуев С.В.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Мордовской М.В.<sup>1</sup>, Плетников Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский авиационный институт (Национальный исследовательский университет), Москва, Россия

В работе проводятся исследования изотопного состава нерадиоактивных атмосферных аэрозолей и их пространственно-временного распределения для обеспечения задач мониторинга состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения и контроля ядерно-опасных объектов. При этом выполняется определение содержания стабильных нерадиоактивных элементов и их изотопов в атмосферных аэрозолях и осадках.

Пробы атмосферных выпадений вблизи земной поверхности отбирались на стандартные марлевые планшеты (из отбеленной хлопчато-бумажной медицинской марли) размером 55 см x 55 см, расположенные горизонтально на разных высотах над поверхностью Земли, а пробы атмосферных аэрозолей отбирались на фильтры в фильтро-вентиляционной установке. Отбор проб проводился с регулярной периодичностью в течение нескольких месяцев.

Состав и содержание нерадиоактивных элементов в пробах определялся с помощью нейтронно-активационного анализа. Пробы облучались потоками нейтронов фотонейтронного источника ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН [1] на базе линейного ускорителя электронов. Измерения активности проб проводились с использованием низкофонового гамма-спектрометра [2], включающего детектор из сверхчистого германия, размещенный в низкофоновой камере с «пассивной» защитой. Идентификация линий в активационных гамма-спектрах проб осуществлялась с помощью разработанных программ по измеренным значениям энергии и периода полураспада. Получены временные зависимости состава и содержания нерадиоактивных элементов в пробах атмосферных аэрозолей и наземных выпадений из атмосферы в приповерхностном слое Земли

Список литературы:

1. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Nedorezov V.G. // Bull. Russ. Acad. Sci.: Phys., 2017, Vol. 81, No. 6, pp. 748.
2. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Firsov V.I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V.4. P. 879.

**ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ  
АЭС**

Бондарьков Д.М.<sup>1</sup>, Кулич Н.В.<sup>1</sup>, Желтоножская М.В.<sup>2</sup>, Черняев А.П.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований НАН Украины

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д.В. Скобельцына  
Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова

Проведено исследование концентрации активностей ( $A$ )  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  вблизи объекта «Укрытие» на Чернобыльской АЭС после проведения работ по созданию новой арки над объектом «Укрытие». Исследования проводились на полигонах «Рыжего леса», находящегося в 3÷5 км зоне ЧАЭС. Отбирались пробы толщиной 2 см на полигонах без антропоморфного воздействия в послечернобыльский период. Спектроскопическими методами измерены активности  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$ . Обнаружены участки с соотношениями активностей  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$   $A(^{241}\text{Am})/ A(^{137}\text{Cs}) = 0.11 \pm 0.02$  и  $A(^{90}\text{Sr})/ A(^{137}\text{Cs}) = 2.0 \pm 0.3$ . Исследования, выполненные в 2012 г., до проведения работ по созданию новой арки, показывают, что  $A(^{241}\text{Am})/ A(^{137}\text{Cs}) = 0.05 \pm 0.01$ ,  $A(^{90}\text{Sr})/ A(^{137}\text{Cs}) = 0.6 \pm 0.1$ . Исследование концентрации этих радионуклидов в топливосодержащих материалах отобранных внутри объекта «Укрытие» показало, что соотношение этих радионуклидов составляет  $A(^{241}\text{Am})/ A(^{137}\text{Cs}) = 0.09 \pm 0.02$ ,  $A(^{90}\text{Sr})/ A(^{137}\text{Cs}) = 2.5 \pm 0.5$ .

Проведено также измерение дисперсного состава нерастворимых топливных частиц находящихся в отобранных пробах. Для оценки дисперсного состава топливных частиц использовалась экспериментальная зависимость между диаметром пятен потемнения и активностью  $^{90}\text{Sr}$  в топливных частицах на время экспозиции. Получено логнормальное распределение с максимумом  $1.5 \pm 0.5$  мк. Эта величина смещена на 1 мк по сравнению с данными 2000 г.

Проводится обсуждение полученных данных.

LASER SPECTROSCOPY AND DETECTION OF ACTINIDES/LANTHANIDES IN BIOLOGICAL SAMPLES

Izosimov I.N.

Joint Institute for Nuclear Research, Joliot Curie 6, 141980 Dubna, Russia  
e-mail: [izosimov@jinr.ru](mailto:izosimov@jinr.ru)

The use of luminescence/chemiluminescence methods for detection of lanthanides/actinides in solutions allows the sensitivity to reach the limit of detection (*LOD*)  $10^{-6}$  mol/l –  $10^{-13}$  mol/l (M) [1-4]. The background can be efficiently suppressed for lanthanides and actinides using time resolution. For Eu, Sm, and U analysis we used luminescence method with pulse (ns) nitrogen laser excitation of the solution and time resolution for the signal registration [1-4] (or Time Resolved Laser Induced Fluorescence – TRLIF). We performed both spectral and time resolution of the analytical signal. Time resolution is based on measurement of radiation after delay time with respect to laser pulse with registration of the luminescence within a given time interval (strobe time). A high sensitivity of europium and samarium detection in aqueous solutions can be reached in the case of complex formation of these elements with fluorinated  $\beta$ -diketones and trioctylphosphine oxide (*TOPO*) in the presence of nonionic surfactants [4]. In this work for europium and samarium detection, we used pyvaloyltrifluoroacetone (*PTFA*), *TOPO*, and *Triton X-100*. The *LOD* was estimated from the  $3\sigma$  background criterion, where  $\sigma$  is the standard deviation of the background measurements. In pure solution the *LOD* for europium was 0.005 ng/ml and samarium, 0.07 ng/ml. After addition of 0.2 ml of urine the *LOD* for europium was 0.015 ng/ml and samarium, 0.2 ng/ml.

Typical concentration of uranium in urine is about 0.2 ng/ml – 5 ng/ml. One of the most convenient way is to use the sodium polysilicate solution for uranyl detection. Such solution has a low self-background and provide *LOD* for uranyl in our experiments up to 0.005 ng/ml. The limit of uranyl detection in urine by using TRLIF in our experiments was about 5 pg/ml.

However, this method is suitable only for analysis of inorganic samples. Biological samples containing a large amount of organic substances should be preliminary mineralized. Typical concentration of uranium in blood plasma is about 0.05 ng/ml – 0.5 ng/ml. Solution (2.2 ml) was placed into a quartz cuvette and the background luminescence was measured. Then, an aliquot of the solution to be analyzed (in common case, 0.05 ml – 0.2 ml) was added and the total intensity of background and the sample was determined. The decay time of uranium luminescence in polysilicate was approximately 500  $\mu$ s. After mineralization of the sample and preparation of a solution for analysis the decay time of uranium luminescence was about 300  $\mu$ s [4]. The *LOD* decreases by a factor of 1.5–2 in passing of blood plasma added into solution from 0.05 ml to 0.15 ml – 0.25 ml. Thus, the permissible volume of blood plasma does not exceed 0.15 ml – 0.25 ml. Without mineralization the *LOD* by TRLIF in blood plasma was 0.1 ng/ml and after mineralization was up to 8 pg/ml – 10 pg/ml.

Compare concentrations of the uranyl in blood plasma and in urine one can estimate the time when the uranyl was got into organism [4].

Results of the experiments on Eu, Sm, U detection by TRLIF method and Eu, Sm, U, Pu detection by TRLIC method (Time Resolved Laser Induced Chemiluminescence) [1-4] are presented.

References:

1. I.N. Izosimov, Phys. Part. Nucl., 38, 203 (2007). DOI: 10.1134/s1063779607020025
2. I.N. Izosimov, N.G. Firsin, N.G. Gorshkov and S.N. Nekhoroshkov, Hyperfine Interact., 227, 281(2014). DOI: 10.1007/s10751-013-0990-7
3. I.N. Izosimov, Journal of Rad. and Nucl. Chem., 304, 211(2015). DOI: 10.1007/s10967-014-3601-4
4. I.N. Izosimov, Procedia Chemistry, 21, 473(2016). DOI:10.1016/j.proche.2016.10.066

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВОДНОГО МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ  
СИП

Искенов А.О., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н., Актаев М.Р.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Территория бывшего Семипалатинского испытательного полигона имеет площадь 18500 кв. км, для которой характерны различные географические, геологические и гидрографические условия. На территории полигона в период с 1949 по 1991 г. было проведено 456 ядерных испытаний различного характера, куда входили атмосферные - наземные и воздушные ядерные испытания, и подземные ядерные испытания в скважинах и штольнях. Помимо ядерных взрывов на полигоне проведено 175 взрывов с применением химических взрывчатых веществ. Проведение столь масштабных ядерных экспериментов в сочетании с различными ландшафтно-геологическими условиями мест проведения испытаний обусловили весьма разнообразную картину радиоактивного загрязнения различного характера.

В настоящее время радиозэкологическое состояние водных объектов бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) обусловлено вторичным загрязнением продуктами ядерных испытаний путем выноса техногенных радионуклидов с подземными и поверхностными водами из мест проведения ядерных взрывов на площадках "Дегелен", "Балапан", "Телькем", и "Сары-Узень". В основном, присутствие техногенных радионуклидов отмечается в пределах площадок, однако в отдельных случаях наблюдается их миграция за пределы административных границ испытательных площадок и территории СИП с подземными и поверхностными водами.

Начиная с 2012 года филиалом ИРБЭ начаты систематические исследования поверхностных и подземных вод на территории СИП с учетом особенностей каждой испытательной площадки. В результате работы, получены комплексные данные о радиационной обстановке на исследуемых площадках, выявлены источники загрязнения и определены все основные пути миграции загрязненных подземных и поверхностных вод. На основе полученных комплексных данных была разработана программа водного мониторинга, целью которой является современный контроль состояния водных объектов, а также прогноза изменения радионуклидного загрязнения в долгосрочных перспективах.

Программа представляет собой комплексную систему сбора, обработки, накопления информации для контроля над радионуклидным загрязнением подземных и поверхностных вод территории (СИП). Основные разделы программы включают в себя объекты исследования состоящие из поверхностных вод (реки, озера, водохранилища), подземных вод (грунтовые и трещинно-жильные воды), различные водохозяйственные системы и сооружения (колодцы, водозаборы и т.д.). Контролируемые параметры состоят из химических компонентов (общей минерализации и стабильных изотопов  $^2\text{H}/^{18}\text{O}$ ), содержания техногенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ) и гидрологических параметров объектов мониторинга (уровень, дебит, расход).

Всего на территории СИП за контролем водной среды определены 60 постов наблюдения за поверхностными водами, 90 мониторинговых скважин для подземных вод и 30 различных пунктов контроля за водохозяйственными системами и сооружениями. В настоящее время, с учетом специфических особенностей каждого участка, для всех пунктов наблюдения определены периодичность мониторинга и контролируемые параметры.

РАДИАЦИОННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБ АТМОСФЕРНЫХ  
АЭРОЗОЛЕЙ И НАЗЕМНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ИЗ АТМОСФЕРЫ

Андреев А.В.<sup>1</sup>, Афонин А.А.<sup>1</sup>, Бурмистров Ю.М.<sup>1</sup>, Зувев С.В.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Плетников Е.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерных исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), Москва, Россия

В данной работе изучается влияние естественных и антропогенных факторов на изотопный состав атмосферных аэрозолей и их воздействие на окружающую среду. Для этого проводятся исследования изотопного состава радиоактивных и нерадиоактивных атмосферных аэрозолей и их пространственно-временного распределения для обеспечения задач мониторинга состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения и контроля ядерно-опасных объектов.

В работе выполнялось высокочувствительное определение содержания радиоактивных элементов и их изотопов в атмосферных аэрозолях и выпадениях, отбираемых на специальные аналитические фильтрующие материалы вблизи земной поверхности. Пробы атмосферных выпадений отбирались на стандартные марлевые планшеты (из отбеленной хлопчато-бумажной медицинской марли) размером 55 см x 55 см, расположенные

горизонтально на разных высотах над поверхностью Земли, а пробы атмосферных аэрозолей отбирались на фильтры в фильтро-вентиляционной установке. Отбор проб проводился с регулярной периодичностью в течение нескольких месяцев.

Измерения активности проб проводились с использованием низкофонового гамма-спектрометра [1], включающего детектор из сверхчистого германия, размещенный в низкофоновой камере с «пассивной» защитой. Гамма-спектры проб сравнивались со спектром естественно-радиоактивного фона камеры. Получены временные зависимости активности нуклидов U и Th-рядов,  ${}^7\text{Be}$  и  ${}^{40}\text{K}$  в приповерхностном слое Земли.

1. Andreev A.V., Burmistrov Yu.M., Zuyev S.V., Konobeevskiy E.S., Mordovskoy M.V., Firsov V.I. // Nucl. Phys. and Eng. 2013. V.4. P. 879.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ ШТОЛЕН С ВОДПРОЯВЛЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ДЕГЕЛЕН» СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

*Кабдыракова А.М., Меньдубаев А.Т. и Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В работе представлены результаты исследования распределения радионуклидов  ${}^{137}\text{Cs}$ ,  ${}^{241}\text{Am}$ ,  ${}^{239+240}\text{Pu}$  и  ${}^{90}\text{Sr}$  по гранулометрическим фракциям почвы припортальных участков штолен, где проводились подземные ядерные испытания в горном массиве «Дегелен» на Семипалатинском испытательном полигоне.

Радиоактивное загрязнение исследуемых почв обусловлено выносом радиоактивных веществ из полостей штольни подземными водами, выходящими на дневную поверхность. Постоянные потоки воды из полости штолен привели к формированию ручьев небольшой протяженности и пространственно-ограниченных луговых экосистем.

Целью исследования являлась выявить особенности распределения техногенных радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы, обусловленное их водной миграцией.

Методология исследования включала отбор проб почвы, гранулометрическое фракционирование и радионуклидные анализы почвенных фракций.

Отбор проб поверхностного слоя почвы производился на глубину 5 см. Точки отбора располагались в затопляемых прибрежных зонах ручьев.

Гранулометрическое фракционирование проводилось «мокрым» ситовым и седиментационным методами. С помощью ситового отсева первоначально проба разделялась на 5 фракций с размером частиц от 1000 до 40 мкм. Пылевато-илистые фракции почвы с размером частиц от 40 до 1 мкм разделялись седиментационным методом.

Для количественной оценки распределения радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы был использован безразмерный параметр - коэффициент обогащения ( $K_0$ ), определяемый как отношение удельной активности радионуклида в гранулометрической фракции ( $A_{гд}^{фр}$ ) к удельной активности того же радионуклида в соответствующей исходной почве ( $A_{гд}^{п}$ ):  $K_0 = A_{гд}^{фр} / A_{гд}^{п}$ . Данный параметр является показателем степени обогащенности или обедненности гранулометрических фракций относительно среднего содержания радионуклидов в почве.

Результаты показали, при водной миграции радионуклидов характерно, что их концентрация в гранулометрических фракциях почв возрастает по мере уменьшения размера почвенных частиц. Данный факт свидетельствует о том, что распределение радионуклидов по гранулометрическим фракциям почвы обусловлено сорбционными процессами и накопление радионуклидов в почвенных частицах зависит от площади поверхности частиц, их вещественного состава и свойств. Кроме того, вероятно интенсивность сорбции зависит от природы и свойств самих радионуклидов. Например,  $K_0$   ${}^{239+240}\text{Pu}$  во фракции почвы с размером частиц <1 мкм в 2-3 раза меньше, чем  ${}^{137}\text{Cs}$ .

Однако из полученных результатов также следует, что распределение  ${}^{239+240}\text{Pu}$  помимо сорбционных обуславливается и иными процессами. Выявлено, что во фракциях почвы с размерами частиц от 250 до 63 мкм увеличивается значение коэффициента обогащения. Данный факт может быть связан с присутствием в них высокоактивных частиц, образованных во время ядерного испытания, вынесенные из полости штольни водными потоками. А также не исключается вероятность образования «вторичных» высокоактивных частиц в результате селективной сорбции  ${}^{239+240}\text{Pu}$  определенными частицами почвы.

РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СОСНОВОГО БОРА ПРИИРТЫШЬЯ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СИП

Каменова И.Н., Ларионова Н.В., Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н.

\*Affiliated State Enterprise "Institute of Radiation Safety and Ecology" of the Republican State Enterprise "National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan", Kurchatov, Kazakhstan

E-mail: [sobina@nnc.kz](mailto:sobina@nnc.kz)

Семипалатинский испытательный полигон (СИП) является одним из крупнейших полигонов мира. Испытания ядерного оружия, проводимые на территории СИП, обусловили загрязнения не только территории полигона, но и за его пределами. Так, после первого наземного ядерного испытания, осуществленного 29 августа 1949 года при неблагоприятных условиях, сильный ветер способствовал быстрому перемещению радиоактивного облака в восточном направлении. Данное обстоятельство привело к формированию радиоактивного следа на территории ленточного соснового бора расположенного в северо-восточном направлении от СИП.

В рамках исследования радиоактивного загрязнения соснового бора Прииртышья в отдаленный период после ядерных испытаний на СИП заложено 6 исследовательских площадок. Для оценки миграции радионуклидов по почвенному профилю на каждой площадке заложен почвенный разрез, глубиной до 50 см, с поинтервальным отбором проб почвы по 5 см. Также отобраны пробы лесной подстилки, которая в последующем делилась на органическую и минеральную составляющую. Сопряжено произведен отбор проб травянистой растительности (осока (*Carex pilosa*)). Для оценки распределения радионуклидов в основных компонентах ленточного соснового бора с 3 исследовательских площадок отбирались пробы сосны (*Pinus silvestris*) возрастом 50-60 лет и 15-20 лет, с разделением на отдельные органы (шишки, ветви, хвоя, кора). Концентрация  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в растениях определялась в обугленных, предварительно измельченных образцах,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  – в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  составил 0,5 Бк/кг (для растений) и 0,1 (для почвы),  $^{90}\text{Sr}$  – <1 Бк/кг и 0,1 Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  – 0,4 и 0,1 соответственно. Погрешность измерения для  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  не превышала 10-20%, для  $^{90}\text{Sr}$  – 15-25%,  $^{239+240}\text{Pu}$  – 30%. Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (Кн) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно.

В результате проведенных исследований установлено что, доля радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  в слое 0-5 см составляет 68 и 81 %, в слое от 10-20 см концентрации данных радионуклидов снижаются. Максимальное содержание радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$  (71%) также находится в верхнем слое почвы от 0-5 см, далее переходит на глубину до 10-15 см. Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в слое 0-5 см не превышает 36 %, далее по глубине до 20 см распределяется равномерно. Высокая подвижность  $^{90}\text{Sr}$ , в данном случае, может быть обусловлена его повышенными миграционными свойствами в почве из-за хорошей растворимости.

Определены параметры перераспределения радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в поверхностном слое почвы и лесной подстилке. Установлено, что основные концентрации всех исследуемых радионуклидов находятся в подстилке. Это может быть связано с тем, что в лесных почвах подстилка является биогеохимическим барьером на пути вертикальной миграции радионуклидов. Максимальное содержание радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  сосредоточено в минеральной составляющей подстилки, радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  – в органической. Зависимости в распределении  $^{239+240}\text{Pu}$  не установлено.

Для древесных и травянистых растений удельная активность радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{137}\text{Cs}$  находится ниже пределов обнаружения используемой аппаратуры, количественные значения  $^{137}\text{Cs}$  зафиксированы лишь в коре. Также в коре отмечаются максимальные значения радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$ . Содержание  $^{90}\text{Sr}$  в травянистых растениях значительно выше, чем в древесных.

В целом значения Кн  $^{239+240}\text{Pu}$  на территории ленточного соснового бора ниже чем, Кн на условно "фоновых" территориях СИП и в большинстве случаев сравнимы с Кн на "следах" радиоактивных выпадений. Все полученные Кн для радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  превышают Кн на территории СИП и лишь в отдельных случаях сравнимы с Кн в зоне радиоактивных водотоков и местах испытания БРВ.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНЫ И ТКАНИ ДОМАШНИХ СВИНЕЙ И ДИКИХ КАБАНОВ**

*Каратаев С.С., Байгазинов Ж.А., Паницкий А.В.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В данной работе изучены особенности перехода радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  в органы и ткани домашних свиней и диких кабанов в условиях различного радионуклидного загрязнения.

Объектами исследования являлись дикие кабаны и сельскохозяйственные животные (поросята).

Исследования проведены посредством натурального эксперимента. Животным ежедневно в течение 45 суток скармливали радиоактивно загрязненную почву в условиях стойлового содержания. В эксперименте использовалась почва с различным характером радионуклидного загрязнения, так как формы нахождения радионуклидов при поступлении в организм играет основную роль при исследовании параметров перехода. В связи с этим животные были разделены на 2 группы. 1-ой группе животных, в рацион добавляли почву с мест наземных ядерных испытаний. 2-ой группе животных в рацион добавляли почву с мест радиоактивных водотоков. Всего, на каждый тип почвы использовано по 3 головы домашних свиней и по 5 голов диких свиней. С каждого животного на радионуклидные анализы отбирались все органы. В ходе эксперимента проводился контроль поступления радионуклидов в организм каждого животного.

В результате исследований установлено, что при длительном поступлении  $^{137}\text{Cs}$  в организме распределяется достаточно равномерно. При этом максимальные концентрации радионуклида найдены в мышечной ткани, наименьшие в головном мозге и костной ткани.

Основными органами депонирования  $^{241}\text{Am}$  являются легкие, печень и костная ткань. В отличие от  $^{137}\text{Cs}$  распределение  $^{241}\text{Am}$  не равномерное. Максимальная концентрация  $^{241}\text{Am}$  для домашних свиней установлена в легких, для диких кабанов – в печени.

На основании полученных данных об удельной активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  были рассчитаны коэффициенты перехода в мышечную ткань и печень домашних и диких свиней. Расчеты показали, что коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в органы домашних свиней и диких кабанов практически идентичны. Тогда, как коэффициенты перехода  $^{241}\text{Am}$  в органы домашних свиней и диких кабанов отличаются в пять раз.

Также, различаются коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в органы животных при поступлении с почвой с различным характером загрязнения. При поступлении с почвой с мест радиоактивных водотоков коэффициенты перехода больше в 2-раза, чем при поступлении с почвой с мест наземных ядерных испытаний. Такая разница установлена как для домашних свиней, так и для диких кабанов.

В результате проведенных исследований доказана возможность применения параметров перехода  $^{137}\text{Cs}$  полученных для домашних свиней к диким кабанам. Использование параметров перехода  $^{241}\text{Am}$  может быть некорректным.

При оценке уровней загрязнения свиноводческой продукции на радиоактивно-загрязненных территориях необходимо учитывать формы нахождения радионуклидов в компонентах окружающей среды.

Установленные параметры перехода искусственных радионуклидов используются для оценки дозовых нагрузок на население, потребляющее полученную на загрязненных территориях продукцию и для научного обоснования возможности ведения животноводства в условиях радионуклидного загрязнения (СИП, Фукусима).

## ОЦЕНКА ВАРИАТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ ОВЦЕВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ШИРОКОГО СПЕКТРА РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИП

Кенесарин Б.А., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В результате проведения различных ядерных испытаний (подземные, наземные, воздушные) на территории СИП образованы неравномерные и локальные участки (Лукашенко, 2010), с различным характером радиоактивного загрязнения. Ранее проведенные исследования на СИП показали, что параметры перехода радионуклидов в организм сельскохозяйственных животных выше с почвой, чем с кормом (Байгазинов, 2016).

Экспериментальные исследования с животными проводились в летний период в условиях стойлового содержания на территории СИП. Объектом исследования был выбран наиболее распространенный вид сельскохозяйственных животных для данного региона – бараны казахской грубошерстной породы, в возрасте около 1 года, живым весом 27-30 кг. Длительность эксперимента составила 50 дней.

Животные были разделены на 4 группы, по 3 головы на группу. В ежедневный рацион животных включали заранее заготовленную (просушенную, просеянную d- 500 мкм) радиоактивно загрязненную почву 100 г/сут с различных испытательных площадок СИП. 1-й группе животных скармливали почву с мест проведения наземных ядерных испытаний (участок №1), 2-й группе – с мест опытно-промышленного подземного ядерного взрыва (участок №2), 3-й группе – почва с зон радиоактивных водотоков, 4-й группе – с участка испытания боевых радиоактивных веществ.

В результате проведенных исследований, определены коэффициенты перехода радионуклидов в органы и ткани овец. А также установлена зависимость параметра перехода от характера радиационного загрязнения, которые представлены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{241}\text{Am}$  в органы и ткани с почвой

№ участка	Коэффициент перехода (Кп) в различные ткани овец, кг/сут			
	$^{137}\text{Cs}$ , $n \times 10^{-2}$		$^{241}\text{Am}$ , $n \times 10^{-3}$	
	мышечная ткань	печень	мышечная ткань	печень
1	$\frac{1.1}{1.3-1.0}$	$\frac{0.65}{0.83-0.53}$	$\leq 0.02$	$\frac{0.11}{0.11 - 0.1}$
2	$\frac{1.6}{2.4-1.1}$	$\frac{1.1}{1.2-1.0}$	$\leq 0.4$	$\leq 1$
3	$\frac{1.3}{1.6-0.75}$	$\frac{0.75}{0.84-0.41}$	$\leq 1$	$\leq 2$
4	$\frac{42.2}{140.0-11.0}$	$\frac{16.1}{28.7-5.3}$	$\leq 0.7$	$\leq 2$

Примечание: в числителе – среднегеометрическое, в знаменателе: макс.-мин.

В большинстве случаев удельная активность  $^{241}\text{Am}$  в органах и тканях была ниже предела обнаружения при использованном аппаратурно-методическом обеспечении, в связи с чем, для большинства органов и тканей рассчитаны оценочные коэффициенты перехода.

Определено, что на участках 1, 2 и 3 коэффициенты перехода практически идентичны. Однако, для участка №4 были получены весьма неожиданные результаты. Уровень перехода  $^{137}\text{Cs}$  в баранину на участке №4 оказался в  $32 \pm 7$  раз больше, чем на других участках. При этом из ранее проведенной работы известно, что коэффициент перехода  $^{137}\text{Cs}$  в баранину в системе «корм-баранина» составляет  $(12,3 \pm 3,0) \times 10^{-2}$  (Байгазинов, 2016), что в 3,5 раз меньше чем коэффициент перехода в системе «почва (участок №4) - баранина».

Общепринятый принцип, утверждающий, что основной вклад формирования загрязнения в животноводческую продукцию вносит корм, в нашем случае опровергается. Считаем, что при проведении оценки загрязнения животноводческой продукции для территории СИП, с его различным характером радиоактивного загрязнения, необходимо учитывать поступление радионуклидов в организм животного, как с кормом, так и с почвой.

Данное обстоятельство показывает необходимость пересмотра подходов к оценке путей формирования загрязнения животноводческой продукции.



ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ГЛУБИННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ

Ким В.С., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

На сегодняшний день получено большое количество данных по накоплению радионуклидов растениями при поверхностном радиоактивном загрязнении как на территории СИП, так и в зоне радиационных аварий на Южном Урале, Чернобыльской АЭС. В рамках исследования проведена оценка накопления радионуклидов растениями в условиях глубинного загрязнения отвалов «Атомного озера» на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП).

Для заложения долгосрочного натурального эксперимента по оценке накопления радионуклидов растениями в условиях глубинного загрязнения корнеобитаемого слоя была заложена экспериментальная площадка общей площадью около 250 м<sup>2</sup>. Для изучения характера поверхностного радионуклидного загрязнения почвенного покрова выполнен отбор проб почвы по сети 2×2 м на глубину 5 см. Для изучения характера распределения техногенных радионуклидов по глубине выполнено бурение 3-х скважин на глубину 600 см с шагом отбора по 25 см.

В качестве исследуемых видов растений выбрано 5 видов древесных культур. В начале 1-го вегетационного периода высажено 57 тополей, 30 берез, 10 сосен. В конце 1-го вегетационного периода произведена посадка 10 яблонь и 7 вишен. Всего посажено 114 саженцев. Для оценки уровней радиоактивного загрязнения исследуемых растений в конце 1-го вегетационного периода отобраны 3 смешанные пробы листьев тополя, березы, сосны. Для изучения динамики содержания радионуклидов в течении 3-х летних месяцев 2-го вегетационного периода отобрано по 5 смешанных проб листьев тополя, березы, сосны, яблони, вишни (всего 15 проб). Для оценки параметров накопления радионуклидов из почвы в растениях в конце 2-го вегетационного периода отбор проб листьев выполнен с каждого саженца.

Анализы по измерению удельной активности радионуклидов в пробах почвы и растений проводились в соответствии с гостированными методическими указаниями на поверенной лабораторной аппаратуре. Определение удельной активности радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am проводилось на гамма-спектрометре Canberra GX-2020, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu определяли радиохимическим выделением с последующим измерением на бета-спектрометре TRI-CARB 2900 TR и альфа-спектрометре Canberra (мод. 7401) соответственно. Высокие концентрации <sup>90</sup>Sr в почве определялись на бета-спектрометре «Прогресс». Концентрации <sup>241</sup>Am и <sup>137</sup>Cs в растениях определялась в обугленных, предварительно измельченных образцах, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu – в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения по <sup>137</sup>Cs составил 1 Бк/кг (для проб растений) и 4 Бк/кг (для проб почвы), <sup>241</sup>Am – 0,3 Бк/кг и 1 Бк/кг, <sup>239+240</sup>Pu – 0,1 Бк/кг и 1 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – 1 Бк/кг и 5 Бк/кг соответственно (до 100 Бк/кг на «Прогрессе»). Погрешность измерений для <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am в основном не превышала 10-20 %, <sup>90</sup>Sr – 15-25 %, <sup>239+240</sup>Pu – 30 %.

В результате проведенных исследований установлено, что содержание радионуклида <sup>241</sup>Am в почве на исследуемой территории изменяется от 160 до 3600 Бк/кг, <sup>137</sup>Cs – от 3200 до 20000 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – <100 до 26000 Бк/кг. Максимальные концентрации радионуклидов сосредоточены в слое до 200 см, затем наблюдается снижение концентраций и далее равномерное распределение вплоть до 600 см. Таким образом, радиоактивное загрязнение на отвалах «Атомного озера» проникает на всю глубину корнеобитаемого слоя.

Наибольшие значения удельной активности в растениях отмечаются для радионуклида <sup>90</sup>Sr (4300 Бк/кг). Максимальная удельная активность <sup>137</sup>Cs (23 Бк/кг) и <sup>241</sup>Am (1,2 Бк/кг) отмечается для вишни, минимальная удельная активность <sup>137</sup>Cs (6,5 Бк/кг) – для сосны, <sup>241</sup>Am (1,2 Бк/кг) – для березы.

Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (Кн) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно. Так как основная масса корней исследуемых растений во 2-й вегетационный период достигала глубины 25 см, при расчете Кн использовался слой 25 см.

Полученные диапазоны Кн составляют для яблони – от 0,0002 до 0,0091 (по <sup>241</sup>Am) и от 0,0001 до 0,0007 (по <sup>137</sup>Cs), для вишни – от 0,0045 до 0,0254 (по <sup>241</sup>Am) и от 0,0003 до 0,0014 (по <sup>137</sup>Cs).

Дополнительно проведен сравнительный анализ Кн <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am для яблони и вишни с Кн, полученными ранее в условиях поверхностного загрязнения площадки «Опытное поле». В результате установлено, что на «Атомном озере» Кн <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am для яблони в целом оказались сравнительно ниже, чем Кн данных радионуклидов на «Опытном поле». В свою очередь Кн <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am для вишни на «Атомном озере» в большинстве случаев наоборот выше, чем на площадке «Опытное поле».

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ АЛЬФА И БЕТА-АКТИВНОСТЕЙ В ВОДНЫХ ПРОБАХ

<sup>1,2</sup> Ким В.И., <sup>2</sup> Матвеева И.В., <sup>1</sup> Мирхаджи Д.В., <sup>1</sup> Солодухин В.П.

<sup>1</sup>Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби

Для обеспечения радиационной безопасности предназначенной для питья воды необходима информация об активностях присутствующих в ней радионуклидов. В соответствии с рекомендациями СЭТОРБ в действующих нормативных документах установлены строгие требования к содержанию радионуклидов и к порядку проведения радиационного контроля питьевой воды. В связи с этим в экологических исследованиях природных вод большая роль уделяется контролю суммарной активности альфа- и бета-излучающих радионуклидов ториевого и уранового рядов распада.

Большинство известных радиохимических методик определения природных радионуклидов (сорбции на основе ионообменных смол, выпаривание до сухого остатка и соосаждение на носителях) предусматривает их анализ из одной пробы воды, из которой отбираются отдельные аликвотные части от 1,0 до 10,0 л для определения удельной активности групп изотопов одного или двух элементов, или суммарного определения альфа- и бета-излучающих радионуклидов.

Наиболее простым способом концентрирования радионуклидов из объемов водных проб считается метод выпаривания, ввиду его простоты и исключения загрязнения пробы реагентами. Однако, зачастую, этот метод не является эффективным при детектировании альфа-частиц, вследствие образования сульфатных и карбонатных осадков, осложняющих регистрацию излучения, за счет процессов самоабсорбции. Альтернативой данному методу является более селективный метод, которым является соосаждение.

Анализы проб воды на определение суммарной альфа- и бета-активности проводились в соответствии с методикой радиационного контроля «Суммарная альфа- бета-активность природных вод (пресных и минерализованных). Подготовка проб и выполнение измерений». Методика зарегистрирована в реестре ГСИ РК №КЗ.07.00.03104-2015. Принцип данного способа заключается в концентрировании всех радионуклидов из водной пробы путем осаждения на носитель кристаллического типа ( $Al(NO_3)_3$  и  $BaCl_2$ ) и дальнейшем измерении суммарной активности альфа и бета излучающих радионуклидов на УМФ-2000. Проведенные нами исследования показали, что носитель кристаллического типа не способен эффективно осаждать радионуклиды, присутствующие в воде, за счет чего снижается продуктивность метода. Исходя из этого, в данной работе была рассмотрена возможность замены одного из носителей хлоридом трехвалентного железа, который обеспечивает более полное осаждение радионуклидов за счет аморфной структуры. Полученные нами первые результаты свидетельствуют о повышении эффективности концентрирования радионуклидов и увеличении чувствительности метода в целом.

РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ

Кадырова Э.М., Рустамова У.Н., Гаджиева Х.Ф., Рафиева Х.Л.

Бакинский Государственный Университет, Азербайджан

Как уже знаем, в настоящее время захоронение радиоактивных веществ приносит удар на окружающую среду. Разные страны придумывают как избежать радиоактивного загрязнения регионального и глобального происхождения. Так как, долговременное хранение радиоактивных отходов (РАО) требует консервации отходов в форме, которая не будет вступать в реакции и разрушаться на протяжении долгого времени. Поиски подходящих мест для глубокого окончательного захоронения отходов в настоящее время ведутся в нескольких странах. Одним из способов достижения подобного состояния является витрификация.

В 1989 -1992 годах Франция ввела в строй коммерческие заводы по витрификации высокоактивных РАО, оставшихся от переработки оксидного топлива, несмотря на наличие аналогичных заводов во многих других странах, особенно в Великобритании и Бельгии. Пропускная способность западноевропейских заводов составляет порядка 1000 тонн в год, некоторые из них работают уже 18 лет. Как уже знаем, в настоящее время в Великобритании высокоактивные РАО смешивают с сахаром и затем кальцинируют. Сахар добавляется для предотвращения образования летучего вещества  $RuO_4$ , содержащего радиоактивный рутений. Кальцинирование подразумевает прохождение отходов через нагретую вращающуюся трубу и ставит целью испарение воды и деазотирование продуктов деления, чтобы повысить стабильность получаемой стекловидной массы. В полученное вещество, находящееся в индукционной печи, постоянно добавляют измельченное стекло. В результате получается новая субстанция, в которой при затвердении отходы связываются со стеклянной

матрицей. Это вещество в расплавленном состоянии вливается в цилиндры из легированной стали. Охлаждаясь, жидкость затвердевает, превращаясь в стекло, которое является крайне устойчивым к воздействию воды. После заполнения цилиндр заваривают, затем моют. После обследования на предмет внешнего загрязнения стальные цилиндры отправляют в подземные хранилища. Такое состояние отходов остаётся неизменным в течение многих тысяч лет. Один из заводов по витрификации находится в Германии, там перерабатываются отходы деятельности небольшой демонстрационной перерабатывающей фабрики, прекратившей своё существование.

В странах бывшего СССР обычно применяют фосфатное стекло. Количество продуктов деления в стекле должно быть ограничено, так как некоторые элементы (палладий, металлы платиновой группы и теллур и т.д.) стремятся образовать металлические фазы отдельно от стекла. Данные проекты имеют очевидные достоинства и позволяют решить на международном уровне экологическую проблему захоронения РАО.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛОДОВЫМИ И ЯГОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

*Кожуханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Все значимые результаты отдельных мировых исследований по переходу радионуклидов из почвы в растения были обобщены МАГАТЭ и представлены в специальном справочнике. Важным моментом является то, что большая часть мировых данных по параметрам перехода представлена по искусственным радионуклидам Cs и Sr. На сегодняшний день по вопросу о переходе радионуклидов из почвы в многолетние плодово-ягодные растения (деревья и кустарники) информация остается все еще скудной по отдельным радионуклидам, а для трансурановых радионуклидов  $^{239+240}\text{Pu}$  и  $^{241}\text{Am}$  вообще фрагментарной.

В данной работе представлены результаты многолетнего натурального эксперимента с плодово-ягодными культурами, выращенными в условиях радиоактивного загрязнения на территории Семипалатинского испытательного полигона. Целью исследования было изучение особенностей накопления искусственных радионуклидов разными видами деревьев и кустарников. Объектами исследования были 5 видов плодово-ягодных культур: дикая яблоня, вишня, слива, малина и черная смородина. В работе рассматривался только один путь поступления радионуклидов в растения – это корневое поглощение элементов из почвы.

В результате работы были найдены количественные параметры перехода  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ , а также их распределение в различных частях плодово-ягодных культур. Получены первые базовые величины коэффициентов накопления исследуемых радионуклидов для степной зоны. Установлено, что распределение радионуклидов по органам исследованных видов носит неравномерный характер, при этом для большинства исследованных видов составлен следующий убывающий ряд: листья > ветви > плоды. Разница в накоплении радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  между различными органами составляет от 1,8 до 77 раз, 1,6 – 750 раз, 1,9 – 76 раз и 3 – 182 раз соответственно.

Установлено, что накопление радионуклидов на протяжении одного вегетационного периода у исследуемых культур происходит по-разному. Максимальные концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в листьях исследуемых растений приходятся на начальные фазы вегетационного периода. Определенная тенденция снижения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в листьях, в течение одного вегетационного периода, наблюдается у вишни. Динамика содержания  $^{241}\text{Am}$  в листьях исследуемых растений, в отличие от  $^{137}\text{Cs}$ , в течение всего вегетационного периода, имеет довольно сложный характер. Так, для малины и вишни значения удельной активности  $^{241}\text{Am}$  в листьях в фазы цветения и плодоношения в среднем варьируют в пределах погрешности, а вот к концу вегетационного периода в фазу остановки роста побегов самые высокие. Установлено стабильное накопление радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  на протяжении всего вегетационного периода для листьев яблони и малины, а для вишни четкая тенденция роста концентрации  $^{90}\text{Sr}$  отсутствует.

Определен характер накопления трансурановых радионуклидов исследуемыми растениями в течение нескольких лет. Так, установлена тенденция роста накопления  $^{241}\text{Am}$  для смородины, малины и яблони, а  $^{239+240}\text{Pu}$  – для смородины и вишни. Следует отметить то, что для ягодных культур (смородина и малина) в сравнении с семечковыми (яблоня) и косточковыми (вишня) культурами Кн  $^{241}\text{Am}$  в среднем выше в 5 раз за весь 4-х летний период исследования. Установлено, что для черной смородины, в отличие от других исследованных растений, динамика накопления радионуклидов  $^{241}\text{Am}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$  в листьях возрастает с каждым последующим годом, в среднем в 2 раза.

### ХАРАКТЕР РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ»

*Кривицкий П.Е., Лукашенко С.Н., Умаров М.А.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан  
[Krivitskiy@nnc.kz](mailto:Krivitskiy@nnc.kz)

На Семипалатинском испытательном полигоне (СИП), имеется 4 наиболее крупные испытательные площадки, одной из них является «Сары-Узень». На территории площадки в основном проводились подземные ядерные испытания в период с 1965 по 1980 гг. Всего на территории имеется 28 скважин.

Оценка особенностей пространственного распределения радионуклидов на территории приустьевых площадок испытательных скважин и нетипичных объектах было проведено в три этапа. На первом этапе проведена общая оценка площадного распределения радиоактивного загрязнения. Для этого был применен метод пешеходной гамма- спектрометрической съемки. Для измерений использовался гамма спектрометр со сцинтилляционным детектором на основе кристалла бромида лантана ( $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ ). Детектор располагался на высоте 50 см от поверхности почвы, время экспозиции составляло 10 с. Второй этап заключался в определении количественных характеристик радиоактивного загрязнения. По результатам первого этапа, в точках с повышенными значениями был произведен отбор проб почвы на глубину до 100 см. Все слои отбирались с шагом 5 см, площадь отбора - 100 см<sup>2</sup>. На нетипичных объектах помимо отбора проб почвы произведен отбор проб бетона. Для отбора проб бетона проведено бурение бетонной конструкции, находящейся в эпицентральной зоне, до глубины 20 см. Бурение бетона проводилось при помощи перфоратора с коронкой по бетону. Отбор проб проводился с интервалом 2 см до глубины 10 см, затем с интервалом 5 см до глубины 20 см. На третьем этапе отобранные пробы анализировались гамма- и бета- спектрометрическими методами в лабораторных условиях. Определение  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  производилось с использованием гамма-спектрометров производства фирмы «ORTEC», а определение  $^{90}\text{Sr}$  происходило на бета-спектрометре «Прогресс - Б».

По полученным данным лабораторных исследований, можно отметить диапазон значений удельной активности: для  $^{241}\text{Am}$  - от <1,5 до 4 400 000, для  $^{137}\text{Cs}$  – от <0,8 до 49 000, для  $^{90}\text{Sr}$  - <100 до 12 000,  $^{152}\text{Eu}$  - <0,8 до 1600. При обследовании приустьевых площадок скважин было выделено 3 типа скважин: скважины на которых имеется радиоактивное загрязнение и деформированная поверхность «воронка» (№№1003, 125, 101, 104); скважины на которых имеется радиоактивное загрязнение и отсутствует деформация (13 скважин); скважины на которых радиоактивного загрязнения, превышающего фоновые значения, на дневной поверхности нет (11 скважин).

### ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ

*Круглыхин А.А., Турченко Д.В., Ляхова О.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Испытания ядерного оружия на Семипалатинском испытательном полигоне (далее СИП) привели к обширным загрязнениям окружающей среды долгоживущими радионуклидами  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ .

В настоящий момент основную опасность представляет распространение долгоживущих радионуклидов воздушным путем с испытательных площадок СИП. Это обусловлено, так называемым, вторичным переносом радионуклидов. Распространение долгоживущих радионуклидов с воздушными потоками может возникать естественным путем (пыльные бури, степные пожары), а также в результате ведения производственной и сельскохозяйственной деятельности на территориях, расположенных вблизи участков, подверженных радиоактивному загрязнению.

Ранее проведенными комплексными радиоэкологическими исследованиями были выявлены участки с локальным радиоактивным загрязнением почвенного покрова. Основными возможными источниками поступления радионуклидов в воздушную среду являются испытательные площадки СИП: «Опытное поле», «Балапан».

Целью работы являлось определение уровней радиоактивного загрязнения воздушного бассейна СИП и прилегающей территории.

В местах проведения ядерных испытаний проведены исследовательские работы по определению характера и уровня радионуклидного загрязнения воздушной среды искусственными радионуклидами на различном удалении от эпицентров ядерных взрывов. Установлено, что распространение искусственных радионуклидов с испытательных площадок СИП незначительное. Как правило, наиболее значимые концентрации техногенных радионуклидов в воздушной среде наблюдаются на расстоянии порядка 3-5 км от эпицентров ядерных

испытаний. Так вблизи РОО концентрация радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$  может составлять 20-50 мкБк/м<sup>3</sup>, на расстоянии 5 км – 1 мкБк/м<sup>3</sup>, что на 3-4 порядка ниже уровня ДОА<sub>НАС</sub>.

Исследования воздушной среды на СИП и прилегающих территориях осуществлялись путем создания постов мониторинга воздуха. В населенных пунктах посты мониторинга расположены в г. Курчатов, п. Долонь, п. Саржал. На производственных объектах, расположенных непосредственно на территории СИП посты расположены на «ТОО КазЦинк», угольном месторождении «Каражыра» и месторождении флюорита «Каражал».

Наличие искусственных радионуклидов  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  в воздушной среде населенных пунктов не обнаружено, численные значения концентрации радионуклидов в воздушной среде получены только для радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$ .

В населенных пунктах диапазон концентрации плутония в воздухе составляет от 0,04 до 1 мкБк/м<sup>3</sup>. На объектах производственной деятельности концентрация  $^{239+240}\text{Pu}$  составляет от 0,4 до 2 мкБк/м<sup>3</sup>, что на 3-4 порядка ниже уровня ДОА<sub>НАС</sub> и не представляет опасности для населения и персонала, проводящего сельскохозяйственные и производственные работы.

#### **ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ МЕСТА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКАВАЦИОННОГО ВЗРЫВА НА СИП ("АТОМНОЕ" ОЗЕРО)**

*Кундузбаева А.Е., Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Объект "Атомное" озеро, расположенный в северо-западной части территории Семипалатинского испытательного полигона (площадка "Балапан"), является результатом экскавационного взрыва (15.01.1965г, мощность 140 кт, глубина 178м), выполненного по программе промышленного использования подземных ядерных взрывов с выбросом грунта с целью создания искусственных водоемов. В настоящее время объект представляет собой озеро, окаймленное отвалами разной высоты и ширины. Высота отвалов достигает превышения над равниной в 30-50 м. Форма современного озера овальная, незначительно вытянута к северу, северо-западу, диаметр озера составляет 520 м.

Целью настоящего исследования явилось изучение форм нахождения искусственных радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  в почвах территории, примыкающей к "Атомному" озеру, характеризующейся уникальностью радионуклидного загрязнения почвенного покрова.

Для исследования был выбран участок, простирающийся от навала грунта в "северо-западном" направлении следа, соответствующий следу выпадений от базисной волны. Отбор проб почвы проводили под растительностью, на участке максимального радионуклидного загрязнения - вдоль направления оси "следа" выпадений от базисной волны по убыванию от условного эпицентра взрыва. Дополнительно были изучены образцы почвы, отобранные на берегу "Атомного" озера, и донные отложения. Изучение форм нахождения радионуклидов в почвах проводили методом последовательной экстракции в модификации, предложенной Павлоцкой Ф.И.

В почве следа выпадений максимальное содержание радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$  определено в прочносвязанной форме (95,3%-97,4%), в незначительных количествах – в органической (1,6%) и подвижной (1,1%) формах. Выявленное повышенное значение подвижной формы  $^{239+240}\text{Pu}$  в донных отложениях (5,8%) относительно почв следа выпадений может быть обусловлено поведением радионуклида  $^{239+240}\text{Pu}$  в системе грунт-вода при длительных взаимодействиях. Вероятно, протекание конкурирующих процессов выщелачивания и осаждения  $^{239+240}\text{Pu}$  в системе грунт-вода со временем приводит к увеличению подвижности радионуклида в донных отложениях.

Максимальное содержание радионуклида  $^{241}\text{Am}$  определено в прочносвязанной форме (98,1). В почвах следа выпадений содержание подвижной формы радионуклида определено лишь в одном образце (11,4%). В почвах берега объекта «Атомного озера» и донных отложениях водоема содержание подвижной формы обнаружено практически во всех образцах и в среднем в одинаковых количествах (7,8% и 8,0%, соответственно).

Радионуклид  $^{137}\text{Cs}$  характеризуется низкой подвижностью и преимущественным содержанием радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  в прочносвязанной форме (более 98,2%). Второй по содержанию определена подвижная форма (1,2%-1,6%), которая по значению почти на два порядка меньше прочносвязанной формы. Содержание подвижной формы практически одинаково и в донных отложениях и в почвах, независимо от места отбора.

Наименьшая подвижность радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  отмечается в донных отложениях и в почвах, отобранных на берегу водоема объекта "Атомное" озеро и в пределах навала грунта. Выявлена тенденция увеличения относительного содержания обменной формы и подвижной формы радионуклида вдоль оси следа выпадений с увеличением расстояния от эпицентра испытания. Увеличение биодоступности  $^{90}\text{Sr}$  на следе выпадений было также выявлено по данным изучения перехода радионуклидов из почвы в основные виды зональных растений,

произрастающих на данном участке. Корреляционный анализ выявил положительную взаимосвязь между накоплением зональным растением полынью (*Artemisia gracileccens*) радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  и содержанием его обменной и подвижной форм в почве ( $K_{\text{корр}}$  равны 0,77 и 0,58, соответственно ( $p=0,05$ )).

Установлено, что все изученные радионуклиды характеризуются относительно низкой подвижностью в почвах, что обусловлено, в первую очередь, исходным физико-химическим состоянием радионуклидов в выпадениях. Основное содержание радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{241}\text{Am}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$  определено в составе прочносвязанной формы. Для радионуклида  $^{90}\text{Sr}$  установлено увеличение доли обменной и подвижной форм вдоль следа выпадений от базисной волны по удалению от эпицентра взрыва. Подобное поведение  $^{90}\text{Sr}$ , обнаруженное в первые моменты после взрыва на аналогичном объекте (скважина 1003, площадка "Сары-Узень") сохраняется и по настоящее время.

По характеру распределения форм нахождения радионуклидов в почвах объект "Атомное" озеро имеет наибольшее сходство с площадкой "Опытное поле" СИП (место проведения наземных ядерных испытаний).

## RADIOECOLOGICAL LIMITS OF CHRONIC EXPOSURE

*Kudryashev V.A., Sokolenko E.K., Kosmyrina A.M.*

Institute of Nuclear Physics, Almaty, Kazakhstan

Radiation hazard of radionuclides in the environment is regulated in the values of effective dose, not available for the instrumentation measurement. Therefore, the Sanitary Rules SR SERRS-2015 provide the derived limits of measurable radiation parameters of radiation exposure factors (external exposure, inhalation intake and nutrition) along with the basic limit. Each derived limit corresponds to the effective dose from one factor, which equals to the basic dose limit of 1 mSv per year (monofactorial permissible radiation parameter - PRP).

Radionuclides simultaneously effect on the body by several factors of influence. In accordance with clause 28 of SR SERRS-2015, the permissible content of radionuclide in the environmental objects, corresponding to the effective dose of 1 mSv/year or the other value, established as a limit, should be determined taking into account all the factors of radionuclide exposure together (multifactorial radionuclide PRP).

Several radionuclides are available at the same time in the environment, and accordingly there is a need to determine the radionuclide PRP taking into account the presence of other radionuclides in the known ratio (combined PRP in aggregate of radionuclides).

The monofactorial and multifactorial DRPs were calculated for  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{90}\text{Y}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{154}\text{Eu}$ ,  $^{239,240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  radionuclides for 9 parameters:

- specific activity of soil, water,
- density of contamination, MED,
- density of particle flow from the soil,
- specific activity of hay, milk, beef, lamb.

The calculations were made in accordance with the methodical instruction "Determination of permissible radiation parameters of the territories" developed by INP and approved by the Committee of State Sanitary and Epidemiological Supervision of RK.

The methodology enabled to IMPLEMENT the provisions of point 28 of SR SERRS-2015 on calculation of the permissible levels of radionuclide content in food products, taking into account the influence of all factors of radiation exposure.

The developed PRPs make it possible to estimate the potential anthropogenic radiation hazard for the cases of various applications of the territories directly according to the results of field measurements of one parameter.

Combined PRPs have been also calculated in the case of natural grassland cattle-breeding, which is relevant for Kazakhstan.

The results of PRPs calculation enable us to make the following conclusions:

- we can select the most critical or economical PRP for each radionuclide.
- there is main radiation exposure factor and PRP corresponding to this factor available for each radionuclide.
- the permissible content of calculated radionuclides, in addition to tritium, in the soil at 1 mSv per year level is ranges from 0.85 to 2.3 kBq/kg.
- the regulatory documents of the Republic of Kazakhstan specify the permissible contamination of the territory by plutonium with the safety factor of more than 100.
- the territories with the fallouts of uranium fission products, with no significant tritium activity in the water and MED over the natural background less than 0.11  $\mu\text{Sv/h}$  are harmless from the point of anthropogenic irradiation.
- standards applied in RK for strontium-90 and cesium-137 content in milk and meat for natural cattle breeding can stipulate the effective annual doses of more than 5 mSv from anthropogenic radionuclides.

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Ларионова Н.В., Ляхова О.Н., Сержанова З.Б., Тимонова Л.В., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Исследования, проводимые на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в последние годы, выявили на отдельных его участках (в районе площадки «Дегелен» и р. Чаган) наличие высоких концентраций радионуклида  $^3\text{H}$  в объектах окружающей среды (почва, вода, воздух, растения). Причем  $^3\text{H}$  зафиксирован не только в местах проведения подземных ядерных испытаний, но и на условно «фоновых» территориях.

Одной же из основных проблем СИП является миграция  $^3\text{H}$  с грунтовыми водами. В 2008 году впервые для различных экосистем СИП была выявлена определенная взаимосвязь между изменением концентрации  $^3\text{H}$  в растениях и его содержанием в грунтовых водах. Также, было установлено, что в качестве показателей содержания  $^3\text{H}$  в грунтовых водах могут быть использованы представители различных экологических групп растений по отношению к воде. В условиях сухой степи в отсутствие поверхностного водотока с этой точки зрения наиболее перспективными являются фреатофиты (чий (*Achnatherum splendens*) и чингил (*Halimodendron halodendron*)). В 2013-2014 гг. получены первые весьма противоречивые данные о содержании  $^3\text{H}$  в органической составляющей растений.

На сегодняшний день в мире существует большое количество работ посвященных исследованию  $^3\text{H}$ , которые говорят о принципиальной возможности его «сорбции», например, рядом глинистых минералов [А.В. Пушкарев, 2000]. Также существуют сведения о неоднородном распределении  $^3\text{H}$  в свободной воде и органической составляющей растений [S. Mihok, 2014], что в свою очередь, часто объясняется непостоянством выпадений  $^3\text{H}$  в окружающую среду. Однако есть определенные основания, указывающие на то, что в одном и в другом случае, речь может идти о существовании других механизмов, которые могут привести к перераспределению  $^3\text{H}$  в естественных системах.

С целью изучения перераспределения радионуклида  $^3\text{H}$  по отдельным компонентам окружающей среды проведены натурные эксперименты в районе р. Чаган, площадки «Дегелен», а также на отдельных условно «фоновых» участках сухой степи в юго-восточной части СИП, которые характеризуются различными сочетаниями путей поступления и предполагаемых форм нахождения  $^3\text{H}$ . Измерение удельной активности  $^3\text{H}$  в воде, растениях, атмосферном воздухе и почвах проводилось методом жидкосцинтилляционной спектрометрии. Содержание  $^3\text{H}$  в растениях определялось в их органической составляющей и свободной воде, испаряемой растениями.

По результатам проведенных анализов, установлено, что удельная активность  $^3\text{H}$  в воде р. Чаган достигает 100-200 кБк/кг, в свободной воде растений –  $40 \pm 5$  кБк/кг, в органической составляющей –  $13 \pm 1$  кБк/кг. Содержание  $^3\text{H}$  в атмосферном воздухе изменяется в широком диапазоне от  $<0,05$  Бк/м<sup>3</sup> до 50 Бк/м<sup>3</sup>. Результаты определения форм нахождения  $^3\text{H}$  в почвах показали, что по процентному содержанию преобладают связанные формы  $^3\text{H}$ , при этом значимые концентрации зафиксированы в поверхностно-адсорбированной воде, наличие  $^3\text{H}$  в межслоевой воде не отмечается.

Максимальные значения удельной активности  $^3\text{H}$  в районе площадки «Дегелен» также отмечаются в воде (35-75 кБк/кг). В свободной воде растений содержание  $^3\text{H}$  составляет 10-50 кБк/кг, в органической составляющей – 2,5-15 кБк/кг. Объемная активность  $^3\text{H}$  в атмосферном воздухе изменяется от  $1,6 \pm 0,3$  Бк/м<sup>3</sup> до  $140 \pm 30$  Бк/м<sup>3</sup>. В исследуемых почвах  $^3\text{H}$  преобладает в поверхностно-адсорбированной воде, присутствие  $^3\text{H}$  в межслоевой воде не наблюдается, суммарное содержание связанных форм не значительно (не превышает 25%).

На условно «фоновых» участках сухой степи СИП удельная активность  $^3\text{H}$  в свободной воде растений варьируют от  $12 \pm 3$  до  $65 \pm 10$  Бк/кг, в органической составляющей – от  $<12$  до  $50 \pm 10$  Бк/кг. При этом объемная активность  $^3\text{H}$  в водяных парах атмосферного воздуха и удельная активность  $^3\text{H}$  в грунтовых водах находится ниже предела обнаружения ( $<1$  Бк/м<sup>3</sup> и  $<12$  Бк/кг соответственно). Содержание радионуклида  $^3\text{H}$  в поверхностно-адсорбированной воде незначительно (до 30 Бк/кг), содержание связанных форм  $^3\text{H}$  в большинстве случаев не зафиксировано, однако установлено наличие органически связанного  $^3\text{H}$  (до 1580 Бк/кг), может говорить об источнике его поступления в растения.

## ТРИТИЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ СИП: УРОВНИ, ИСТОЧНИКИ И МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ

Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Тимонова Л.В., Сержанова З.Б., Турченко Д.В., Ларионова Н.В.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан  
[lyahova@nnc.kz](mailto:lyahova@nnc.kz)

На территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП), вследствие проведения ядерных испытаний (ЯИ), образовалось большое количество трития.

Тритий (Т), как изотоп водорода, может замещать его во всех соединениях с кислородом, серой, азотом, легко поступая в атмосферный воздух. Основными формами Т, присутствующими в воздухе, являются тритированные водяные пары (НТО), тритированный водород (НТ) и тритированный метан (СН<sub>3</sub>Т).

Тритированные водяные пары являются наиболее изученной формой для территории СИП. Определены уровни концентрации НТО на основных испытательных площадках полигона, изучены источники поступления и проведена оценка характера распределения НТО в воздушной среде [1]. В результате проведенных исследований было установлено, что на ряде радиационно-опасных объектов СИП Т может присутствовать в воздухе в виде газообразных соединений (Т<sub>газ.</sub>), которые ранее детально не изучались.

В работе рассмотрены вопросы, связанные с особенностями поступления Т в приземный слой атмосферы на территории СИП. Исследования выполнены в местах проведения ядерных испытаний различного характера. Установлено, что Т в воздушной среде СИП присутствует в 2-х формах – в окисленной, в виде тритиевой воды НТО и в газообразной, в виде органических летучих соединений Тгаз, таких как Т<sub>2</sub>, НТ, СН<sub>3</sub>Т и др.

Наименьшая концентрация Т в воздушной среде отмечена в местах проведения наземных и воздушных взрывов, на площадке «Опытное» поле, где объемная активность НТО составила не более 0,8 Бк/м<sup>3</sup>, Т<sub>газ.</sub> - менее предела обнаружения. Участки с максимальной концентрацией Т в воздухе расположены в местах проведения подземных ядерных испытаний на площадках «Балапан» и «Дегелен». Объемная активность НТО изменялась от 0,05 до 30 Бк/м<sup>3</sup>, Т<sub>газ.</sub> – от 0,5 до 150 Бк/м<sup>3</sup>.

Для лучшего понимания механизмов поступления Т в воздух в работе представлены данные о его содержании в почве и растениях. Показано, что удельная активность Т в поверхностном слое почвы некоторых участков исследования составляла от сотен до десятков тысяч Бк/кг. Сделано предположение, что почва, наряду с водой и растительностью, выступает в роли важного источника поступления Т<sub>газ.</sub> в атмосферу в местах проведения ядерных испытаний.

Важно понимать, что процессы эманации Т<sub>газ.</sub> в местах проведения ядерных испытаний существуют, не смотря на время, прошедшее с момента проведения последнего ядерного взрыва. На сегодняшний день, максимальные значения Т<sub>газ.</sub> в воздушной среде, зафиксированные на территории полигона, составляют порядка 10% от значения ДОО<sub>нас.</sub>, равное 1900 Бк/м<sup>3</sup>. Данный вклад нельзя недооценивать. При проведении оценки тритиевого загрязнения воздушной среды на СИП необходимо учитывать не только содержание НТО в воздухе, но и содержание Т<sub>газ.</sub>. Это позволит провести более корректную оценку территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению.

## ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ <sup>137</sup>Cs И <sup>241</sup>Am В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ

Мамырбаева А.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Каратаев С.С., Байгазы С.А.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований особенности накопления искусственных радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am в организме сельскохозяйственной птицы.

В качестве исследуемых птиц использовались типичные для данного региона куры – несушки, в возрасте 50 суток. Исследования проводились в условиях клеточного содержания.

Были сформированы три группы с разными дополнительными источниками поступления радионуклидов. Источниками поступления радионуклидов были выбраны компоненты окружающей среды (почва, вода, корм). Срок содержания птиц варьировал от 0 до 70 суток. В каждый срок проводился убой по 3 головы. Скармливание источников загрязнения проводилось с добавлением их в ежедневный рацион питания кур.

Курам первой группы спаивали воду, с водотоков штолен, вытекающих из мест проведения подземных ядерных испытаний, с добавлением радиоактивного раствора; курам второй группы скармливали загрязненную почву, которую заготавливали на участках полигона с наиболее высокими уровнями радиоактивного загрязнения <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am; курам третьей группы скармливали загрязненный корм, который также заготавливали на участках полигона с наиболее высокими уровнями радиоактивного загрязнения растительности <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am.



Учет съеденной затравки контролировался визуально и составлял сто процентов.

Для равномерного поступления радионуклидов в организм кур проводилась подготовка источников загрязнения на весь период проведения исследований. Для расчета суточного поступления радионуклида проводились  $\gamma$ -спектрометрические измерения образцов отобранных со всего объема загрязняющих источников в нескольких повторностях.

Анализируются отобранные и подготовленные образцы мышечной, костной тканей, печени и яиц.

В результате работ установлено, что интенсивный переход  $^{137}\text{Cs}$  в органы и ткани кур трех групп наблюдается в первые 2 недели, после чего накопление радионуклида достигает равновесного состояния. Равновесное состояние  $^{137}\text{Cs}$  в органах и тканях наступает на 28 сутки, в яйце-21 сутки.

По полученным первичным данным по динамике перехода  $^{241}\text{Am}$  в мышечную, костную ткани и печень кур сделать однозначные выводы пока невозможно, тем более что полученные значения близки к нижним пределам обнаружения при использованных методиках и аппаратурно-методическом обеспечении. Можно только предположить, что возможно на 38 сутки эксперимента кривая выйдет в плато. Накопление  $^{241}\text{Am}$  в яйца кур отличается от накопления  $^{137}\text{Cs}$  другое. Состояние равновесия наступает на 8 сутки.

Из полученных коэффициентов перехода следует, что биологическая доступность  $^{137}\text{Cs}$ , поступившего с водой, значительно выше. При этом меньше всего он переходит с почвой. Лучше всего радионуклид переходит в мышечную ткань, коэффициенты перехода для почвы корма и воды составили 0,18, 2,0 и 4,2 соответственно. Полученные коэффициенты перехода  $^{137}\text{Cs}$  в мышечную ткань оказались на один порядок меньше, чем данные, представленные в справочнике МАГАТЭ.

Коэффициенты перехода  $^{241}\text{Am}$  были полученных только для органов и тканей кур, для которых источником загрязнения использовали почву. Коэффициенты перехода составили: в мышечную ткань –  $1,8 \times 10^{-4}$ ; в печень -  $(9 \pm 3) \times 10^{-4}$ ; в яйцо -  $(4,2 \pm 2) \times 10^{-5}$ . Из документа МАГАТЭ (TRS #472, 2010 г) известно, что ранее параметры перехода  $^{241}\text{Am}$  в продукцию птицеводства не изучались.

Полученные данные о накоплении и концентрации радионуклидов в органах и тканях кур могут быть использованы: для: разработки практических рекомендаций; при принятии решений о передачи территорий СИП в хозяйственное пользование; разработки методов по снижению содержания радионуклидов в продукции, получаемой в условиях радиоактивного загрязнения.

## RADIECOLOGICAL INVESTIGATION OF THERMAL WATER IN KUR-ARAZ LOWLAND

*Mikayilova A.C.*

Institute of Radiation Problems of ANAS, Baku, Azerbaijan

*E-mail:* [mikayilova.a.c@gmail.com](mailto:mikayilova.a.c@gmail.com)

Thermal water sources in the territory of Azerbaijan Republic are of special importance due to their high (94°C) temperature and rich mineral content. Thermal waters are wide spread in the territory of Azerbaijan (Southern slope of the Greater Caucasus, Guba-Khachmaz zone, Apsheron peninsula, Mountainous part of the Lesser Caucasus, Nakhchivan AR, Talysh mountain, Lenkoran plain, Kur-Araz lowland).

It is known that, thermal waters have a wide application field. Data obtained from the studies will provide to make correct decision in the determination of the possibility of choosing appropriate technology and using these sources effectively. The factors that constrain the use of thermal waters are their composition, especially having radioactive isotopes, salt precipitation after heating (scale formation), and the high corrosion aggressiveness of water. In the suggested work were study the chemical and radioactive isotope composition of water with high temperature and planned to develop effective technologies to inhibit corrosion and salt precipitation.

At the present work were investigated the definition of natural radionuclides naturally – occurring uranium – series isotopic ratios ( $^{226}\text{R}$ ,  $^{228}\text{Ra}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{60}\text{Co}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ) which taken thermal water sample from Kur-Araz lowland in Azerbaijan area.

Sample preparation of water samples were spent on standard methods. For created radioactive equilibrium, samples kept in closed marinely beaker about one month, and then the gamma-spectrum of each sample was accumulated. For measurement radioactivity was used gamma spectrometer with high-sensitivity Ge - detector, controlled software Genie 2000 (manufacture of firm CANBERRA). The date and name of those places are noted after taking samples, and also exposure dose power was determined in the place where the samples were taken. Water sample is taken in a sufficient quantity to fill a 1 liter container. Sample is analyzed in germanium detector HP Ge gamma – spectrometer after completion of storage period (1 month). For all samples the identical mode of measurement was chosen, the duration of accumulation of a spectrum was samples 3 days.

The study of the chemical and radioactive content of thermal mineral waters in Azerbaijan has important scientific-theoretical and great practical importance, as they can be widely used in sanatorium construction, industrial bottling, in chemical industry and as a source of thermal energy.

**RADIOLOGICAL PROBLEMS OF TRITIUM: REASONS, NEEDS AND APPROACHES TO HARMONIZATION OF TRITIUM STANDARDS BETWEEN THE CIS COUNTRIES AND LEADING NUCLEAR STATES**

*Synzynys B.I.<sup>1</sup>, Momot O.A.<sup>1</sup>, Katkova M.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Obninsk Institute for Nuclear Power Engineering of National Research Nuclear University «MEPhI», Obninsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Scientific and Production Association "Typhoon", Obninsk, Russian Federation

This paper seeks to analyze the reasons and substantiation of the approach to harmonization of the CIS standards on radiological hazards of tritium radiation.

UNSCEAR documents (UNSCEAR, 2016) specially underline that “for some reasons the problems coming from tritium contamination of water objects are of special interest for radiobiologists, radioecologists and radiologists”. It is due to essentially different radiation-hygienic standards of tritium in various countries. The intervention level of tritium content in portable water in Bq/l is different: Ukraine – 30000, Russian Federation – 7600, Kazakhstan – 7700, Canada – 7000, Belarus – 7700, USA – 740, EU countries – 100. This discrepancy is associated with imperfect hygienic legislation, and besides, radiological problems of tritium and primarily organically combined tritium (OCT) in human and animal organisms and plants are poorly studied. The models for assessing the internal tritium oxide (HTO) and OCT irradiation are still incomplete (Momot et al., 2017). HTO and OCT radiation risk assessment in potable water is suggested as the basis for harmonization of radiological standards (Momot et al., 2017).

Health risk assessment of potable water containing small amounts of tritium oxide (10 Bq/l; background value – 4 Bq/l) is performed. Tritium is the only technogenic radionuclide found in Obninsk ground water used for public supply. The effective personal whole body dose  $E = 3 \cdot 10^{-7}$  Sv is calculated from the suggested model for assessing the internal tritium irradiation and  $RBE = 2.5$ . At this dose the risk of malignant tumor formations in long-continued drinking of potable water containing small amounts of HTO is  $10^{-8}$  a year. This risk is negligible for Obninsk citizens. The issue remains open on the contribution of OCT radiation to the internal irradiation dose and the total radiation risk of tritium entered the human organism with water or plant products.

It is suggested to harmonize radiological tritium standards in different countries based on the methodology of radiation risk assessment.

References

1. UNSCEAR 2016. Report to the General Assembly with Scientific Annexes. Biological effects of selected internal emitters. – United Nations. New York. 2016.
2. Momot O.A., Synzynys B.I., Oudalova A.A. 2017. Health risk assessment of potable water containing small amounts of tritium oxide // J. Physics: Conf. Series. 784(2017)012040. DOI:10.1088/1742-6596/784/1/012040

**АДАПТАЦИЯ АЛАНИНОВОЙ ЭПР-ДОЗИМЕТРИИ К УСЛОВИЯМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛУЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОНАМИ В ИЯФ РК**

*Рухин А.Б., Середавина Т.А., Сушкова Н.С., Мукан Ж.Т.*

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

Применение радиационных технологий (РТ) становится все более актуальным в разных отраслях науки и жизни, но при этом необходимо строго соблюдать все требования при стерилизации пищевых продуктов и изделий медицинского назначения.

Для определения поглощенной дозы используют разные методы, в том числе метод Электронного Парамагнитного Резонанса (ЭПР), который основан на неразрушающем контроле концентрации стабильных парамагнитных центров (ПМЦ), возникающих при облучении в аланине. В широком диапазоне доз (0,1-10<sup>5</sup>Гр) сигнал в облученном аланине линейный и не меняется со временем при хранении дозиметрических таблеток.

Метод ЭПР - дозиметрии по аланину на электронном ускорителе имеет ряд специфических особенностей. Основным изучаемым вопросом являлось исследование влияния электронного облучения на точность оценки интегральной дозы.

Для адаптации аланиновых ЭПР-дозиметров к условиям технологических облучений было проведено несколько экспериментов на линейном электронном ускорителе ЭЛВ-4 в РГП ИЯФ РК. Все результаты измерений сигнала ЭПР проводились на двух спектрометрах ESP 300E фирмы «Bruker», Германия и ESR 70-03 XD/2, Белоруссия.

Полученные данные показали, что дозовая нагрузка не равномерна по глубине образца и поток рассеянных электронов от окружающих веществ дает свой существенный вклад в интегральную дозу. Изучены факторы, дающие основные вклады на оценку суммарную дозу при облучении на электронном ускорителе.

#### ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ В ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

<sup>1</sup> Плисак Р.П., <sup>2</sup> Полевик В.В.

<sup>1</sup>Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Павлодарский педагогический университет, Павлодар, Казахстан

В условиях нерегулярного поверхностного затопления и слабого грунтового увлажнения на повышенных участках долин малых рек и ручьев формируются луговые обсыхающие почвы. По механическому составу они супесчаные или легкосуглинистые. Мощность гумусового горизонта колеблется от 34 до 58 см. Содержание гумуса достигает 15-17%. Для этих почв типичны девясилово-пырейные (*Elytrigia repens*, *Inula britannica*) сообщества. Для них характерен разнообразный видовой состав и гетерогенная горизонтальная структура. Это обусловлено действием следующих техногенных факторов: 1) загрязнение радиоактивными веществами приустьевых площадок штолен; 2) излиянием воды из штолен; 3) выжиганием травостоя луговых сообществ; 4) нарушением поверхности почвы в процессе строительства сети дорог и коммуникационных сооружений; 5) загрязнением территории мусором, обломками бетона и пластмассовых изделий. МЭД  $\gamma$ -излучения составляет 100-200 мкр/ч. Основными загрязнителями луговых обсыхающих почв являются  $Cs^{138}$  (4130 Бк/кг в слое 0-10 см) и  $Sr^{90}$  (исходя из высокого содержания  $\beta$ -интегральной, достигающей 28 800 Бк/кг). Значительное содержание  $\alpha$ -излучателей 3020-3850 Бк/кг свидетельствует о загрязнении луговых обсыхающих почв плутонием. В золе корней растений  $Cs^{137}$  достигает от 682 Бк/кг (*Inula britannica*) до 7906 Бк/кг (*Elytrigia repens*), в надземной части – от 325 Бк/кг (*E. repens*) до 2418 Бк/кг (*I. britannica*). Содержание  $\alpha$ -активности в золе корней растений колеблется от 1700 Бк/кг (*Inula britannica*) до 6530 Бк/кг (*Elytrigia repens*). Наибольшая концентрация отмечена у  $\beta$ -активности: в золе корней от 11 600 Бк/кг (*Elytrigia repens*) до 113 600 Бк/кг (*Inula britannica*), в надземной части соответственно 23 800 и 229 400 Бк/кг.

В сложившихся радиоэкологических условиях в девясило-пырейном сообществе (*Elytrigia repens*, *Inula britannica*, *Phragmites australis*), формирующемся на луговых обсыхающих почвах при МЭД 100-120 мкр/ч, глубина проникновения корней доминирующих растений достигали 70 см. (на контроле 120-135 см.). Наиболее насыщен корнями слой почвы 15-40 см. (на контроле 15-25 см.).

Вес корней доминирующих растений на загрязненном участке у *Elytrigia repens* достигал в слое почвы 0-10 см. 41,6-51,3 г/м<sup>2</sup> (на контроле 54-228 г/м<sup>2</sup>) в слое 10-30 см. - 17,2-20,0 г/м<sup>2</sup> (на контроле 23,2-136,0 г/м<sup>2</sup>); в слое 0-30 см. -58,8-70,2 г/м<sup>2</sup> (на контроле -77,6-361,0 г/м<sup>2</sup>).

У *Inula britannica* на загрязненном участке вес корней составлял в слое почвы 0-10 см. 15,2-16,8 г/м<sup>2</sup> (на контроле 76,0 г/м<sup>2</sup>), в слое 10-30 см. 4,42 г/м<sup>2</sup> (на контроле 12,0-23,2 г/м<sup>2</sup>); в слое 0-30 см. 19,6-21,2 г/м<sup>2</sup> (на контроле 19,6-21,2 г/м<sup>2</sup>).

У сопутствующего вида *Phragmites australis* на загрязненном участке вес корней достигал в слое 0-10 см. 144г/м (на контроле 44,0г/м), в слое 10-20 см. 332,8 г/м (на контроле 60,0 г/м); в слое 0-30 см. 476,8 г/м (на контроле 10г/м).

Средний вес одного доминирующего вида составлял у *Elytrigia repens* 4,2-5,4 г. (на контроле 4,9-5,5 г), у *Phragmites australis* 14,9 г. (на контроле 15,7г.), у *Inula britannica* 10,6 г. (на контроле 8,8 г.)

ОТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ В МЕСТАХ ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ

Паницкий А.В., Лукашенко С.Н., Кадырова Н.Ж.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В ходе проведения испытания ядерного оружия и поражающих факторов радиоактивных веществ на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) сформировались участки с высоким уровнем содержания радионуклидов в природных средах – почве, растительности, воде [1].

Ввиду того, что на этих участках фиксируются достаточно высокие значения содержания техногенных радионуклидов в почве, растительности и воде, определенный интерес вызывает содержание техногенных радионуклидов в организме животных, постоянно обитающих на таких участках и проживающих в норах, устроенных в радиоактивно-загрязненной почве.

В настоящее время разработаны различные модели для оценки радиационного облучения диких животных [2]. Однако экспериментальных данных по оценке параметров перехода радионуклидов в организм диких животных на сегодняшний день недостаточно.

Цель этой работы дать характеристику радиоэкологическому состоянию представителям фауны, обитающей на СИП и получить некоторые параметры перехода радионуклидов в организм диких животных для их дальнейшего применения при оценке возможных рисков для биоты.

На территории СИП был произведен отлов диких животных (sand lizard (*Lacerta agilis*), partridge (*Perdix perdix*), ground squirrel (*Spermophilus erythrogenys*), siberian jerboa (*Allactaga saltator Ewersm*), hare (*Lepus europaeus*) и др.) для определения содержания в их организме (тканях и органах) радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{239+240}\text{Pu}$ ,  $^{241}\text{Am}$  и  $^3\text{H}$ . Так же производилось определение содержания этих радионуклидов в компонентах природной среды мест обитания отловленных животных. Для оценки параметров перехода радионуклидов в организм животных использовалось отношение концентраций (CR), применяемое в работах отдельных исследователей.

В результате исследований получена информация о современном радиоэкологическом состоянии фауны СИП. Исследования показали, что для отдельных видов животных параметры перехода радионуклидов могут различаться в зависимости от форм нахождения радионуклидов в почве, обусловленными различием образования радионуклидного загрязнения (аварии на АЭС, ядерные испытания). Например, средние CRs для ящериц СИП составили (Mean±SD) для  $^{137}\text{Cs}$  –  $(6,2\pm 9,9)\times 10^{-3}$ , для  $^{90}\text{Sr}$  –  $(1,1\pm 1,4)\times 10^{-2}$ . Значения CR для  $^{137}\text{Cs}$  оказались на порядок ниже значений, полученных в Чернобыльской зоне отчуждения.

Проведенные исследования показали, что содержание радионуклидов в организме диких животных, обитающих на различных участках СИП различно. В экосистемах, сопряженных с радиоактивными водотоками основным радионуклидом, вносящим вклад в загрязнение животных является  $^{137}\text{Cs}$  и  $^3\text{H}$ . На участках испытания БРВ –  $^{90}\text{Sr}$ . При этом переход радионуклидов в организм животных зависит от исходных уровней содержания радионуклидов в компонентах среды обитания, размеров участков загрязнения, форм нахождения радионуклидов в почве и поведенческих особенностей животных. При определенных условиях животные могут вносить существенный вклад в перераспределение радионуклидов в природной среде.

В целом исследования показали, что высокие значения удельных активностей радионуклидов в организме диких животных отмечаются при условии их непосредственного проживания на локальных участках загрязнения. При удалении от участков загрязнения на расстояние, превышающее радиус активности животных, высоких значений удельной активности радионуклидов в животных не фиксируется.

Значения CRs для  $^{137}\text{Cs}$  для отдельных животных оказались на порядок ниже значений, полученных в Чернобыльской зоне отчуждения. Таким образом, при использовании инструментов или моделей по оценке радиационных рисков на биоту необходимо учитывать различия CRs, связанные с характером образования радионуклидного загрязнения (радиационные инциденты на АЭС, ядерные испытания и т.д.). В связи с этим особый интерес вызывают исследования, направленные на сравнение параметров перехода радионуклидов на участках, имеющих различную природу образования радионуклидного загрязнения.

[1] Panitskiy A.V., Lukashenko S.N., 2015 "Nature of radioactive contamination of components of ecosystems of streamflows from tunnels of Degelen massif". Journal of Environmental Radioactivity 144, pp. 32-40

[2] Beresford, N.A., M. Balonov, K. Beaugelin-Seiller, J. Brown, D. Copplestone, J.L. Hingston, J. Horyna, A. Hosseini, B.J. Howard, S. Kamboj, T. Nedveckaite, G. Olyslaegers, T. Sazykina, J. Vives i Batlle, T.L.

ИЗБИРАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА К  
НАКОПЛЕНИЮ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ

Плюсак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Новикова Н.М.<sup>3</sup>, Вернер Д.<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Научно – инновационный парк КазНПУ им. Абая, Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Институт водных проблем РАН Москва, Россия

<sup>4</sup>Департамент биологии Марбургского Университета, Марбург, Германия

На территории опытно-экспериментальных площадок "Опытное поле", "Балапан" и "Дегелен" Семипалатинского полигона нами выявлено 505 видов сосудистых растений. Радиоэкологический диапазон их произрастания широкий: от фоновых доз (10-20 мкР/ч) до опасных (3000-6300 мкР/г) и особо опасных (больше 6300 мкР/ч) (в соответствии с нормами радиационной безопасности РК, 1996). Большая часть растений (>70%) произрастает при мощности экспозиционной дозой МЭД  $\gamma$  – излучение 60 -3000 мкР/ч. Это *Artemisia frigida*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Medicago falcata*, *Caraga pumila*, *Melilotus albus*, *Sanguisorba officinalis*, *Kochia scoparia* и др. Значительная часть растений (>10%) приручена к техногенным экотопам с МЭД-2900 - 6300 мкР/ч. Это – *Artemisia scoparia*, *Iris scariosa*, *Kochia sieversiana*, *Lepidium latifolium*, *Rumex confertus* и др. При МЭД  $\gamma$  – излучения выше 6300 мкР/ч выявило не более 1,5%. Это *Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Psathyrostachys juncea*, *Potentilla bifurca*, *Phragmites australis*, *Typha angustifolia* и др. При МЭД  $\gamma$  - излучения 8000 мкР/ч. – *Psathyrostachys juncea*, при МЭД  $\gamma$  – излучения 9000 мкР/ч – *Phragmites australis*, при МЭД  $\gamma$  - излучения 11000 мкР/ч – *Festuca valesiaca*.

Для 13 видов растений-доминантов основных экосистем Семипалатинского полигона (зональной, луговой, и галофитной) был проведен гаммаспектрометрический анализ золы проб почв и растений. Эти растения представлены следующими видами:

- 1) длительновегетирующим травянистым многолетником-ксерофитом *Stipa sareptana*;
- 2) длительновегетирующим травянистым многолетником- ксерофитом *Achnatherum splendens*, галоксеромезофитами – *Leymus angustus* и *Artemisia schrenkiana*;
- 3) галоксеромезофитными полукустарничками *Halimione verrucifera* и *Halocnemum strobilaceum*;
- 4) длительновегетирующими травянистыми корневишными многолетниками-мезофитами – *Elytrigia repens*, *Phragmites australis*, *Calamagrostis epigeios*, *Inula britannica*, *Sanguisorba officinalis*, *Galatella biflora*, *Glycyrrhiza uralensis*.

Основными загрязнителями почвенного покрова территории Семипалатинского испытательного полигона являются  $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$ ,  $Eu^{152,154}$ ,  $Am^{241}$ ,  $Pu^{238,239,240}$  меньшей степени -  $Co^{60}$ .

В зональных, интразональных и галофитных экосистемах в поверхностном (0-10 см) слое почв происходит накопление техногенных долгоживущих радионуклидов  $Cs^{137}$ ,  $Sr^{90}$ ,  $Pu^{238,239,240}$ . В нижележащих горизонтах их содержание резко уменьшается.

Анализ данных гаммаспектрометрического анализа золы проб почв и корней и надземной части растений выявил индивидуальные особенности исследованных доминирующих видов аккумулировать определенные радионуклиды. Наибольшее количество  $Cs^{137}$  накапливаются в луговых экосистемах: в почвах (в слое 0-10см) 3166-4130 Бк/кг, в корнях растений его содержание колеблется от 682 (*Inula britannica*) до 7906 Бк/кг (*Elytrigia repens*), в надземной части растений от 238 (*Calamagrostis epigeios*) до 2418 Бк/кг (*Inula britannica*).

В галофитных экосистемах накапливаются  $Cs^{137}$  в почвах (в слое 0-10см) 2207-2256 Бк/кг. В корнях растений его содержание колеблется от 239 (*Halocnemum strobilaceum*) до 753 Бк/кг (*Halimione verrucifera*), в надземной части соответственно 113 и 556 Бк/кг.

Выявлено, что в надземной части некоторых растений накапливаются  $Cs^{137}$  больше, чем в корнях. Так у *Inula britannica* его содержание достигает 2148 Бк/кг (в корнях 682-3100 Бк/кг), у *Glycyrrhiza uralensis* соответственно 179-1794 Бк/кг, (в корнях 340-438 Бк/кг) у *Achnatherum splendens* – 151-382 Бк/к (в корнях 24-198 Бк/кг).

В зональных экосистемах зарегистрировано высокое содержание  $Am^{241}$  в почвах (в слое 0-13см) от 5132 до 12492 Бк/кг. В корнях растений оно колеблется от 255 (*Stipa sareptana*) до 276 Бк/кг (*Artemisia marschalliana*), в надземной части соответственно 43 и 37 Бк/кг.

В зональных экосистемах выявлено значительное содержание также  $Eu^{152,154}$  в почвах (в слое 0-13см) 3144-3540 Бк/кг. В корнях растений оно колеблется от 542 (*Artemisia marschalliana*) до 1225 Бк/кг (*Stipa sareptana*), в надземной части соответственно 116 и 182 Бк/кг.

Анализ содержания  $\beta$  – излучателей выявил высокую избирательную способность у некоторых растений к их аккумуляции. Так, *Sanguisorba officinalis* накапливает в корнях 1000000-2240000 Бк/кг, в надземной части 713000-1100000 Бк/кг ( в слое почвы 0-10 см – 41000 бк/кг), *Calamagrostis epigeios*, соответственно 159500-460000 Бк/кг (в корнях) и 189820-260000 Бк/кг (в наземной части) в слое почвы 0-10см 41600 Бк/кг *Leymus angustus* аккумулирует в корнях 85800 – 102 000 Бк/кг, в надземной части 64700-79000 Бк/кг (в слое почвы 0-15см – 16870 Бк/кг).

Анализ содержания  $\alpha$  – излучателей выявил высокую избирательную особенность: у всех исследованных растений – мезофитов, доминантов луговых сообществ в корнях накапливается радионуклида больше, чем в надземной части. Это характерно для *Galatella biflora*: 3880-5600 Бк/кг (в корнях) и 350 – 1100 Бк/кг (в надземной части), для *Elytrigia repens*: 3900-6500 Бк/кг (в корнях) и 390 Бк/кг (в надземной части), *Calamagrostis epigeios*: 6780 – 18600 Бк/кг (в корнях) и 400 – 1000 в наземной части, для *Inula britannica*: 1700 – 2100 Бк/кг (в корнях) и 390 Бк/кг (в надземной части), для *Sanguisorba officinalis*: 3200-5580 Бк/кг (в корнях) и 350 – 1100 Бк/кг (надземной части). В слое почв 0-10см содержание  $\alpha$  – активности колеблется от 2560 до 4142 Бк/кг.

#### О ВЛИЯНИИ $Am^{241}$ И $Eu^{152-154}$ НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Плюсак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Полевик В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Научно-инновационный парк КазНПУ им. Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Семипалатинский госуниверситет, педагогический институт, г. Семей, Казахстан

Наиболее загрязненной является территория испытательной площадки «Опытное поле», где находятся эпицентры наземных и атмосферных ядерных взрывов. Участки с высоким уровнем  $\gamma$  – фона на Опытном поле занимают незначительную площадь. Зона загрязнения цезием-137 плотностью 5 кБк/км<sup>2</sup> и выше занимает площадь 10-12 км<sup>2</sup>, что составляет 3% от общей площади испытательной площадки «Опытное поле». Здесь наибольшую площадь занимают зональные экосистемы, приуроченные к выровненным, пологонаклонным или плоским межсочным равнинам. Почвообразующие породы – делювиально-пролювиальные песчано-щебнистые отложения. Почвы – светлокаштановые суглинистые, реже – супесчаные. Тип водного режима – непромывной. Поступление органических веществ незначительное. В данных экосистемах представлены полынно – дерновиннозлаковые (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marschalliana*, *A. sublessingiana*) ценозы. Горизонтальная структура рассматриваемых сообществ гетерогенна. Проективное покрытие почвы растениями не превышает 50–65%, напочвенный покров – 10–15%. Это обусловлено снятием поверхностного слоя почв в процессе дезактивации территорий после ядерных взрывов и уменьшению мощности гумусового горизонта. МЭД  $\gamma$ -излучения достигает 150–200 мкР/ч. Основные техногенные загрязнители почв  $Am^{241}$  – 12386 Бк/кг (в слое 0–2 см),  $Eu^{152,154}$  – 3467,8 – 4479 Бк/кг,  $Cs^{137}$  – 53 Бк/кг, что свидетельствует о загрязнении почв  $\alpha$  – излучателями. Их содержание превышает допустимые нормы. Из  $\beta$  – излучателей высокая концентрация выявлена у  $Eu^{152,154}$  – 1957 Бк/кг. Наибольшее содержание радионуклидов отмечается в поверхностном слое (0-2(3) см) почв. В нижележащих горизонтах оно резко уменьшается. Концентрация  $Cs^{137}$  ( $\alpha$  и  $\beta$  – излучателя) в поверхностном слое (0-2 см) светлокаштановых почв достигает – 526 Бк/кг. В корнях доминирующих растений содержание  $Cs^{137}$  составляет 252 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 220 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*, в надземной части соответственно 57 Бк/кг и 56 Бк/кг. Значительных величин в поверхностном слое достигают  $\alpha$  – излучатели (3060 Бк/кг) и  $\beta$  – излучатели (2350 Бк/кг). В корнях доминирующих растений содержание  $\alpha$  – частиц так же высокое: у *Stipa sareptana* - 4180 Бк/кг, у *Artemisia marschalliana* - 1020 Бк/кг,  $\beta$  – частиц достигает 2840 Бк/кг у *Stipa capillata* и 6580 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*. В надземной части доминирующих растений  $\alpha$  – активность составляет менее 350 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 1240 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*,  $\beta$  – активность соответственно 2530 Бк/кг и 9100 Бк/кг. Содержание  $Eu^{152,154}$  в светлокаштановых почвах (в слое 0-2 см) достигает 1776-1957 Бк/кг, в слое 2-12 см-1187-1764 Бк/кг. В золе корней доминирующих растений величина этого радионуклида составляет 1225 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 542 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*.

В опаде *Stipa sareptana* выявлено повышенное содержание  $Am^{241}$  (250-378 Бк/кг),  $Cs^{137}$  (170-510 Бк/кг),  $Eu^{152,154}$  (900-1521 Бк/кг),  $\alpha$  – активности (1100-1840 Бк/кг) и  $\beta$  – активности (3600-4010 Бк/кг).

О ФОРМИРОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЙ-ДОМИНАНТОВ В ЗОНАЛЬНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Плисак Р.П.<sup>1</sup>, Полевик В.В.<sup>2</sup>, Аралбай Н.К.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Семипалатинский госуниверситет, педагогический институт, г. Семей, Казахстан

<sup>3</sup>Научно-инновационный парк КазНПУ им. Абая, г. Алматы, Казахстан

Наибольшую площадь на Семипалатинском полигоне занимают зональные экосистемы, приуроченные к выровненным, пологонаклонным или плоским межсочным равнинам. Почвообразующие породы - делювиально-пролювиальные песчано-щебнистые отложения. Почвы - светлокаштановые сулинистые, реже - супесчаные. Тип водного режима - непромывной. Поступление органических веществ незначительное. В данных экосистемах представлены полынно - дерновиннозлаковые (*Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*, *Artemisia marschalliana*, *A. sublessingiana*) ценозы. Горизонтальная структура рассматриваемых сообществ гетерогенна. Проективное покрытие почвы растениями не превышает 50-65%, напочвенный покров - 10-15%. Это обусловлено снятием поверхностного слоя почв в процессе дезактивации территорий после ядерных взрывов и уменьшению мощности гумусового горизонта. МЭД  $\gamma$ -излучения достигает 150-200 мкР/ч. Основные техногенные загрязнители почв  $\text{Am}^{241}$  - 12386 Бк/кг (в слое 0-2 см),  $\text{Eu}^{152,154}$  - 3467,8 - 4479 Бк/кг,  $\text{Cs}^{137}$  - 53 Бк/кг, что свидетельствует о загрязнении почв  $\alpha$ -излучателями. Их содержание превышает допустимые нормы. Из  $\beta$ -излучателей высокая концентрация выявлена у  $\text{Eu}^{152,154}$  - 1957 Бк/кг. Наибольшее содержание радионуклидов отмечается в поверхностном слое (0-2(3) см) почв. В нижележащих горизонтах оно резко уменьшается. Концентрация  $\text{Cs}^{137}$  ( $\alpha$  и  $\beta$ -излучателя) в поверхностном слое(0-2 см) светлокаштановых почв достигает - 526 Бк/кг. В корнях доминирующих растений содержание  $\text{Cs}^{137}$  составляет 252 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 220 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*, в надземной части соответственно 57 Бк/кг и 56 Бк/кг. Значительных величин в поверхностном слое достигают  $\alpha$ -излучатели (3060 Бк/кг) и  $\beta$ -излучатели (2350 Бк/кг). В корнях доминирующих растений содержание  $\alpha$ -частиц так же высокое: у *Stipa sareptana* - 4180 Бк/кг, у *Artemisia marschalliana* - 1020 Бк/кг,  $\beta$ -частиц достигает 2840 Бк/кг у *Stipa capillata* и 6580 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*. В надземной части доминирующих растений  $\alpha$ -активность составляет менее 350 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 1240 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*,  $\beta$ -активность соответственно 2530 Бк/кг и 9100 Бк/кг. Содержание  $\text{Eu}^{152,154}$  в светлокаштановых почвах(в слое 0-2 см) достигает 1776-1957 Бк/кг, в слое 2-12 см-1187-1764 Бк/кг. В золе корней доминирующих растений величина этого радионуклида составляет 1225 Бк/кг у *Stipa sareptana* и 542 Бк/кг у *Artemisia marschalliana*.

В опад *Stipa sareptana* выявлено повышенное содержание  $\text{Am}^{241}$  (250-378 Бк/кг),  $\text{Cs}^{137}$  (170-510 Бк/кг),  $\text{Eu}^{152,154}$  (900-1521 Бк/кг),  $\alpha$  - активности (1100-1840 Бк/кг) и  $\beta$  - активности (3600-4010 Бк/кг).

В данных радиоэкологических условиях в типичном зональном полынно-дерновиннозлаковом (*Artemisia sublessingiana*, *Artemisia marschalliana*, *Stipa sareptana*, *Festuca valesiaca*) сообществе глубина проникновения корней растений достигает 71-100 см (на контроле 70-80 см). Наиболее насыщен корнями слой почвы - 28 см. на загрязненном участке и 0-30 см. на контроле.

Вес корней доминирующих видов достигал на загрязненном участке у *Stipa sareptana* в слое почвы 0-10 см. 16,02 г/м (на контроле 16,0-16,4 г/м). В слое почвы 10-30 см. на загрязненном участке составлял 27,6 г/м (на контроле 22,4-24,0 г/м.), в слое 0-30 см. - 44,4 г/м (на контроле 38,8 г/м )

Вес корней у *Artemisia marschalliana* - достигал в слое почвы 0-10 см 126,4-136,1 г/м (на контроле 88-100 г/м), в слое 10-30 см. -32,6 г/м (на контроле 22,4-24,0 г/м), в слое 0-30 см. - 154 г/м ( на контроле 110,8 г/м).

Средний вес одного корня *Stipa sareptana* составлял 2,5-3,0 г/м (на контроле 2,6-2,9 г/м), у *Artemisia marschalliana* 24,4 г/м (на контроле 17,3 г/м).

ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ-ДОМИНАНТОВ В ГАЛОФИТНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА ПРИ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Плисак Р.П.

Институт ботаники и фитоинтродукции МОН РК, Алматы, Казахстан

Галофильные растительные сообщества на территории Семипалатинского полигона занимают незначительную площадь. Это интразональные сообщества. Они формируются на солончаковых почвах в условиях дополнительного увлажнения за счёт дождевых и снеготалых вод склонового стока в депрессиях на аллювиально-пролювиальных и делювиально-пролювиальных равнинах и межсопочных понижениях.

Объектом исследований является азональная экосистема, формирующаяся в течении 45-50 лет при мощности экспозиционной дозы гамма-излучения (МЭД) 30-50мкР/ч. Почвы – обыкновенный солончак. Растительность представлена ксерогалофитным сарсазаново-обионовым (*Halimione verrucifera* + *Halocnemum strobilaceum*) сообществом.

По содержанию гумуса и мощности гумусового горизонта сравниваемые почвы отличаются незначительно. Содержание гумуса в загрязненных почвах достигает в верхнем слое 2.2 – 2.4% при мощности гумусового горизонта 33-36 см, а на контроле содержания гумуса 1.6-2.0% при мощности горизонта 40-44 см.

Сумма поглощенных оснований варьирует на загрязненных почвах от 10.61 до 25.00 мг-экв на 100 г почвы, на контроле от 11.58 до 29.20 мг-экв. на 100 г почвы, содержание калия валового от 0.87 до 2.46%, а на контроле – от 1.17 до 2.37 %. РН раствора солончака обыкновенного слабощелочная и щелочная по всему профилю. Гранулометрический состав генетических горизонтов почвенного профиля неоднороден, меняется от супесчаных до тяжелосуглинистых разновидностей.

Исследуемое сарсазаново-обионовое (*Halimione verrucifera*+*Halocnemum strobilaceum*) сообщество – типичный ксерогалофитный фитоценоз степной зоны. По сравнению с другими галофитными сообществами они занимают значительную площадь. Доминирующие виды – низкие ксерогалофитные полукустарнички. Сопутствующие виды представлены различными жизненными формами. По количеству видов преобладают длительно вегетирующие травянистые двудольные многолетники *Artemisia schrenkiana*, *Saussurea salsa*, *Limonium bungei*, *L. otolepis*, *L. corraloides*. Незначительно представлены кустарники *Tamarix hispida*, *Astragalus brachylobus*, полукустарнички *Kalidium foliatum*, *Limonium suffruticosum*, *Atriplex cana* и полукустарничек *Frankenia hirsuta*. Из однолетников выявлены *Suaeda salsa*, *S. heterophylla*, *Salicornia europaea*, *Halogeton glomeratus*. В сложении сообщества принимают участие однодольные длительно вегетирующие многолетние травы *Lasiagrostis splendens*, *Aeluropus littoralis*, *Leymus paboanus* и *Juncus gerardii*.

Степень общего проективного покрытия в данных сообществах на загрязнённом участке достигала 55-80% (на контроле 50-80%). Степень покрытия почвы растениями на загрязнённом участке колебалась от 45 до 70% (на контроле – от 40 до 75%). Напочвенный покров на загрязнённом участке составлял 5-15% (на контроле – 2-15%).

Надземная биомасса в данных сообществах на загрязнённом участке достигала 398.1-479.3 г/м<sup>2</sup> (на контроле – 816-871.5 г/м<sup>2</sup>).

Глубина проникновения корней растений в исследуемых сообществах на загрязнённом участке составляла 90-95 см (на контроле 60-68 см). Наиболее насыщен корнями растений был слой почв 0-25(30) см (на контроле 0-20(30) см).

Вес корней доминантов у *Halimione verrucifera* 232-236г. (на контроле 400-420), у *Halocnemum strobilaceum* 112г (на контроле 336-345г).

Средний вес одного корня доминантов у *Halimione verrucifera* 32.6-36.2г. (на контроле 30.1-31.6г), у *Halocnemum strobilaceum* 15.1г (на контроле 16.1г.)

Максимальная аккумуляция основных загрязнителей <sup>137</sup>Cs и интегральных α- и β – излучателей характерна для верхних слоёв почвы. В слое 0-4 см <sup>137</sup>Cs накапливается в количестве 2256 Бк/кг, в слое 4-10 см – 572 Бк/кг, в слое 20-30 см – 0.9 Бк/кг, (на контроле в слое 0-2 см – 24.9 Бк/кг, в слое 2-25 см – 5.3 Бк/кг). Содержание интегральной β – активности в слое 0-4 см составляет 7090 Бк/кг, в слое 4-10 см – 3000 Бк/кг, в слое 20-30 см – 900 Бк/кг (на контроле в слое 0-2 см – 700 Бк/кг, в слое 2-25 см - Бк/кг). Содержание интегральной α – активности в слое 0-4 см достигает 2370 Бк/кг, в слое 4-10 см – 1490 Бк/кг, в слое 20-30 см – 1790 Бк/кг (на контроле в слое 0-2 см – 620 Бк/кг, в слое 2-25 см – 1010 Бк/кг).

Содержание CS<sup>137</sup> в золе корня растений у *Halimione verrucifera*, 143-753 БК/кг( контроль 13-78 БК/кг), у *Halocnemum strobilaceum*. 135-239 БК/кг ( контроль 92-300 БК/кг)

Содержание альфа-частиц в золе корней растений у *Halimione verrucifera* 1200-1300 БК/кг ( контроль <900-810 БК/кг), у *Halocnemum strobilaceum* 3370-3900 БК/кг ( контроль 2900-3040 БК/кг).

Содержание бета-частиц в золе корней растений у *Halimione verrucifera* 4300-11100 БК/кг ( контроль 1520-1530 БК/кг), у *Halocnemum strobilaceum* 5430-6400 БК/кг ( контроль 3790-4500 БК/кг).



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ  $Cs^{137}$  И  $\beta$ -ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ ЛУГОВЫХ ЦЕНОЗОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Плусак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Полевик В.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Научно-инновационный парк КазНПУ им. Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Семипалатинский госуниверситет, г. Семей, Казахстан

На испытательной площадке «Дегелен» в 1992 г. было зарегистрировано излияние воды на 27 штольнях. При этом приустьевые площадки в той или иной мере загрязнены радиоактивными веществами. Значение мощности экспозиционной дозы составляет 1-5 мР/ч. Имеет место миграция радиоактивных веществ с водой и последующая их сорбция грунтом и растительностью. Процесс формирования радиационной обстановки горного массива «Дегелен» далек от завершения и в настоящее время носит прогрессирующий характер. Здесь, в долине ручья Карабулак представлены интразональные экосистемы. Почвообразующие породы - делювиально-пролювиальные отложения, подстилаемые плотными породами. В центральной части долины ручья формируются луговые солончаковые суглинистые и тяжелосуглинистые почвы. Для них характерно высокое содержание гумуса до 19% и мощный гумусовый горизонт до 61 см. Почвы засолены с поверхности до 0,6%. Засоление верхнего слоя обусловлено постоянным подпитыванием с капиллярной каймой, находящейся у поверхности почв. В этих экосистемах представлены кровохлёбково – солонечниково – вейниковые (*Calamagrostis epigeios*, *Galatella biflora*, *Sanguisorba officinalis*) сообщества. Доминанты – корневищные многолетники мезофиты - (вейник наземный и кровохлебка лекарственная) и длительно вегетирующий многолетник-мезофит - солонечник двуцветковый (*Galatella biflora*). Характерно значительное видовое разнообразие. Оно обусловлено следующими факторами: 1) влиянием радиационного загрязнения; 2) ежегодным выжиганием травостоя в долинах радиоактивных ручьев для изъятия кабеля, которое сопровождается появлением многих сорных видов (*Chenopodium album*, *Polygonum patulum*, *Lepidium latifolium* и др.); 3) более благоприятными условиями увлажнения в долинах радиоактивных ручьев. МЭД  $\gamma$ -излучения достигает 150-170 мкР/ч.

В данной экосистеме основными загрязнителями являются  $Cs^{137}$  и  $\beta$ -излучатели, в меньшей степени  $U^{238}$  и  $\alpha$ -излучатели. Почвы загрязнены в верхних горизонтах. В слое 0-10 см  $Cs^{137}$  аккумулируется 3166 Бк/кг. Величина интегральной  $\beta$ -активности достигает 41 600 Бк/кг. Содержание интегральной  $\alpha$ -активности в слое 0-10 см составляет 1057 Бк/кг. Наибольший уровень в золе корней растений зарегистрирован у  $\beta$ -частиц: от 159 000-460 000 Бк/кг (*Calamagrostis epigeios*) до 1 000 000-2 240 000 Бк/кг (*Sanguisorba officinalis*), в надземной части – от 189 300-260 000 (*C. epigeios*) до 713 000-1 100 000 Бк/кг (*S. officinalis*). Отмечено также высокое содержание  $\alpha$ -активности в золе корней растений: 3200-5580 Бк/кг (*Sanguisorba officinalis*) – 6780-18 600 Бк/кг (*Calamagrostis epigeios*), в надземной части - 400 Бк/кг (*C. epigeios*) – 1100 Бк/кг (*S. officinalis*).

В условиях нерегулярного поверхностного затопления и слабого грунтового увлажнения на повышенных участках долин малых рек и ручьев формируются луговые обсыхающие почвы. По механическому составу они супесчаные или легкосуглинистые. Мощность гумусового горизонта колеблется от 34 до 58 см. Содержание гумуса достигает 15-17%. Для этих почв типичны девясилово-пырейные (*Elytrigia repens*, *Inula britannica*) сообщества. Для них характерен разнообразный видовой состав и гетерогенная горизонтальная структура. Это обусловлено действием следующих техногенных факторов: 1) загрязнение радиоактивными веществами приустьевых площадок штолен; 2) излиянием воды из штолен; 3) выжиганием травостоя луговых сообществ; 4) нарушением поверхности почвы в процессе строительства сети дорог и коммуникационных сооружений; 5) загрязнением территории мусором, обломками бетона и пластмассовых изделий. МЭД  $\gamma$ -излучения составляет 100-200 мкР/ч. Основными загрязнителями луговых обсыхающих почв являются  $Cs^{137}$  (4130 Бк/кг в слое 0-10 см) и  $Sr^{90}$  (исходя из высокого содержания  $\beta$ -интегральной, достигающей 28 800 Бк/кг). Значительное содержание  $\alpha$ -излучателей 3020-3850 Бк/кг свидетельствует о загрязнении луговых обсыхающих почв плутонием. В золе корней растений  $Cs^{137}$  достигает от 682 Бк/кг (*Inula britannica*) до 7906 Бк/кг (*Elytrigia repens*), в надземной части – от 325 Бк/кг (*E. repens*) до 2418 Бк/кг (*I. britannica*). Содержание  $\alpha$ -активности в золе корней растений колеблется от 1700 Бк/кг (*Inula britannica*) до 6530 Бк/кг (*Elytrigia repens*). Наибольшая концентрация отмечена у  $\beta$ -активности: в золе корней от 11 600 Бк/кг (*Elytrigia repens*) до 113 600 Бк/кг (*Inula britannica*), в надземной части соответственно 23 800 и 229 400 Бк/кг.

На повышенных ровных участках центральной части долины ручья Узун-Булак формируются луговые поверхностного увлажнения карбонатные остепеняющиеся каменистые почвы. Почвообразующие породы: делювиально-пролювиальные щебнисто-каменистые отложения. По механическому составу данные почвы суглинистые или легкосуглинистые. Для них характерно высокое содержание гумуса. Мощность гумусового горизонта колеблется от 35 до 54 см. Здесь формируются волоснецово-солодково-чиевые (*Achnatherum splendens*, *Glycyrrhiza uralensis*, *Leymus angustus*) сообщества. Для них характерно высокое видовое разнообразие, обусловленное радиационным загрязнением, нарушением поверхности почвы (захламление, прокладки ям различной глубины, засорение и т.д.). Эти факторы способствуют усилению гетерогенности горизонтальной структуры сообществ и внедрению в травостой сорных видов. Основными загрязнителями луговых

остепеняющихся почв являются  $Cs^{137}$  и  $\beta$ -излучатели. В слое почв 0-5(7) см  $Cs^{137}$  накапливается 1053-1394 Бк/кг, содержание интегральной  $\beta$ -активности достигает 46 200 Бк/кг. В золе корней доминирующих видов величина  $Cs^{137}$  колеблется от 198 Бк/кг (*Achnatherum splendens*) до 438 Бк/кг (*Glycyrrhiza uralensis*), в надземной части – от 151–382 Бк/кг (*A. splendens*) до 1794 Бк/кг (*G. uralensis*). Выявлен высокий уровень  $\beta$ -активности: в золе корней растений 87 000 Бк/кг у *Achnatherum splendens* и 828 000 Бк/кг у *Glycyrrhiza uralensis*, в надземной части соответственно 207 000 Бк/кг и 610 000 Бк/кг.

На выровненных наклонных участках высокой надпойменной террасы долины ручья Байтелес распространены луговые остепенённые малоразвитые суглинистые щебнистые почвы. Почвообразующая порода: делювиально-пролювиальные суглинистые щебнистые отложения, подстилаемые плотными породами. Формирование этих почв происходит в условиях дополнительного увлажнения территории за счет снеготалых вод. Грунтовое подпитывание не играет существенной роли. Содержание гумуса достигает 15%, мощность гумусового горизонта - 32 см. Для этих местообитаний типичны галоксеромезофитные волоснецовые (*Leymus angustus*) сообщества. Ежегодное выжигание травостоя, значительное механическое нарушение поверхности почв усиливает гетерогенность горизонтальной структуры сообществ и увеличивает количество сорных видов.

МЭД  $\gamma$ -излучения достигает 160 мкР/ч. Основными загрязнителями луговых остепененных почв являются  $Cs^{137}$  и  $\beta$ -излучатели. Содержание  $Cs^{137}$  в поверхностном слое (0-15см ) почв достигает 896 Бк/кг. В золе корней эдификатора *Leymus angustus* величина  $Cs^{137}$  колеблется от 1690 до 5382 Бк/кг, в надземной части – от 86 до 120 Бк/кг. Высокий уровень  $\beta$ -активности выявлен как в почвах (в слое 0-15 см) 16 970 Бк/кг, так и в золе корней *Leymus angustus* 85 800-102 000 Бк/кг и в надземной части растения 64 700-79 000 Бк/кг.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В РАСТЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ HELIANTHUS ANNUS

Поливкина Е.Н., Ларионова Н.В. Ляхова, О.Н., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Изотоп  $^3H$  занимает одно из первых мест в радиоэкологических исследованиях, поскольку обладает способностью включаться в важнейшие биомолекулярные структуры клеток. На Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) выявлены участки с высокими уровнями содержания  $^3H$ , представляющие опасность для прилегающих территорий. Поскольку особое место в миграции любых элементов, а значит и  $^3H$ , принадлежит растениям, цель работы заключалась в изучении корневой и аэральнй миграции, а также особенностей перераспределения  $^3H$  в растениях.

В качестве экспериментального вида растений выбран подсолнечник обыкновенный (*Helianthus Annus*). Корневую миграцию  $^3H$  изучали в оранжерее в условиях модельного эксперимента. Аэральнй перенос  $^3H$  в растения исследовали посредством вегетационно-полевого опыта на территории СИП. В обоих экспериментах  $^3H$  поступал в растения в наиболее распространенной форме тритированной воды (НТО).

Удельную активность  $^3H$  определяли жидкосцинтилляционным методом с использованием спектрометра QUANTULUS 1200. Выделение свободной воды растений производили посредством специальной установки, подготовку образцов для определения органически связанного  $^3H$  (ОСТ) производили с использованием Sample Oxidizer.

В результате экспериментальной работы выявлены некоторые особенности перераспределения  $^3H$  в растениях *Helianthus Annus* в условиях корневой и аэральнй миграции радионуклида в форме НТО.

Согласно полученным результатам, при корневом поступлении удельная активность  $^3H$  в свободной воде растений подсолнечника варьировала в течение периода исследований в зависимости от концентрации НТО в поливной воде, что подтверждается высокими значениями коэффициента корреляции ( $r=0,9$ ). Содержание ОСТ в течение вегетации имело тенденцию к накоплению и слабо коррелировало с удельной активностью  $^3H$  в поливной воде ( $r=0,5$ ).

Оценка аэральнй миграции  $^3H$  в растения *Helianthus Annus* показала, что содержание радионуклида в составе свободной воды возрастало в течение вегетации и тесно коррелировало с удельной активностью изотопа в водяных парах атмосферы ( $r=0,7$ ). Концентрация ОСТ также увеличивалась в процессе вегетации, однако, корреляционная зависимость с содержанием НТО в атмосферном воздухе практически отсутствовала ( $r=0,1$ ).

Установлено, что в условиях корневой миграции  $^3H$  корреляционная зависимость между значениями удельной активности изотопа в свободной воде и органической составляющей экспериментальных растений практически отсутствует ( $r = 0,2$ ), а при аэральнй поступлении радионуклида  $^3H$  проявляется очень тесно ( $r = 0,8$ ).

Исследованы особенности перераспределения  $^3H$  по органам экспериментальных растений. При корневом поступлении  $^3H$  удельная активность радионуклида в свободной воде органов подсолнечника возрастала в следующем ряду: "листья < стебли < соцветия < корни", тогда как концентрация ОСТ возрастала в

противоположном направлении: " корни < листья < стебли < соцветия ". В условиях аэрального поглощения удельная активность  $^3\text{H}$  в свободной воде органов растений изменялась в возрастающем ряду: " корни < соцветия < стебли < листья ". Содержание ОСТ по органам распределялось согласно следующему ряду: " корни < стебли < листья < соцветия ".

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют об активной роли растений в трансформации форм нахождения  $^3\text{H}$  и миграционных потоках изотопа в экосистеме.

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С. КАЛАЧИ

Садыков Р.А., Субботин С.Б., Романенко В.В., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Весной 2014 года в средствах массовой информации стали появляться сообщения о случаях возникновения «сонного синдрома» у жителей с. Калачи Акмолинской области. При этом, в ходе исследований санитарно-эпидемиологической и токсикологической службы, а также медицинского обследования пострадавших, явной причины возникновения такого синдрома не установлено.

Национальным ядерным центром была разработана программа исследования экологической ситуации поселка. В ходе работы было сделано предположение, что жители поселка подвергаются вредному воздействию веществ, поступающих в организм человека с атмосферным воздухом. Начиная с 2014 года в рамках данной программы проводились исследования газового состава атмосферного воздуха.

В данном докладе представлены результаты исследования качества атмосферного воздуха с. Калачи.

#### РАСТЕНИЯ – ИНДИКАТОРЫ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ

Аралбай Н.К.<sup>1</sup>, Плисак Р.П.<sup>2</sup>, Новикова Н.М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Научно-инновационный парк КазНПУ им. Абая, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>РГП «Институт ботаники и фитоинтродукции» КН МОН РК, г. Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Институт водных проблем РАН, г. Москва, Россия

1. Произведен гаммаспектрометрический анализ парных проб «почва –растение» для 14 видов высших растений – доминантов основных экосистем и 1 вида лишайника на Семипалатинском полигоне. В зональных экосистемах – это плотнодерновинные многолетники-ксерофиты *Stipa sareptana* и *Festuca valesiaca* и ксерофитные полукустарнички – *Artemisia marschalliana*, *A. sublessingiana*. В галофитных экосистемах исследованы низкие ксерогалофитные полукустарнички *Halimione verrucifera*, *Halocnemum strobilaceum*. В луговых экосистемах были отобраны для анализа многолетники-мезофиты *Calamagrostis epigeios*, *Galatella biflora*, *Sanguisorba officinalis*, *Elytrigia repens* и галоксеромезофит *Parmelia vagans*. В нарушенных экосистемах исследовались лишайник *Parmelia vagans* и высшие растения мезофит *Potentilla bifurca*, галоксерофитный полукустарник *Atriplex cana* и ксеромезофитный полукустарничек *Ephedra distachya*.

2. В результате гаммаспектрометрического анализа парных проб «почва –растение» получены значения факторов перехода радионуклидов из почвы в растения. Растения ранжированы в порядке убывания их факторов перехода. Диапазон изменения факторов перехода для исследованных растений значительный. Коэффициент накопления радионуклидов колеблется от 0,023 до 3,732.

3. По величине коэффициентов накопления мы разделили исследованные растения на 3 группы:

1) к первой группе растений с коэффициентом накопления 0,513-3,732 отнесены *Parmelia vagans* – 3,732, *Ephedra distachya* 1, 314 и *Atriplex cana* – 0,513. Следуя Ж. Н. Александровой (1998), которая выполнила радио-экологические и радиобиологические исследования на локальных участках Чернобыльского и Восточно-Уральского следа, мы считаем эти растения с коэффициентом накопления 0,2 и выше гипераккумуляторами радионуклидов и индикаторами радиационного загрязнения почв Семипалатинского полигона;

2) во вторую группу с коэффициентом накопления радионуклидов 0,078 – 0,2 включены *Sanguisorba officinalis* – 0,141 – 0,2; *Potentilla acaulis* – 0,180 – 0,2, *Galatella biflora* – 0,168 – 0,197, *Leymus angustus* – 0,129 – 0,134 и *Calamagrostis epigeios* – 0,078 – 0,104.

3) К третьей группе с коэффициентом накопления 0,023-0,145 отнесены *Stipa sareptana* – 0,029-0,16; *Halimione verrucifera* – 0,036-0,145; *Phragmites australis* – 0,086; *Elytrigia repens* – 0,078; *Artemisia marschalliana* – 0,023-0,05; *Halocnemum strobilaceum* – 0,030-0,049. Эти растения гипоаккумуляторы радионуклидов.

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ»**

*Пронин С.С., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Актаев М.Р., Субботин С.Б.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Согласно фондовым данным, в период с 1965 по 1980 гг. на площадке «Сары-Узень», расположенная на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проведено 24 подземных испытания. По имеющейся информации, мощность большинства взрывов не превышала 20-ти кт на глубинах от 50 до 430 м.

При подземных ядерных испытаниях, в отличие от атмосферных, основная доля радиоактивных продуктов остается "захороненной" под слоем породы и может поступать в подземные воды. Исследование загрязнения техногенными радионуклидами подземных вод осложняется особенностями самой исследовательской среды. Как правило, это сложность доступа и отсутствие возможности прямого наблюдения.

На сегодняшний день для определения характера загрязнения подземных вод техногенными радионуклидами на территории СИП не существует единого методологического подхода для исследования подземных вод. Вместе с тем, своевременная и качественно проведенная оценка радионуклидного состояния подземных вод позволит локализовать загрязненные участки и провести оценочный прогноз дальнейшего развития радионуклидного загрязнения исследуемых территорий. В ИРБЭ НЯЦ РК существует комплекс поставленных методов, которые позволяют провести оценку подземной среды, однако на настоящий момент все методы не структурированы в одну единую систему, отсутствует целостный методологический подход.

Данная работа является первым этапом в разработке комплексной методологии с учетом специфических особенностей территории СИП, где важную роль играют не только геологические и гидрогеологические характеристики территории, а также место и вид проведенных испытаний, и радиационная обстановка, сложившаяся на настоящий момент.

Таким образом, целью данной работы является разработка методологии исследования радиоактивного загрязнения подземных вод на примере площадки «Сары-Узень». Для достижения этой цели были поставлены следующие задачи:

1. Изучение радиационной обстановки исследуемой территории.
2. Изучение гидрогеологических условий и геологического строения исследуемой площадки.
3. Определение характера радионуклидного загрязнения подземных вод.
4. Разработка рекомендаций по проведению исследования радиоактивного загрязнения подземных вод.

Изучение радиационной обстановки, геологического строения и гидрогеологического режима исследуемой территории, позволило определить проблематику исследуемой территории, выявить участки исследования, определить каналы возможной миграции техногенных радионуклидов. Установлено, что трещинные воды приурочены к верхней трещиноватой зоне выветривания палеозойских пород; поровые спорадического распространения в аллювиально-пролювиальных и аллювиальных отложениях четвертичного возраста. При этом, отсутствие явных очагов разгрузки подземных вод и региональных водоупоров в пределах площадки дает основание рассматривать подземные воды трещиноватых зон как единый гидрогеологический бассейн. Мощность водоносной толщи – от 50 до 110 м. Глубина залегания подземных вод – до 14 м. Воды в основном безнапорные, в местах, где водоносные отложения перекрываются неогеновыми глинами, приобретают напор, достигающий 40 м. Коэффициент фильтрации определяется степенью трещиноватости и колеблется в широких пределах – от 0,001 до 4,4 м/сут, увеличиваясь в зонах тектонических нарушений.

Установлено, что концентрация техногенных радионуклидов распространенных в пределах площадки, достигает следующих величин:  $^{239+240}\text{Pu}$  - до  $2,2 \cdot 10^{-3}$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  - до 0,30 Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  - до 140 Бк/кг,  $^3\text{H}$  - до 230 000 Бк/кг. По полученным данным можно отметить, что основным радиоактивным загрязнителем подземных вод на данной площадке является  $^3\text{H}$ .

В целом, анализ полученных данных показал, что максимальные численные значения концентрации техногенных радионуклидов в грунтовых и трещинных водах были зафиксированы на участках, расположенных вблизи «боевых» скважин в центральной части площадки «Сары-Узень». Учитывая гидрогеологические и геологические особенности территории, сделан вывод о необходимости контроля подземных вод на данных участках. Также, принимая во внимание, что подземные воды площадки преимущественно перемещаются в северном и северо-восточном направлении необходимо контролировать радионуклидное загрязнение подземных вод в ее северной части.

Проведенная работа позволила выделить основные рекомендации, необходимые для разработки методологии исследования загрязнения подземных вод в местах проведения ПЯВ. Наиболее приоритетными является исходные данные о характере проведения ядерных испытаний. В тоже время, геологическое и гидрогеологическое строение участка позволяет выделить потенциальные участки, подверженные процессам миграции техногенных радионуклидов с подземными водами.

**СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КАЛАЧИ И ДОЛОНЬ**

*Романенко В.В., Гарбуз Ю.В., Умаров М.А., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Субботин С.Б., Койгельдинова М., Турченко Д.В.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Поиск причин загадочного засыпания жителей села Калачи привел к детальному изучению экологической обстановки данной территории. Результаты исследований хоть и не позволили указать на точную причину болезни, но позволили установить ключевые факторы способствовавшие возникновению «сонного» синдрома. Для оценки уникальности сложившейся обстановки следует сравнить наличие и выраженность выявленных вредных факторов в других схожих селах. В качестве примера предлагается рассмотреть сравнение с аналогичным по размерам селом Долонь, расположенным в Восточном Казахстане.

Население рассматриваемых поселков составляет около 600 человек на 2015 год. Оба поселка представлены одноэтажными строениями с использованием печного отопления. Для исследования экологической обстановки сел проводились исследование радиационных параметров территории, исследования радоноопасности жилых помещений, оценка загрязнения воздушной среды микроэлементами и тяжелыми металлами, а также исследования газового стабильности состава атмосферного воздуха.

По результатам исследования радиационного фактора следует отметить, что в целом мощность гамма излучения на территории сел находится на фоновом уровне (0,14-0,2 мкЗв/ч). Содержание природных радионуклидов на территории сел является типичным для почв Казахстана. При этом в почвенном слое на территории села Калачи встречаются фрагменты руды с активностью  $^{238}\text{U}$ ,  $^{214}\text{Pb}$  и  $^{226}\text{Ra}$  на уровне 5000 Бк/кг. Содержание техногенных радионуклидов на территории сел находится на уровне фона глобальных выпадений. На территории села Долонь можно выделить небольшие участки с повышенным содержанием  $^{241}\text{Am}$  до 2,3 Бк/кг;  $^{137}\text{Cs}$  до 53 Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  до 24 Бк/кг, образовавшиеся в результате выпадений от ядерных испытаний. Для питьевых и подземных вод характерно содержание радионуклидов на уровнях много ниже уровней вмешательства, а также ниже предела обнаружения оборудования.

Исследования радоноопасности на рассматриваемых территориях показали наличие активности радона в жилых помещениях на уровне 100-130 Бк/м<sup>3</sup>. В с. Калачи при этом в 16% случаев активность радона превышает допустимые значения для жилых помещений. В домах с высокой активностью радона значения сохраняются на уровне 900 Бк/м<sup>3</sup>. Также имеются обширные зоны с плотностью потока радона > 80 мБк/м<sup>2</sup>с, превышающей нормативы для территории, предназначенных для постройки жилых помещений.

Результаты исследований микроэлементного состава воздуха сел Долонь и Калачи показал отсутствие превышения ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе. Подземные воды на территории с. Калачи по основным химическим показателям не соответствуют нормам Санитарных правил. Исследования в с. Долонь в летний и зимний сезоны показали, что в отопительный сезон отмечается повышение содержания U, Be, Ge и Cd. Концентрация микроэлементов в питьевой воде с. Долонь в основном не превышает ПДК, за исключением нескольких проб с повышенным содержанием Mn и Fe. Содержание Mn выше ПДК в 4,3 раза.

Наблюдения за газовым составом атмосферного воздуха в жилых помещениях показали повышение концентрации угарного газа до уровня 12 мг/м<sup>3</sup> в период 2-4 часов после начала топки печи. В атмосферном воздухе села Долонь станцией непрерывного мониторинга в зимний период зарегистрированы уровни содержания угарного газа в среднем 0,7 мг/м<sup>3</sup>, в то время как в селе Калачи наблюдались более высокие значения угарного газа 2,2 мг/м<sup>3</sup> в среднем и до 16 мг/м<sup>3</sup> в среднем в периоды повышенного содержания до 2 недель. Содержание диоксида азота в с. Долонь находится на уровне 0,003 мг/м<sup>3</sup> в среднем, в с. Калачи содержание диоксида азота 0,43 мг/м<sup>3</sup> в среднем и в периоды повышенного содержания до 3 недель - 1,6 мг/м<sup>3</sup>. Количество летучих органических соединений в с. Долонь составляет 1,6 мг/м<sup>3</sup>, в с. Калачи - 0,02 мг/м<sup>3</sup>. Содержание сероводорода в с. Долонь зафиксировано в среднем 0,12 мг/м<sup>3</sup>, в то время как в с. Калачи - 0,02 мг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, в селе Калачи можно выделить фактор повышенной радоноопасности территории, а также наличие газового загрязнения атмосферного воздуха с периодами повышенных значений до 2-3 недель. Данный факт позволяет говорить о возможном наличии дополнительных источников газового загрязнения атмосферного воздуха.

ОБ ИЗМЕРЕНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  $\beta$ - И  $\gamma$ -ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ

Сапожников Ю.А. <sup>1</sup>, Травкина А.В. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Химический факультет Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
<sup>2</sup> Институт Геохимии и Аналитической Химии им. В.И. Вернадского, Москва, Россия

Морская вода (МВ) является природной излучающе-поглощающей средой, в которой присутствуют как природные, так и техно-генные радионуклиды. Из природных  $\beta$ - $\gamma$ -излучателей доминирует  $^{40}\text{K}$ , испускающий  $\beta$ -излучение с максимальной энергией 1,33 МэВ, и  $\gamma$ -кванты с энергией 1,46 МэВ. Заметный вклад в радиоактивность МВ вносят и радионуклиды уранового ( $^{238}\text{U}$ ) и ториевого ( $^{232}\text{Th}$ ) рядов. Из техногенных радионуклидов наиболее значимыми  $\beta$ - $\gamma$ -излучателями являются  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , поступившие в МВ, главным образом, в результате испытаний ядерного оружия в атмосфере и аварийных ситуаций (например, на АЭС Дайичи в Фукусиме, Япония).

Удельная активность природного  $^{40}\text{K}$  в океанической воде составляет около 33 Бк/л, что существенно затрудняет измерение низкоэнергетических  $\beta$ - $\gamma$ -излучателей в МВ с использованием погружаемой аппаратуры.

Погружаемые  $\gamma$ -спектрометры, появившиеся в 50-е годы и принципиально не изменившиеся до сих пор, основаны на использовании сравнительно крупных сцинтилляционных кристаллов  $\text{NaI(Tl)}$  или  $\text{CsI(Tl)}$ , работающих в непосредственном оптическом контакте с ФЭУ соответствующего диаметра. За время, прошедшее с середины прошлого века, электроника существенно шагнула вперед. Однако, характер информации, поступающей от обычного погружаемого детектора, полностью определяется парой «сцинтиллятор-ФЭУ» и до сих пор не изменился. Эффективность работы этой пары, основанная на регистрации взаимодействий  $\gamma$ -квантов с материалом сцинтиллятора по механизму фотоэффекта, быстро снижается с ростом энергии регистрируемых квантов.

Кривая зависимости логарифма эффективности регистрации  $\gamma$ -излучения от логарифма энергии  $\gamma$ -квантов проходит через максимум в районе 50-200 кэВ (в зависимости от материала и размеров сцинтиллятора). При энергиях  $\gamma$ -квантов, лежащих в «закалийной» области ( $E_\gamma > 1,46$  МэВ) эффективность их регистрации снижается на полтора-два порядка по сравнению с максимумом.

В настоящей работе описываются попытки реализовать такие процессы измерения  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучений, эффективность регистрации которых возрастает с ростом энергии  $\beta$ -частиц или  $\gamma$ -квантов.

Первой была показана возможность регистрации высокоэнергетического (ВЭ)  $\beta$ -излучения по генерируемому им в водной среде черенковскому излучению. Был разработан проточный черенковский детектор для регистрации содержащихся в воде ВЭ  $\beta$ -излучателей. Он был испытан с использованием облученного нейтронами водного раствора хлорида натрия. С высокой эффективностью были зарегистрированы  $^{38}\text{Cl}$ ,  $^{24}\text{Na}$  и  $^{32}\text{P}$ .

Естественно, непрерывность спектров  $\beta$ -излучения и сравнительно узкий диапазон амплитуд черенковского излучения в этом детекторе затрудняли идентификацию отдельных радионуклидов.

Единственным процессом, вероятность которого увеличивается с ростом энергии  $\gamma$ -квантов, является образование электронно-позитронных пар. Установки, в которых реализуется эта возможность, отличаются весьма низкой эффективностью, т.к. в них пучок ВЭ  $\gamma$ -излучения проходит через коллиматор, предельно снижающий геометрический коэффициент системы, на сравнительно небольшой центральный кристалл, где, собственно, и происходит процесс образования ЭПП, а большие боковые кристаллы, предназначенные для регистрации аннигиляционных квантов приходится окружать мощной свинцовой защитой для предотвращения попадания в них первичных  $\gamma$ -квантов.

Разработанная вторыми конструкция парного спектрометра с пластинчатыми детекторами показала возможность создания компактного прибора для регистрации ВЭ  $\gamma$ -квантов, эффективность которого определяется общей массой используемых сцинтилляционных пластин, т.е. в принципе может достигать достаточно высоких значений.

Таким образом, возможности погружаемой аппаратуры для измерения радиоактивности МВ далеко не исчерпаны.

ОПТИМИЗАЦИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОБАХ ПОЧВ И ДОННЫХ ОСАДКОВ

Сапожников Ю.А.<sup>1</sup>, Травкина А.В.<sup>2</sup>, Сапожникова Л.Д.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Химфак Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт Геохимии и Аналитической Химии им. В.И. Вернадского, Москва, Россия

При  $\gamma$ -спектрометрических измерениях проб таких природных материалов как почвы или донные осадки озер и морей в их  $\gamma$ -спектрах наблюдаются как линии, принадлежащие отдельным радионуклидам с простыми схемами распада (например, природный  $^{40}\text{K}$  или техногенный  $^{137}\text{Cs}$ ), так и многочисленные линии природных радионуклидов урановых ( $^{238}\text{U}$  и  $^{235}\text{U}$ ) и ториевого ( $^{232}\text{Th}$ ) рядов.

Калибровка  $\gamma$ -спектрометрической аппаратуры выполняется с использованием сертифицированных стандартов. В данной работе в качестве эталонного материала применялся почвенный стандарт Международного Агентства по Атомной Энергии (МАГАТЭ) №447 (Radionuclides in moss-soil) от 15 ноября 2009 г.

В случае  $\gamma$ -эмиттеров с простым спектром сравниваются интенсивности пиков стандарта и измеряемой пробы в соответствующих условиях измерений.

$^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  являются родоначальниками радиоактивных рядов, и в спектрах многих природных объектов наблюдается достаточно много  $\gamma$ -линий, в том числе и генетически связанных радионуклидов.

Кривая зависимости логарифма эффективности регистрации (ЭР) от логарифма энергии  $\gamma$ -квантов проходит через максимум при энергиях 50-200 кэВ (в зависимости от материала и размеров детектора). Далее с увеличением энергии  $\gamma$ -квантов наблюдается практически линейный участок зависимости  $\text{Lg}I_n$  от  $\text{Lg}E_\gamma$ , (где  $I_n$  – скорость счета импульсов в данном пике, и  $E_\gamma$  – энергия  $\gamma$ -квантов в этом пике).

При измерениях активности реальных проб должны учитываться поправки, связанные с использованием препаратов различной массы. Как правило, для облегчения оценки этих поправок пробы помещаются в пластиковые сосуды цилиндрической формы. При этом совокупность поправок, связанных с различиями в массах препаратов, определяется простой эмпирической зависимостью.

Ядерно-физические свойства членов рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  существенно различаются, так что при оценке абсолютных активностей измеряемых радионуклидов возникает вопрос о выборе  $\gamma$ -линий для выполнения расчетов.

Предпочтение обычно отдается в ряду  $^{238}\text{U}$ :  $^{214}\text{Pb}$  (295,18 кэВ, 351,93 кэВ) или  $^{214}\text{Bi}$  (609 кэВ, 1120 или 1763 кэВ); а в ряду  $^{232}\text{Th}$ :  $^{212}\text{Pb}$  (238,8 кэВ),  $^{228}\text{Ac}$  (338,3 кэВ),  $^{208}\text{Tl}$  (583 и 2614 кэВ). Однако, выбор той или иной  $\gamma$ -линии не всегда достаточно аргументирован.

Перед измерением пробы подвергаются сушке, измельчению и переносу в специальные сосуды для  $\gamma$ -спектрометрических измерений. Во время этих манипуляций возможна потеря части радона, после чего требуется время для восстановления состояния радиоактивного равновесия между исходными радионуклидами и теми членами цепочек распада, по которым будут выполняться количественные оценки концентраций радионуклидов.

В целом формы  $\gamma$ -спектров совокупности природных радионуклидов в реальных пробах визуально напоминают форму кривой зависимости ЭР детектора от энергии  $\gamma$ -квантов в логарифмических координатах. Аналогичные кривые получаются и при измерении стандартов. По результатам измерения стандартного препарата МАГАТЭ №447 были построены кривые зависимости ЭР для радионуклидов из рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  и рассчитаны значения ЭР для каждой  $\gamma$ -линии.

Очевидно, при делении регистрируемых в данных условиях скоростей счета  $\gamma$ -линий препарата на ЭР для этих энергий  $\gamma$ -квантов, соответствующих линейному участку кривой зависимости ЭР  $\gamma$ -квантов от энергии, получается прямая линия, параллельная оси абсцисс (в координатах  $\text{Lg}E_\gamma - \text{Lg}I$ ). Ее ордината соответствует логарифму абсолютной активности измеряемого  $^{238}\text{U}$  или  $^{232}\text{Th}$ . При этом погрешность определения активности исходного радионуклида определяется как функция погрешностей измерений интенсивности отдельных  $\gamma$ -линий.

При обработке спектров проб донных осадков строились отдельные кривые для  $\gamma$ -линий семейств  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$ . Полученные значения скоростей счета с учетом вероятности испускания  $\gamma$ -квантов данной энергии и поправок, связанных с конкретными условиями измерений, делились на значения ЭР для каждой из определяемых энергий.

По полученным точкам строились прямые, параллельные оси абсцисс в координатах  $\text{Lg}(I) - \text{Lg}(E_\gamma)$ , пересекающие ось ординат при значениях, соответствующих логарифмам значений абсолютной активности исходного радионуклида.

Таким образом, предлагаемый подход позволяет наиболее достоверно оценить концентрации природных радионуклидов рядов  $^{238}\text{U}$  и  $^{232}\text{Th}$  в почвах и донных осадках озер и морей.

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПРИМЕРЕ РУ БН - 350**

*Макарова В.А., Севериненко М.А., Полешко А.Н., Космынина А.М.*

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

В процессе радиоэкологического обследования территорий выведенной из эксплуатации реакторной установки БН-350 в г. Актау оценивалось влияние реакторной установки на окружающую среду за период ее эксплуатации 1972-1998 гг.

На основании имеющихся архивных материалов о количестве газоаэрозольных выбросов и о радионуклидном составе проб воздушных аэрозолей была проведена предварительная оценка уровня атмосферных выпадений искусственных радионуклидов на прилегающих территориях, обусловленных деятельностью РУ БН-350. Оценка проводилась с привлечением методов математического моделирования горизонтального распределения выбросов с учетом метеорологических условий данного региона для обоснования выбора площадок для детального исследования.

Моделирование выполнялось с использованием унифицированной программы загрязнения атмосферы «Эколог», реализующей принципы и положения «Методики расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий, ОНД-86». Данная методика определяет требования в части расчета концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе и утверждена в Республике Казахстан.

Расчет выполнялся для следующих нуклидов:  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ . Расчеты показали, что максимальное значение приземной объемной активности реализуется на расстоянии 570 м в восточном и юго-восточном направлении от выбросных труб реактора; наибольший вклад вносит  $^{137}\text{Cs}$ .

На основании результатов моделирования был осуществлен выбор трех площадок, расположенных на различном удалении от РУ БН-350. В пределах площадок в процессе полевых работ выполнен отбор поверхностных проб почвы и проведены аналитические исследования.

С целью сравнения характера горизонтального распределения  $^{137}\text{Cs}$  на исследуемых площадках по данным моделирования и по результатам определения концентрации  $^{137}\text{Cs}$  в почве выбранных площадок были построены кривые изменения значений приземной объемной активности и удельной активности в почве. В результате сравнения модельные и экспериментальные данные показали удовлетворительную сходимость, что подтверждает надежность выполненного моделирования.

В связи с тем, что после остановки реактора в рамках мероприятий по выводу БН - 350 из эксплуатации планируются работы по утилизации натриевого теплоносителя первого контура для учета влияния на окружающую среду этих работ выполнена корректировка ранее созданной модели распределения радиоактивных выбросов путем включения второго источника - установки по переработке натрия (УПН). Расчеты показали, что наибольший вклад в радиоактивное загрязнение вносит источник УПН.

Таким образом, математическое моделирование позволило оценить влияние реакторной установки БН-350 как на этапе ее эксплуатации, так и в период вывода из эксплуатации. Полученные результаты свидетельствуют о том, что после вывода реактора

**ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭПР ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЕВОДОРОДНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РК**

*Середавина Т.А., Рухин А.Б., Сушкова Н.С., Мукан Ж.К.*

Институт ядерной физики, Алматы, Казахстан

В докладе приведены результаты исследования возможностей метода ЭПР для выявления и оценки содержания ряда ценных примесных элементов в ископаемом сырье Республики Казахстан и продуктах его переработки. С ростом интереса к редким и ценным элементам, добываемым в РК, обусловленного расширением сферы их применения, растут требования к эффективности применяемых методов анализа.

ЭПР (электронный парамагнитный резонанс), обладая высокой чувствительностью, позволяет также определять формы вхождения ряда элементов, уточняя и/или дополняя другие спектральные методы, что обусловило применение его для разведывательной геологии.

При исследовании методом ЭПР образцов углеводородного сырья, продуктов радиационной и химической обработки, технологических и модельных образцов в спектрах ископаемых углеводородов нефти и углей наблюдали суперпозицию синглетных и дублетных сигналов ЭПР при g-факторе  $\sim 2,0$  со сверхтонкими структурами (СТС) из 6-ти или 8-ми линий, часто на фоне широких линий ферромагнитного резонанса. В высоковязких нефтях РК ванадий является одним из основных ценных компонентов. Для оценки содержания



ванадия (+4), связанного в порфириновых комплексах в форме ванадил-иона  $[VO]^{2+}$ , были приготовлены калибровочные образцы на основе нефти и облученного битума, в спектрах ЭПР регистрировали 8-линейчатую СТС с константой  $\sim 5\text{мТл}$ , так как ванадий имеет ядерный спин  $I=7/2$ .

Для ЭПР-характеристики изучаемых образцов выбрана наиболее интенсивная компонента СТС  $g \parallel = \sim 2,003$ , соответствующая  $M=+1/2$ . С ростом дозы отмечена тенденция к снижению интенсивности, что может быть связано с перезарядкой части ванадия и переходом в нерастворимый оксид  $V_2O_5$ . В облученных  $\geq 100$  кГр битумах из-за сшивки органических компонентов вследствие ограниченной молекулярной подвижности содержание ванадия может оставаться стабильным.

Изучены спектры ЭПР природных и модельных алюмосиликатных образцов с добавками церия, лантана и европия при температурах от 273К до 77К. Церий  ${}_{58}\text{Ce}^{140}$  (+3) с ядерным спином  $I=0$  дает синглет, расщепленный вследствие неэквивалентных кристаллографических позиций. Под влиянием ядерных спинов соседних атомов в спектрах ЭПР церия (+3) наблюдали расщепление СТС. В спектрах минеральных проб из месторождений РК обнаружены 6-линейчатые СТС и анизотропные сигналы при  $g$ -факторах, близких к 2. Зависимость от температуры, мощности СВЧ была аналогична наблюдаемой в модельных образцах с содержанием редкоземельных элементов, анализ подтвердил наличие РЗЭ в изученных пробах.

Таким образом, изучение спектров ЭПР модельного ряда образцов с известным содержанием редких и ценных элементов (V, Ce, Eu и др.) использовано как основа для выбора критериев их обнаружения по проявлениям в ЭПР-спектрах природных образцов.

## КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (2009-2016)

*Стрильчук Ю.Г., Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан  
[stirlichuk@nnc.kz](mailto:stirlichuk@nnc.kz)

Национальным ядерным центром Республики Казахстан в течение 2009-2016 годов были выполнены работы по комплексному радиоэкологическому обследованию территории СИП площадью 9 210 км<sup>2</sup> (50%). Объектами исследований являлась природная среда: почвенно-растительный покров, водная и воздушная среды, животный мир, сельскохозяйственная продукция. По результатам проведенных исследований выполнена оценка дозовых нагрузок на население, которое в дальнейшем может проживать на данной территории.

Методика и объемы исследовательских работ за период исследований, в целом, остались неизменными. Тем не менее, по сравнению с начальными этапами комплексного экологического обследования полигона были добавлены новые виды работ. Так, наличие радиационно-опасных техногенных объектов, таких как могильники радиоактивных отходов, обусловило проведение работ по дешифрированию космоснимков с целью обнаружения всевозможных техногенных объектов с последующим их полевым обследованием. Также в исследования были включены работы по оценке ДПР радона и торона в воздухе и воде. Были проведены специальные исследования по изучению коэффициентов перехода радионуклидов из почвы в различные виды растительности, из почвы и растений в продукцию растениеводства и животноводства, форм нахождения радионуклидов в почвах СИП и распределения в почвенных фракциях. Были усовершенствованы методики оценки дозовых нагрузок на человека, в случае его проживания и ведения какой-либо деятельности на территории СИП.

Проведенные исследования показали схожесть характера радионуклидного загрязнения условно «фоновых» территорий на всей территории СИП по следующим важным параметрам: соотношение концентраций основных искусственных радионуклидов  ${}^{239+240}\text{Pu}$ ,  ${}^{241}\text{Am}$ ,  ${}^{90}\text{Sr}$ ,  ${}^{137}\text{Cs}$ , их вертикальное распределение в каштановых почвах, распределение по гранулометрическим почвенным фракциям, формы нахождения, коэффициенты перехода в растения. Исследования этих характеристик являются необходимыми стадиями при оценке радиоэкологического состояния каких-либо объектов или территорий. Эти данные позволяют при проведении дальнейших исследований территории СИП значительно сократить, либо исключить указанные виды работ, а для оценки радиоэкологической обстановки использовать ранее полученные параметры.

По результатам обследования определено, что территории общей площадью 8817,05 км<sup>2</sup> являются чистыми и пригодными для ведения хозяйственной деятельности, территория с повышенным содержанием техногенных радионуклидов площадью 371,44 км<sup>2</sup> может быть передана для промышленного использования. Радиоактивно загрязненные участки, расположенные в пределах «могильника», площадок «4а» и «Телькем», части русла ручья Узынбулак, площадью 21,5 км<sup>2</sup> должны остаться в составе земель запаса.

**РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ  
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ  
«КАРАЖЫРА»**

Субботин С.Б. <sup>1</sup>, Лукашенко С.Н. <sup>1</sup>, Зеленский К.Л. <sup>1</sup>, Романенко В.В. <sup>1</sup>, Мельничук М.А. <sup>1</sup>, Супрунов В.И. <sup>1</sup>, Тюрин В.М. <sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Республика Казахстан,  
<sup>2</sup>АО «Каражыра LTD», г. Семей, Республика Казахстан

После закрытия Семипалатинского испытательного ядерного полигона стала рассматриваться возможность мирного хозяйственного использования его территории. По результатам разведки и радиоэкологической оценки было дано заключение о возможности безопасной отработки месторождения каменного угля «Каражыра», расположенного на территории полигона.

Результаты радиоэкологических исследований в районе месторождения «Каражыра» позволяют утверждать, что по всем параметрам радиационного контроля ситуация на участке в данный момент представляется благополучной. Дозы, полученные персоналом от внешнего гамма-излучения, не превышают допустимых уровней.

Однако стоит учитывать, что разрабатываемое месторождение находится в непосредственной близости от мест проведения подземных ядерных испытаний и миграция техногенных радионуклидов в подземных водах месторождения будет усиливаться по мере разработки месторождения.

В настоящее время результаты лабораторных анализов подземных вод на содержание (<sup>137</sup>Cs, <sup>241</sup>Am, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu) устойчиво показывают отсутствие сверхнормативных концентраций данных радионуклидов. В тоже время мониторинг подземных вод на территории земельного отвода, на некоторых участках месторождения показал наличие повышенных значений трития.

По данным о содержании трития в растениях установлено, что в настоящее время источником радиоактивного загрязнения являются зоны подземного ядерного взрыва, проведенного в «боевой» скважине 1071, находящейся в 3 км от действующего карьера. Поток загрязненных тритием подземных вод перемещается в сторону действующего карьера.

В создавшейся обстановке, в качестве защитного сооружения принято решение по оборудованию дополнительного пруда-накопителя, создающего "купол рассеяния" подземных вод на пути перемещения загрязненного потока. В докладе представлены результаты анализа эффективности данного способа защиты.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В  
ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

*Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатова, Казахстан

В настоящее время проблему радионуклидного загрязнения почвы можно считать одной из ключевых в радиоэкологии, так как почва – это первичное звено в биологической цепочке. Исследования по содержанию трития (<sup>3</sup>H) в почве на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) проводятся с недавнего времени (с 2011г).

Проводимые в настоящее время исследования <sup>3</sup>H в почвах СИП заключаются в определении содержания <sup>3</sup>H в свободной воде грунтов и определении содержания прочносвязанного <sup>3</sup>H. Основными методами, применяемыми для этого, являются метод дистилляции и метод автоклавного разложения.

Для оценки достоверности проводимых исследований и используемых для этого методов возникла необходимость в проведении ряда экспериментов. Проведенные экспериментальные работы использовались как для оценки метода дистилляции, так и для оценки метода автоклавного разложения.

Сущность экспериментальных работ заключалась в оценке полноты извлечения <sup>3</sup>H. В ходе эксперимента в фоновый образец вносился модельный раствор с известной концентрацией <sup>3</sup>H с последующим его извлечением вышеописанными методами. Внесение модельного раствора проводилось в образцы с различной матричной структурой. В качестве которых использовались: «фоновая» почва, SiO<sub>2</sub> (песок) и NaCl, для метода автоклавного разложения – «фоновая» почва, цеолит, модельный образец (без использования матричной структуры). Модельный раствор готовился с удельной активностью <sup>3</sup>H порядка 100, 1000, 10 000 и 100 000 Бк/л. На каждой из стадий эксперимента проводился холостой опыт. Все эксперименты проводились в трёх повторностях.

Одним из этапов экспериментальных работ являлось детальное исследование полноты извлечения <sup>3</sup>H методом двустадийного автоклавного разложения. Для данного эксперимента использовались образцы почвы

радиационно-опасных участков СИП, определение начального содержания  $^3\text{H}$  в которых проводилось методом окислительного сжигания на приборе SAMPLE OXIDIZER. Эксперимент заключался в определении содержания  $^3\text{H}$  в три стадии. На первой стадии определялось содержание  $^3\text{H}$  в почве методом автоклавного разложения с последующей нейтрализацией и дистилляцией. На второй стадии определялось остаточное содержание  $^3\text{H}$  в сухом остатке (после дистилляции) посредством его растворения дистиллированной водой с последующей дистилляцией. На третьей стадии определялось содержание  $^3\text{H}$  в сухом остатке (после растворения и дистилляции) методом повторного автоклавного разложения.

В результате проведенных экспериментальных работ установлена оценка эффективности каждого из методов. В ходе метода дистилляции процент извлечения введенного модельного раствора составил 70 – 98 %. В ходе оценки метода автоклавного разложения процент извлечения введенной активности составил 27 – 48 %. Низкий процент извлечения  $^3\text{H}$  методом автоклавного разложения, вероятно, связан с потерями  $^3\text{H}$  при нейтрализации и дистилляции полученных в ходе автоклавирования образцов. При этом существенного влияния использованной матричной структуры на извлечение  $^3\text{H}$  не отмечается.

Результаты двустадийного автоклавного разложения показали, что существенная часть ( $\approx 99,5\%$ )  $^3\text{H}$  выделяется из почвы на первой стадии автоклавного разложения. Оставшаяся часть  $^3\text{H}$  содержится в сухом остатке, извлечение которого проводилось на второй стадии. Содержание  $^3\text{H}$  на третьей стадии не зафиксировано.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют об эффективности метода дистилляции. При использовании метода автоклавного разложения рекомендуется при расчетах ввести поправочный коэффициент, учитывающий потери  $^3\text{H}$ .

#### **К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГАЗОВЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В СЕЛЕ КАЛАЧИ**

*Супрунов В.И., Субботин С.Б.<sup>1</sup>, Зеленский К.Л., Романенко В.В., Мельничук М.А.*

<sup>1</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Республика Казахстан

Результаты исследования качества атмосферного воздуха села Калачи показали, что существуют определенные моменты времени, в которые состав атмосферного воздуха в селе значительно изменяется.

Проведено сравнение динамик составов атмосферного воздуха в селе Калачи и в селе Долонь. Обнаружено, что в определенные моменты времени содержание кислорода, ЛОС, угарного и углекислого газов в атмосферном воздухе села Калачи аномально выходят за границы отклонений, зафиксированных в атмосферном воздухе села Долонь.

В рамках настоящего доклада представлен анализ возможных факторов, связанных с особенностями геологического строения данной территории, способных повлиять на состав атмосферного воздуха.

В окрестности села Калачи с 1960 по 1990 гг разрабатывалось урановое месторождение гидротермального происхождения. Результаты анализа материалов изученности гидротермальных урановых месторождений показывают о наличии углеродистых газов в горных породах. Изотопно-геохимические и минералогические данные указывают на их образование в едином процессе с основной рудной минерализацией из единого металлоносного флюида с формированием зонального их распределения. На детально изученных объектах установлено, что с глубиной в рудных зонах заметно снижается общая флюидонасыщенность минералов, уменьшается содержание воды, углекислого газа, при этом увеличивается содержание угарного газа, ГУВ и водорода.

Предполагается, что в настоящее время в пределах рудных тел месторождения в горных породах имеются пустоты в которых законсервированы отмеченные газы. Периодическое вскрытие данных пустот приводит к изменениям в составе атмосферного воздуха. Причиной вскрытия пустот могут служить землетрясения, в ходе которых пласты пород с пустотами испытывают переменные сжатия-растяжения. Следовательно, возможна связь между периодами аномального изменения качества атмосферного воздуха в селе Калачи и достаточно крупными землетрясениями.

Проведены выборка землетрясений с магнитудой более 5,5 баллов, произошедших в Азиатском регионе в период проведения измерений качества атмосферного воздуха в селе Калачи, и сопоставление их по времени с аномальными изменениями состава атмосферы в селе Калачи. Установлено, что во всех зарегистрированных случаях аномалий состава атмосферы непосредственно перед этим (за один-два дня) происходило крупное землетрясение.

## МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АНАЛИЗАТОРОВ СТАТИЧЕСКИХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ

Спивак-Лавров И.Ф.<sup>1</sup>, Байсанов О.А.<sup>2</sup>, Аманжол Е.А.<sup>1</sup><sup>1</sup>Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан<sup>2</sup>Военный институт Сил воздушной обороны им. Т.Я. Бегельдинова, Актюбе, Казахстан

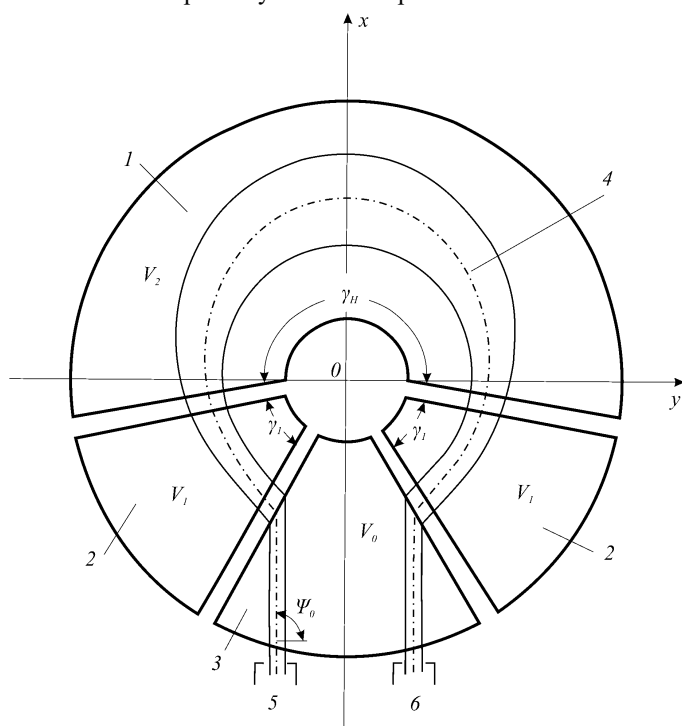
Статические секторные масс-спектрометры это, как правило, приборы с тройной фокусировкой пучка ионов – по двум направлениям и энергии. Основными элементами анализаторов этих приборов являются секторный магнит и секторное электростатическое поле цилиндрического, сферического или тороидального конденсатора.

Согласно «теореме о потоке» [1] для улучшения качества статических масс-спектрометров необходимо расширять пучок ионов перед входом в магнитное поле, увеличивая магнитный поток, пронизывающий пучок ионов. Впервые эта идея была использована в масс-спектрометре Матсуда [2], где расширение пучка перед входом в сектор магнита осуществляется с помощью системы квадрупольных линз.

Нами были предложены новые схемы анализаторов, в которых расширение пучка осуществляется электростатической призмной системой, которая также обеспечивает и фокусировку по энергии [3].

В этом плане уникальной конструкцией является конусовидная ахроматичная призма (КАП), обладающая рекордной угловой дисперсией по массе, равной примерно 50 рад. на 100% изменения массы [4]. Схема КАП в проекции на среднюю плоскость (горизонтальное направление) представлена на рисунке, где 1 – магнитные полюса призмы; 2, 3 – электроды и магнитные экраны; 4 – осевая траектория пучка ионов; 5 – источник ионов; 6 – детектор;  $V_0$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  – потенциалы электродов. Как видно из рисунка параллельный пучок ионов, входящий в КАП, сначала расширяется за счет преломления в электрическом поле, а затем снова происходит его расширение в магнитном поле КАП. Так как сектор магнитного поля в КАП больше  $180^\circ$ , поток магнитного поля, пронизывающий ионный пучок здесь очень велик.

В КАП реализуются электрическое и магнитное поля типа  $1/r$ , потенциалы которых в сферической



системе координат  $r$ ,  $\vartheta$ ,  $\psi$  зависят только от угловых переменных  $\vartheta$ ,  $\psi$ . Поэтому все траектории частиц однородного плоского параллельного пучка ионов, входящего в КАП, движутся в средней плоскости по подобным траекториям и сохраняют параллельность и на выходе из КАП, как показано на рисунке. Причем это свойство не зависит от ширины пучка в средней плоскости, поэтому увеличение ширины пучка не увеличивает aberrации КАП. В КАП также осуществляется фокусировка по энергии, а параллельность объемного пучка сохраняется благодаря ее телескопичности в вертикальном направлении. Эти свойства особенно важны при использовании КАП в призмных приборах, снабженных коллиматорной и фокусирующей линзами.

1. Гликман Л.Г., Спивак-Лавров И.Ф. // Письма в ЖТФ, 1990. том 16, вып. 13. С. 26–29.

2. Ishihara M. A., Kammei Y., Matsuda H. // Nucl. Instr. and Meth. in Phys. Res. A. – 1995. – V. 363. – P. 440–444.

3. Baisanov O.A., Doskeev G.A., Spivak-Lavrov I.F. //

Proceedings of the Seventh International Conference on Charged Particle Optics. Physics Procedia. – 2008. – V. 1. – P. 425–433.

4. Спивак-Лавров И.Ф. Призмный масс-спектрометр. Авт. св. СССР № 671582, 1979.

ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ СИЧ-Э

Тарута В.А., Фирсанов В.Б.

ФГБУ Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины  
им. А.М. Никифорова МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

При чрезвычайных ситуациях радиационного характера ведущим дозообразующим фактором, как правило, является внешнее облучение. В то же время при некоторых вариантах радиационных аварий вклад в суммарную эффективную дозу внутреннего облучения за счет инкорпорированных радионуклидов может достигать 20-25%.

Наиболее удобным, быстрым и точным способом оценки инкорпорации радионуклидов и дозы внутреннего облучения является прямое измерение содержания радиоактивных веществ в теле или органе с помощью спектрометров излучения человека (СИЧ). В 2008 г. во Всероссийском центре экстренной и радиационной медицины (ВЦЭРМ) им. А.М. Никифорова МЧС России введен в эксплуатацию высокочувствительный низкофоновый спектрометр излучений человека для экспертных обследований (СИЧ-Э). Установка предназначена для прямого измерения содержания радиоактивных веществ в организме человека - их наличия, количества и распределения по органам и тканям. Измерения проводятся в режимах линейного продольного сканирования (ЛПС) и локального детектирования (ЛД) отдельных областей и органов тела.

За прошедшее время в режиме ЛПС обследовано около 600 человек – пациентов клиники ВЦЭРМ, в том числе более 450 участников ликвидации последствий аварии на ЧАЭС.

Ни у одного из ликвидаторов в отдаленном периоде не обнаружено в организме основного дозообразующего радионуклида  $^{137}\text{Cs}$  (цезия) Чернобыльского аварийного происхождения (имеется ввиду возможная инкорпорация в период проведения работ на ЧАЭС). Что касается других долгоживущих радионуклидов, например, плутония и стронция, тропных к легочной или костной ткани, то они не определялись даже при целенаправленном ЛД грудной области, лобной кости и коленных чашечек.

В то же время, у 86 обследованных зафиксировано наличие в организме  $^{137}\text{Cs}$ . При этом, если в 2009 – 2010 гг. активность составляла от 70 до 2300 Бк (2-60 нКи), то в 2011-2015 гг. – 50 - 400 Бк. В 2016 г.  $^{137}\text{Cs}$  обнаружен у 3 ликвидаторов с активностью 50 - 100 Бк.

Как установлено, радионуклид поступал, как правило, в летне-осенний период с продуктами огородничества или грибами, собранными в западных районах Ленинградской обл., попавших в зону выпадения радиоактивных осадков после аварии на Чернобыльской АЭС. В настоящее время радиационная обстановка в этой местности в целом нормализовалась, но еще имеются участки с повышенным радиационным фоном, обусловленным содержанием в почве и растениях  $^{137}\text{Cs}$ .

У двух пациентов обнаружен  $^{226}\text{Ra}$ , а у трех – профессионалов, постоянно работающих с радиоактивными веществами в открытом виде, - выявлено содержание сложной смеси радионуклидов, включающей  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{136}\text{Ba}$ ,  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{65}\text{Zn}$ .

В 2011 г. в клинику ВЦЭРМ поступали спасатели МЧС России и граждане, находившиеся в Японии во время аварии на АЭС «Фукусима». Обследование на установке СИЧ-Э в режимах ЛПС и ЛД на область щитовидной железы не выявило в организме инкорпорированных радионуклидов, в том числе, изотопов йода.

Таким образом, обследование на установке СИЧ-Э ликвидаторов аварии на ЧАЭС, проведенное более чем через 20 лет после аварии, не обнаружило наличия у них в организме радионуклидов – последствий возможной инкорпорации в период проведения работ на ЧАЭС.

Технические возможности высокочувствительного низкофонового спектрометра излучений человека СИЧ-Э позволяют выявлять в организме человека даже следовые количества инкорпорированных радионуклидов, как отдельных, так и сложной смеси, и, таким образом, решать целый ряд задач в области радиационной медицины, радиационной гигиены, радиационной экологии, радиационной безопасности.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ПОЧВЕ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ  
ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Кабдыракова А.М., Лукашенко С.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» НЯЦ РК, Курчатов, Казахстан

При изучении механизмов образования трития ( $^3\text{H}$ ) в процессе проведения различных ядерных испытаний отмечено, что одним из важнейших путей его наработки являются нейтронно-активационные процессы. В частности, реакции активации на легких элементах, таких как Li и B, которые содержатся в почвах Семипалатинского испытательного полигона [1].

В результате проведения ядерных взрывов на территории СИП образовались отдельные участки, подвергшиеся интенсивному тритиевому загрязнению. Тритий на СИП зафиксирован в различных объектах окружающей среды: растительности, воздухе, поверхностных и подземных водах [2,3]

Исследования по изучению тритиевого загрязнения почвы на радиационно-опасных объектах СИП проводились на площадке «Опытное поле», на территории «Атомного» озера [4], на площадках «Балапан», «Сары-Узень» и «Телькем».

Целью настоящей работы являлось изучение особенностей распределения  $^3\text{H}$  в почве на РОО СИП.

Исследование распределения тритиевого загрязнения почвы на площадке «Опытное поле» проводилось в местах предполагаемых эпицентров взрывов на участках с максимальным радионуклидным загрязнением почвы, которые выбирались согласно результатам пешеходной гамма-съемки.

На территории «Атомного» озера для изучения тритиевого загрязнения проведено более детальное исследование. Содержание  $^3\text{H}$  в поверхностном слое почвы исследовалось на вершине гребня воронки и по мере удаления от воронки озера в северо-западном направлении. Так же изучалось распределение  $^3\text{H}$  по глубине почвы. Исследования проводились по профилю, заложенному в северо-восточном направлении. Почва для исследований по глубине отбиралась в процессе бурения скважин. Дополнительно было проведено исследование содержания  $^3\text{H}$  в различных гранулометрических фракциях почвы.

На площадке «Балапан» отбор проб почвы производился на приустьевых участках скважин в местах максимального загрязнения снежного покрова  $^3\text{H}$ .

Для исследования содержания  $^3\text{H}$  в почве на площадке «Сары-Узень» были выбраны скважины с нештатными радиационными ситуациями, которые внесли основное радиоактивное загрязнение этой территории.

На площадке «Телькем» исследования проводились на гребне обеих воронок («Телькем-1» и «Телькем-2»), участки отбора проб располагались равномерно по четырём света.

Все отобранные пробы почвы подготавливались методом автоклавного разложения [5]. Удельная активность  $^3\text{H}$  определялась проведением бета-спектрометрического анализа на жидкосцинтилляционном спектрометре [6]. Так же учитывая тот факт, что  $^3\text{H}$  при проведении ядерных испытаний может нарабатываться в результате реакции активации, как и европий ( $^{152}\text{Eu}$ ), таким образом все отобранные пробы почвы дополнительно анализировались гамма-спектрометрическим методом на определение  $^{152}\text{Eu}$  [7].

Проведенные исследования показали, что удельная активность  $^3\text{H}$  в почве на разных радиационно-опасных объектах СИП находится в широком диапазоне от  $< 50$  до  $190\ 000$  Бк/кг. Такой «разброс» по уровню содержания  $^3\text{H}$  предположительно связан с наличием различных механизмов его образования. Одним из таких механизмов могут являться нейтронно-активационные процессы, происходившие во время проведения ядерных испытаний. Другим механизмом может быть результат захвата  $^3\text{H}$ , который изначально имелся в заряде, мелкими почвенными фракциями при термоядерном взрыве (например, как в случае испытаний на «Атомном» озере). На некоторых участках, где присутствие продукта активации  $^{152}\text{Eu}$  в почве не выявлено (площадка «Балапан»), для определения механизма образования  $^3\text{H}$  следует проводить дальнейшие исследования для определения механизмов образования  $^3\text{H}$  в почве на данных участках.

1. Ляхова О.Н. Тритий как индикатор мест проведения ядерных испытаний/ О.Н. Ляхова, С.Н. Лукашенко, С.И. Мульгин // [Сборник трудов радиационной безопасности и экологии за 2011 г.] / под рук. С.Н. Лукашенко. – Т.1- Вып.3. - Павлодар: Дом печати, 2011.
2. Отчет о научно-исследовательской деятельности Института радиационной безопасности и экологии НЯЦ РК, выполненного по НТП "Изучение современного состояния и последствий деятельности объектов атомной энергетики Семипалатинского полигона на окружающую среду" по этапу: "Исследование экосистем, подверженных влиянию радиоактивно-загрязненных водотоков" /рук. Лукашенко С.Н.. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2009.
3. Организация системы мониторинга состояния подземных вод на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона: отчет по проекту МНТЦ К-893. (заключительный) менеджер проекта Субботин С.Б., Пестов Е.Ю.- Курчатов, 2005.

4. Тимонова Л.В. Исследование содержания трития в почве в местах проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона / Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О. // Радиационная биология. Радиоэкология. – Москва, 2015. – Том 55, №6. – С. 667-672.
5. РИ 03-02-03 (А). Подготовка проб для элементного анализа методом автоклавного разложения. – Курчатов: ИРБЭ НЯЦ РК, 2011. – С.12.
6. Качество воды – определение активности трития, соответствующей данной концентрации – жидкостной метод сцинтилляционного счета: Международный стандарт ISO 9698/1989. – Введ. 1989-12-01. – Москва: ВЦП НТЛИД, 1990. –17с.
7. МИ 2143-91 № 5.06.001.98 Активность радионуклидов в объемных образцах. Методика выполнения измерений на гамма - спектрометре. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. - Введ.1998-06-02. -1991. - 17с

### ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИЗОТОПНОЙ ГИДРОЛОГИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА

*Токтаганов Т.Ш., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Актаев М.Р.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

Метод изотопной гидрологии позволяет исследовать механизмы образования водных объектов, что в свою очередь может использоваться для идентификации происхождения радионуклидного загрязнения данных вод. Сущность метода заключается в прямой оценке происхождения и формирования воды, путем определения отношения стабильных изотопов  $^2\text{H}/^1\text{H}$  и  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ .

В данной работе представлены результаты по определению механизмов образования, а также по выявлению наличия процесса водообмена между подземными и поверхностными водами р. Шаган, площадок «Телькем» и «Дегелен», расположенных на территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона.

Р. Шаган является левобережным притоком р. Иртыш. Ранее проведенными радиоэкологическими исследованиями водной среды было обнаружено загрязнение р. Шаган радиоактивными продуктами ядерных взрывов. Для контроля и мониторинга за радиоэкологическим состоянием были проведены работы по определению механизмов формирования и водообмена между поверхностными и подземными водами р. Шаган. В результате работ определены источники и механизмы загрязнения вод р. Шаган на участках, расположенных на расстоянии 28 и 50 км вниз по течению от «Атомного» озера. Установлено, что источником загрязнения являются воды, распространенные выше по течению на участке 5 км. Механизм загрязнения данных участков обусловлен разгрузкой подрусловых вод.

Площадка «Телькем» характеризуется тем, что существует два поверхностных водоема, которые образовались в результате экскавационных взрывов. На поверхностных водах данной площадки отмечается наличие техногенных радионуклидов  $^3\text{H}$ ,  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{239+240}\text{Pu}$ . Были проведены работы по выявлению водообмена между поверхностными и подземными водами прилегающих территории. Установлено, что на территории пл. «Телькем» отсутствует водообмен между подземными и поверхностными водами. Подземные воды существенно отличаются от поверхностных вод облегченными значениями изотопов. Изотопное соотношение подземных вод изменяется по  $^2\text{H}$  от -115,9 до -140,4 ‰, по  $^{18}\text{O}$  от -19,0 до -24,8 ‰, тогда как изотопный состав поверхностных вод изменяется по  $^2\text{H}$  в диапазоне от -47,3 до -60,2 ‰, по  $^{18}\text{O}$  от -5,1 до -1,4 ‰, соответственно.

На площадке «Дегелен» основными источником загрязнения поверхностных водотоков являются воды, вытекающие из штолен, где проводились ПЯВ. Были проведены работы по определению механизмов формирования поверхностных водотоков. Установлено, что на пл. «Дегелен» воды ручьев и родников имеют питание из «боевых» штолен с водопроявлениями, за исключением двух родников №87 и 69, находящихся за границей площадки.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ**

*Торопов А.С., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП НЯЦ РК, г. Курчатов, Казахстан

Возможность переноса техногенных радионуклидов в водной среде на дальние расстояния ставит вопрос об изучении форм их нахождения. Форма нахождения радионуклидов определяет скорость и интенсивность их миграции вблизи радиационно-опасных объектов, а также влияние на состояние окружающей среды и здоровья населения. Целью данной работы было изучение форм нахождения техногенных радионуклидов в водных объектах Семипалатинского испытательного полигона (СИП) с использованием метода каскадной фильтрации. Объекты исследований были выбраны на основании анализа предыдущих работ [1]. Были изучены формы нахождения радионуклидов в воде водотоков штолен №№ 177 и 503 площадки «Дегелен», воронки В-1 площадки «Опытное поле» и озера Телкем-2.

Для выделения различных форм нахождения радионуклидов был выбран каскад из 6 фильтров: 10 мкм (предфильтрация), 1 мкм (отсекает грубые взвеси), 0,45 мкм (взвешенные вещества), 0,1 мкм (псевдоколлоиды), 0,007 мкм (крупные коллоиды), 0,003 мкм (тонкие коллоиды), фракция <0,003 мкм определялась как растворенная форма.

По величине минерализации изученные воды заметно различались между собой. Воды штольневых водотоков относятся к пресным водам, воронки В-1 – солоноватым, озера Телкем-2 – соленым. По величине рН вода изученных объектов была нейтральной либо слабощелочной.

Содержание  $^{137}\text{Cs}$  после предфильтрации (<10 мкм) в воде водотока штольни №177 составило  $5,0 \pm 0,5$  Бк/л, воронки В-1 –  $0,51 \pm 0,05$  Бк/л, в остальных водоисточниках – ниже предела обнаружения. Удельная активность  $^{90}\text{Sr}$  в воде водотока штольни №177 после стадии предфильтрации составила  $680 \pm 70$  Бк/л, штольни №503 –  $150 \pm 15$  Бк/л, озера Телкем-2 –  $190 \pm 20$  Бк/л, воронки В-1 –  $4,5 \pm 0,7$  Бк/л. Удельная активность  $^{239+240}\text{Pu}$  в воде водотока штольни №177 составила  $0,58 \pm 0,06$  Бк/л, штольни №503 –  $0,70 \pm 0,07$  Бк/л, озера Телкем-2 –  $0,35 \pm 0,03$  Бк/л, воронки В-1 –  $0,83 \pm 0,05$  Бк/л. Удельная активность  $^{241}\text{Am}$  была ниже предела обнаружения (<0,3 Бк/л) во всех изученных объектах.

Результаты эксперимента по определению форм нахождения радионуклидов в воде водотока штольни №177 показали, что в процессе ступенчатой фильтрации резкого выведения на каком-либо фильтре исследованных радионуклидов не происходит. Так, активность  $^{137}\text{Cs}$  после всего каскада фильтров сохранялась на уровне  $3,6 \pm 0,4$  Бк/л (72 % от исходного содержания),  $^{239+240}\text{Pu}$  –  $0,32 \pm 0,03$  Бк/л (55 %), колебания активности  $^{90}\text{Sr}$  – в пределах погрешности измерений. При этом на фильтрах, задерживающих частицы с размером, характерным для коллоидов (от 0,1 до 0,003 мкм), не было выявлено значимого уменьшения количества  $^{137}\text{Cs}$ . Таким образом, изученные радионуклиды в воде водотока штольни №177 площадки «Дегелен» мигрируют преимущественно в растворенной форме.

Распределение форм нахождения радионуклидов в других изученных водных объектах имело общие закономерности. Так, преобладающей формой нахождения  $^{90}\text{Sr}$  была растворенная форма, однако данный радионуклид также фиксировался в коллоидной форме в воде водотока штольни №503 (до 25 %) и в воде воронки В-1 (до 45 %). В воде воронки В-1  $^{137}\text{Cs}$  фиксировался во взвешенной и коллоидной формах, на долю растворенных форм приходилось 26 % от суммы всех форм нахождения.

Распределение форм нахождения  $^{239+240}\text{Pu}$  было индивидуальным для каждого объекта. Однако общей тенденцией было уменьшение удельной активности данного радионуклида в процессе каскадной фильтрации примерно в 10 раз. Так, доля растворенных форм  $^{239+240}\text{Pu}$  для изученных водных объектов, за исключением воды водотока штольни №177, составляла от 7 до 12 %. Доля взвешенных форм данного радионуклида изменялась от 25 до 57 %, псевдоколлоидных – от 20 до 30 %, коллоидных – от 7 % в случае воды воронки В-1 до 74 % для воды водотока штольни №503.

Таким образом, данные о формах нахождения техногенных радионуклидов в воде могут в дальнейшем послужить основой для разработки практических рекомендаций по оценке радиоэкологического состояния СИП, прогнозирования уровня содержания и миграции радионуклидов в компонентах экосистем на СИП и близлежащих территориях.

1. Программа целевого финансирования МОН РК 0122/ПЦФ-14. Разработка новых функциональных материалов на основе полиэтилентерефталатных и поликарбонатных трековых мембран, проведение фундаментальных и опытно-конструкторских исследований по применению новых типов и видов мембран [Текст]: отчет о НИР за 2015 г. – (промежут.) /рук. К.К. Кадыржанов. № ГР 0115РКО2950. – 189 с.



РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА В РАЙОНЕ БЫВШЕГО УРАНОВОГО РУДНИКА КАДЖИСАЙ (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА)

Тузова Т.В.

Институт водных проблем и гидроэнергетики НАН КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В урочище Каджи-Сай на северном берегу оз. Иссык-Куль во второй половине прошлого века из бурых углей велась добыча урана. В настоящее время рудник закрыт, на его хвостохранилище велись наблюдения за выносом урана прибрежными водами в Иссык-Куль по Европейскому проекту (APELIK) «Оценка и прогноз изменений окружающей среды в озере Иссык-Куль» (2000-2003 гг.) и по проекту МНТЦ КР. 330.3 «Изучение водного баланса и гидродинамики озера Иссык-Куль изотопными методами» (2003-2005 гг.). Было показано [1,2] обогащение ураном вод, вытекающих из-под хвостохранилища.

В 2015 г. нами исследован изотопный состав урана в поверхностных и подземных водах этого региона (Рис.1). По уран-изотопной диаграмме (Рис.2) выявлено три генетических типа вод: воды глубинной циркуляции с ультранизкими концентрациями урана  $C$  и максимальным по альфа-активности соотношением его изотопов  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$ ; обогащенные ураном воды с равновесным соотношением  $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$  и воды активного водообмена с промежуточными значениями этих параметров. Рассчитаны пропорции смешения вод этих типов в водоисточниках региона. Установлено, что питьевые воды пгт Каджи-Сай лишь на 5-7 % состоят из вод, обогащенных ураном, преимущественную часть (60-80%) составляют воды глубинной циркуляции, вполне пригодные для питья. Однако воды, вытекающие из-под хвостохранилища по ручью Джилису, обогащены ураном выше предельно допустимых концентраций. Показана необходимость постановки регулярных наблюдений за радиологическим состоянием вод этого ручья, поскольку они попадают в оз.Иссык-Куль в районе курортной зоны.

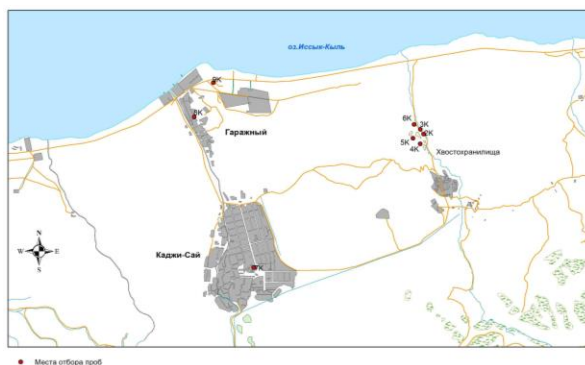


Рис.1 Схема отбора проб воды в пгт Каджи-Сай и прилегающей агломерации

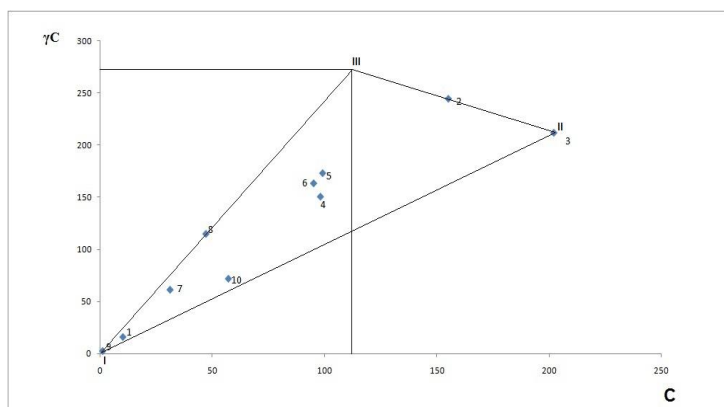


Рис.2 Уран-изотопная диаграмма генетического состава вод в районе Каджи-Сая

1. Матыченков В.Е., Тыныбеков А.К. Гидрохимическая и экологическая характеристика состава воды рек Южного Прииссыккуля // Тр. Кыргызского ин-та минерального сырья. – Бишкек, 2000. – С.101-110.

2. Самсонова А.А., Зубков Э.Б., Мамбеталиев Э.Дж. Результаты режимных наблюдений за содержанием урана в подземных водах в долине Джили-Булак // Изучение гидродинамики озера Иссык-Куль с использованием изотопных методов / Отв. ред. Т.В. Тузова. – Бишкек: Илим, 2005. – Часть I. – С.152-159.

**ВЫЯВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ТРИТИЕВОЙ СЪЕМКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

*Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н.*

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан  
[turchenko@nnc.kz](mailto:turchenko@nnc.kz)

По результатам ранее проведенных исследований на площадке «Балапан», в местах проведения подземных ядерных взрывов, обнаружено поступление трития в снежный покров. На боевых скважинах 1355 и 1010 выявлены повышенные концентрации трития в снежном покрове, достигающие 100 Бк/кг. Для изучения механизмов поступления трития в снежный покров, в местах с максимальными концентрациями трития, пробурены скважины и отобраны пробы почвы на глубину от 1 до 7 м. Максимальная концентрация трития в почве обнаружена на глубине 1-3 м. Таким образом, экспериментальными методами было определено, что на боевых скважинах площадки «Балапан» основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация из почвы.

В виду того, что на площадке «Балапан» расположено 121 боевая скважина, сделано предположение, что распространение трития с эпицентров подземных ядерных испытаний гораздо масштабней, чем ожидалось нами ранее. В связи с этим, возникла необходимость в разработке простого метода, который позволит выявить участки с тритиевым загрязнением для оценки поступления трития в окружающую среду.

Целью работы являлось проведение площадной тритиевой съемки на площадке «Балапан».

Данная работа включала следующие этапы:

- выявление участков тритиевого загрязнения на площадке «Балапан».
- исследование уровней содержания трития в поверхностном и приземном слое снежного покрова на эпицентрах подземных ядерных испытаний.
- оценка фоновых концентраций трития на СИП.

На площадке Балапан заложены исследовательские точки, проведен отбор проб снежного покрова и определено содержание трития в снежном покрове. Во всех исследовательских точках отбор проб снежного покрова проводился послойно (верхний и нижний слой). В снежном покрове определялся тритий в свободной воде, в растениях органически связанный тритий. Удельная активность трития определялась с использованием жидкосцинтилляционного спектрометра Quantulus 1220.

По результатам проведенных исследований выявлены участки с повышенным содержанием трития в снежном покрове. Максимальные концентрации трития обнаружены в районе «Атомного озера», вблизи месторождения Каражыра и озера «Кишкенсор», достигающие 800 Бк/кг.

Результаты проведенных исследований показали, что концентрация трития в приземном слое снежного покрова больше, чем концентрация трития в поверхностном слое. При этом средняя концентрация трития с поверхностным и приземном слое снега составляет 7,7 и 11 Бк/кг, соответственно. Таким образом, сделано предположение, что основным механизмом поступления трития в снежный покров является эманация трития из почвы.

Максимальные концентрации трития в снежном покрове обнаружены на скважинах 1010, 1355, 1366, достигающие 26 Бк/кг. Повышенные концентрации трития в снежном покрове обнаружены на боевых скважинах 1007, 1071, 1222, 1359. Вблизи этих скважин отсутствуют поверхностные водотоки, наличие трития в снежном покрове также указывает на поступление трития из почвы.

На фоновых участках СИП содержание трития в снежном покрове составляет от 3,3 до 14 Бк/кг, при этом средние концентрации трития в поверхностном слое снежного покрова больше, чем в приземном слое. Таким образом, на фоновых участках СИП поступление трития в снежный покров из почвы не обнаружено, наличие повышенных концентраций трития в поверхностном слое снежного покрова указывает на поступление трития в снежный покров атмосферным путем.

В населенных пунктах, прилегающих к СИП, повышенных концентраций трития в снежном покрове не обнаружено.

Метод площадной тритиевой съемки показал хорошую сходимость с результатами предыдущих комплексных радиоэкологических исследований (грунтовые воды, растения, почва, почвенный воздух). Разработанный метод хорошо зарекомендовал себя для выявления участков тритиевого загрязнения в местах проведения ядерных испытаний.

Данный метод является достаточно дешевым в материальном плане и простым в реализации. Метод можно использовать для идентификации мест проведения ядерных испытаний (инспекция на месте) ОДВЗЯИ.

**ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТОВ ПО РАДИОЭКОЛОГИИ**

*Филиппова Л.Н., Моренко В.С., Сляднева В.Н., Суздальцева Т.В.*

Институт Ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан

В республике Казахстан стартовала государственная программа «Цифровой Казахстан». Основная цель программы – повышение качества жизни населения посредством прогрессивного развития цифровой экосистемы и конкурентоспособности экономики Казахстана.

Республика Казахстан является уникальным государством, сочетающим свой современный безъядерный статус с серьезным ядерным прошлым. На территории РК повсеместно расположено большое количество радиационно-опасных объектов различного типа: места проведения ядерных испытаний, исследовательские и энергетические ядерные установки, предприятия и объекты уранодобывающей и перерабатывающей отрасли, нефтепромыслы. Поэтому информация о радиозоологической ситуации в республике очень востребована поскольку существует повышенный уровень радиофобии населения и общее негативное отношение ко всем видам деятельности, связанной с использованием атомной энергии.

В процессе своей деятельности институт Ядерной физики накопил большие объемы данных в области радиозоологии, хранящие в себе большие потенциальные возможности по извлечению полезной аналитической информации. Для обеспечения возможности анализа данных их необходимо не только иметь, но иметь в удобной для манипулирования цифровой форме. При этом они должны быть организованы в виде хранилища информации обеспечивающих возможность быстрого поиска и оперативного анализа для принятия управленческих решений.

В ЦКЭИ ИЯФ разработаны и функционируют несколько баз данных, отличающихся своей тематикой, предназначением и способом подачи информации.

ПАСПОРТ МОНИТОРИНГА ЛИРА разрабатывался для отслеживания результатов мониторинга на объектах «Лира», которые представляют собой шесть подземных резервуаров на глубине 1000 м, созданных ядерными взрывами на территории Карачаганакского нефтегазоконденсатного месторождения. Эти резервуары, а также прилегающие к ним территории являются объектами долгосрочного комплексного мониторинга, который с 1998 года осуществляет Институт ядерной физики и его Аксайский филиал.

В 2001 на основании большого объема исследований была разработана и создана научно-обоснованная комплексная система мониторинга прилегающих территорий Объектов ЛИРА, дающая возможность получения системной информации, проведения оперативных мероприятий и прогнозирования экологического состояния объектов.

ЭЛЕКТРОННЫЙ АРХИВ ЛИРА был создан в 2007 году. К этому времени количество текстовых и графических материалов, созданных при работах по проекту, а также архивных документов, созданных сторонними организациями до 1998 года, насчитывало несколько тысяч единиц. Информация была разобщена, размещена у каждого исполнителя на персональном компьютере, поиск нужного документа сопровождался большими трудозатратами и не всегда приводил к желаемому результату. Назрела острая необходимость объединения, систематизации и обеспечения сохранности накопленной информации в единой базе данных.

ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА ДАННЫХ ПО ПОЛИГОНУ АЗГИР содержит информацию о мониторинге бывшего ядерного полигона АЗГИР. База создавалась с целью систематизации и объединения в одном формате результатов радиозоологических исследований разных лет. База включает числовые данные, картографическую информацию и фотодокументы. База периодически модернизируется и обновляется.

ГИС ПРОЕКТЫ «ЛИРА» и «АЗГИР» разрабатывались для визуализации данных имеющих географическую привязку на картографической основе. Созданные ГИС-проекты широко применяются для решения задач планирования и проведения радиозоологических исследований и анализа полученных результатов.

Все созданные базы данных могут быть использованы для формирования единого цифрового информационного пространства в области радиозоологии позволяющего получать оперативную информацию о радиозоологической обстановке на территории Казахстана органам государственного управления, населению, зарубежным инвесторам и туристам.

**МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ ОТ 0,03 МКЗВ/Ч С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКОВ-КОМПАРАТОРОВ**

*Лукашевич Р.В., Гузов В.Д., Верхуша Ю.А., Кожемякин В.А.*

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
г. Минск, Республика Беларусь

Измерение мощности амбиентного эквивалента дозы (МАЭД) на уровне естественного радиационного фона является одной из основных задач радиационного мониторинга, при осуществлении которого крайне важно получать информацию о малейшем превышении техногенного радиационного фона по отношению к естественному радиационному фону. В этом случае важной проблемой, которую необходимо решить при калибровке дозиметрических приборов, является нижний уровень измерительного диапазона, который должен включать значения, соответствующие естественному фону окружающей среды, т.е.  $0,05 \div 0,1$  мкЗв/ч. Для этого необходимо использовать измерительные средства, обладающие высокой чувствительностью, низким уровнем собственного фона и высокой временной стабильностью.

Использование высокочувствительных дозиметров на базе сцинтилляционных блоков детектирования становится привлекательным для оценки МАЭД ниже  $0,1$  мкЗв/ч. При том, что ГОСТ Р 8.804-2012 не оговаривает диапазон измерений ниже  $0,3$  мкЗв/ч, а стандарты МЭК 61017:2016 и МЭК 60846-1:2009 рекомендуют нижний предел диапазона измерений МАЭД при контроле радиационной обстановки в окружающей среде на уровне  $0,03$  мкЗв/ч.

В этой связи возникает потребность в калибровке дозиметров по фотонному излучению в диапазоне от  $0,03$  мкЗв/ч. Для этого необходимо метрологически обеспечить значение МАЭД на уровне  $0,03$  мкЗв/ч и выше, т.е. создать эталонное низкоинтенсивное поле фотонного излучения и экспериментально подтвердить линейность дозовой характеристики дозиметрических приборов в области  $0,03$  мкЗв/ч и выше.

Для решения этой задачи в УП «АТОМТЕХ» использовались блоки-компараторы фотонного излучения БКМГ-АТ1102 и БКМГ-АТ1106, которые были разработаны для метрологической аттестации и поверки полей гамма-излучения дозиметрических установок и источников гамма-излучения по мощности дозы. Блоки-компараторы созданы на базе серийно выпускаемых спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения со сцинтилляционными детекторами на основе NaI(Tl) кристаллов.

Исследования основных характеристик блоков-компараторов, а также калибровка по мощности кермы в воздухе в диапазоне  $0,1 - 300$  мкГр/ч были выполнены во ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» на государственных эталонах РФ.

Для выполнения калибровки в области ниже  $0,1$  мкЗв/ч, была разработана и апробирована методика калибровки блоков-компараторов в низкоинтенсивных полях фотонного излучения по мощности дозы согласно рекомендациям ИЕС 61017:2016 и ИЕС 60846-1:2009. Апробация разработанной методики калибровки блоков-компараторов согласно рекомендациям технических стандартов, была выполнена на Заславском водохранилище и в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ».

Калибровка блоков-компараторов в эталонных низкоинтенсивных полях фотонного излучения ( $0,03 - 0,1$  мкЗв/ч) была выполнена в Румынии в низкофоновой лаборатории в соляном руднике Unirea. По результатам калибровки блоков-компараторов получены свидетельства о калибровке, данные из которых используются для калибровки полей гамма-излучения по мощности дозы, создаваемых с использованием источников гамма-излучения  $^{137}\text{Cs}$  в низкофоновой камере в УП «АТОМТЕХ».

Таким образом, разработаны блоки-компараторы фотонного излучения для метрологического обеспечения калибровки высокочувствительных дозиметров на базе сцинтилляционных детекторов в полях низкоинтенсивного фотонного излучения.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  В ОТДЕЛЬНЫХ ПРОБАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

<sup>1,2</sup> Хусаинов Д.К., <sup>1,2</sup> Аманова Г.Т., <sup>1</sup> Солодухин В.П., <sup>2</sup> Матвеева И.В.

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

На территории Республики Казахстан находится большое количество месторождений урана (5 урановорудных провинций). Известно, что подземные воды этих провинций зачастую характеризуются значительным содержанием естественных радионуклидов (ЕРН) вследствие их контакта с рудными телами месторождений урана. Выход на земную поверхность таких вод как естественным путем (выклинивание), так и вследствие техногенного вмешательства (бурение), создает ситуацию повышенного риска радиационного загрязнения окружающей среды и сверхнормативного облучения проживающих на этой территории людей при бесконтрольном использовании этих вод в питьевых и хозяйственных целях.

Среди ЕРН ряда  $^{238}\text{U}$  наиболее токсичными являются  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  (“уровень вмешательства” - 0,12 и 0,20 Бк/л, соответственно [1]). В связи с этим определение их содержания в водных объектах является весьма актуальной задачей.

Работы по определению активности этих радионуклидов в пробах воды были выполнены согласно «Методике измерения активности полония-210 и свинца-210 в пробах природных (пресных и минерализованных), технологических и сточных вод альфа- бета- радиометрическим методом с радиохимической подготовкой», зарегистрированной в реестре ГСИ РК под №К7.07.00.03146-2015. Минимальное значение измеряемой объемной активности полония-210 составляет 0,01 Бк/л. Методика используется при радиэкологических, радиогидрогеологических и геологогеохимических исследованиях, а также для радиационного контроля в области природопользования и охраны окружающей среды. Радиохимическая подготовка сводится к выполнению следующих трех основных операций: 1) концентрирование пробы методом соосаждения на гидроксиде железа ( $\text{FeCl}_3$ ); 2) подготовка раствора электролита; 3) спонтанное электрохимическое осаждение на никелевой подложке.

Измерение скоростей счета альфа и бета излучения полученного счетного источника выполняется на радиометре УМФ-2000. Калибровка радиометра по эффективности регистрации выполняется с помощью эталонного источника ОСК-210, входящего в комплект методики. Далее расчет активностей выполняется относительным методом с учетом радиохимического выхода методики и периода полураспада аналитических радионуклидов.

В докладе представлены результаты анализа шести образцов подземных вод из скважин Жамбылской и Кокчетавской областей. Анализ полученных данных показывает, что значения активностей радионуклидов  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в значительной степени уступают активности исходного материнского радионуклида  $^{238}\text{U}$ . В одной пробе воды из скважины Кокчетавской области получено значение  $^{210}\text{Po}$ , превышающее уровень вмешательства. Полученные результаты подтверждают необходимость определения  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в подземных водах при проведении разведки их месторождений.

Список литературы:

1. Санитарные правила "Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов". Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года № 209. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 22 апреля 2015 года № 10774.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ  $^{210}\text{Po}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ АЛЬФА-БЕТА-РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ

<sup>1,2</sup>Хусаинов Д.К., <sup>1,2</sup>Аманова Г.Т., <sup>1</sup>Солодухин В.П., <sup>2</sup>Матвеева И.В.

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан

Большая часть Республики Казахстан характеризуется повышенным радиационным фоном почв и горных пород, преимущественно вдоль урановорудных провинций и районов. Повышение радиационного фона обусловлено внешним гамма-излучением, поступлением с воздухом, водой и пищей естественных радионуклидов уранового и ториевого рядов. Весомый вклад в общую дозу облучения местного населения вносят полоний-210 и свинец-210, являющиеся одними из наиболее радиотоксичных дочерних продуктов распада урана-238 (0,12 и 0,20 Бк/л, соответственно [1]). В связи с этим определение данных радионуклидов в объектах окружающей среды является актуальной задачей.

Объектом настоящего исследования являются объекты окружающей среды, в частности природные воды, которые характеризуются обширным радионуклидным составом вследствие процессов их миграции. В природных водах изотопы полония-210 и свинца-210 переносятся главным образом в виде твердой взвеси и коллоидных частиц, и только в кислых средах возможен перенос в растворенном виде.

В данной работе было проведено исследование по определению содержания радионуклидов  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  в природных подземных водах радиохимическим методом подготовки счетного образца при их совместном присутствии и последующем измерением его на низкофоновой установке УМФ-2000. Применение данного метода регистрации излучения обуславливается доступностью измерительной установки и простотой в работе и обслуживании, что делает его на сегодняшний день достаточно актуальным. Радиохимическая же подготовка образцов позволяет избирательно выделить необходимые для измерения радионуклиды, за счет устранения мешающих компонентов рядом проводимых действий.

Радиохимическая подготовка проб для определения  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  сводится к выполнению трех основных операций:

- концентрирование пробы методом соосаждения на гидроксиде железа (III);
- подготовка раствора электролита;
- спонтанное электрохимическое осаждение на подложке Ni-Ti.

Анализ водной пробы проводится отбором аликвоты из 1,0 дм<sup>3</sup> пробы воды.

В результате проделанной работы была выявлена возможность определения  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$  при их совместном присутствии альфа-бета-радиометрическим методом с предварительной радиохимической подготовкой счетного образца. В природных водах изотопы  $^{210}\text{Bi}$  и  $^{210}\text{Pb}$  находятся в состоянии радиоактивного равновесия, следовательно регистрация бета-излучения проводится по  $^{210}\text{Bi}$ . Это существенно упрощает анализ.

Запланированы работы по подбору оптимальных реагентов и виду применяемой подложки, в частности возможности использования Ag, Ni подложек.

При использовании Ni дисков пробу выдерживают 2-3 часа, поскольку при более длительном выдерживании поверхность Ni диска начинает частично растворяться, в результате чего слой осаждающегося полония становится менее равномерным. В случае Ag дисков возможно более длительное их выдерживание в растворе электролита.

Результаты работы ценны для дальнейшего развития и усовершенствования радиохимических методов определения радионуклидов в объектах окружающей среды. Кроме того, намечены дальнейшие работы по усовершенствованию методики определения, в частности подбору реагентов и другим методам регистрации ионизирующего излучения  $^{210}\text{Po}$  и  $^{210}\text{Pb}$ . В перспективе это намного расширит спектр применения данного метода и делает его востребованным и представляющим научный интерес.

Список литературы:

1. Санитарные правила "Санитарно-эпидемиологические требования к водоемким объектам, местам водозабора для хозяйственно-питьевых целей, хозяйственно-питьевому водоснабжению и местам культурно-бытового водопользования и безопасности водных объектов". Приказ Министра национальной экономики Республики Казахстан от 16 марта 2015 года № 209. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 22 апреля 2015 года № 10774.

ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИТЕЛЕЙ П. ДОЛОНЬ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ С УЧЕТОМ ИХ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Чердиченко О.Г., Пилюгина А.Л.

Институт общей генетики и цитологии КН МОН РК, Алматы, Казахстан  
cherogen70@mail.ru

Цитогенетическое обследование 74 жителей п. Долонь выявило  $2,7 \pm 0,19\%$  хромосомных нарушений, что достоверно выше, чем у людей из контрольной группы ( $0,87 \pm 0,1\%$ ) ( $p \leq 0,01$ ). Сравнительный анализ по типам aberrаций показал, что частота aberrаций хроматидного типа у обследованных находится практически на уровне контроля, частота aberrаций хромосомного типа превышает его в 10 раз, что свидетельствует о влиянии факторов радиационной природы. Индивидуальные колебания частот хромосомных aberrаций составили 1-7%. Цитогенетическое обследование 32 жителей п. Долонь проведенное нами в 1996 году выявило  $3,2 \pm 0,23\%$  хромосомных aberrаций ( $2,4 \pm 0,19\%$  - хромосомного типа,  $0,8 \pm 0,11\%$  хроматидного). Полученные данные свидетельствуют об отсутствии принципиальных различий между результатами полученными с разницей в 20 лет ( $p \geq 0,05$ ). Проанализировав полученные данные в плане групповой радиочувствительности не обнаружены достоверные различия по частоте aberrаций хромосомного типа между индивидуумами разных возрастов, мужчин и женщин, азиатами и европейцами.

Индивидуальная радиочувствительность жителей п. Долонь была исследована путем дополнительного *in vitro* облучения лимфоцитов их периферической крови 1 Гр  $\gamma$ -излучения на  $G_0$  стадии клеточного цикла. Радиочувствительность жителей п. Долонь в среднем по группе, была достоверно ниже  $13,57 \pm 0,40\%$ , чем у здоровых доноров  $17,0 \pm 8,4\%$ , ( $p \leq 0,01$ ), что свидетельствует об адаптированности обследуемого контингента людей.

Целью многих мониторинговых работ по цитогенетическому анализу людей подвергающихся радиационному воздействию является вопрос биодозиметрии. По частоте дицентриков и центральных колец была рассчитана средняя групповая накопленная доза радиации с использованием различных методик, которая составила  $0,09-0,15$  Гр. Особенность биологических методов, в данном случае цитогенетических, состоит в том, что оценивается реакция организма на радиационное воздействие, опосредованная специфическими характеристиками организма, в первую очередь индивидуальной радиочувствительностью. «Биологическая» доза при этом является интегральным показателем повреждающего действия радиации, поэтому при оценке индивидуальных доз необходимо учитывать индивидуальную радиочувствительность с помощью определенных поправочных коэффициентов.

На основе оценки доз с помощью хромосомных aberrаций и оценки доз излучения, полученных с помощью физических методов дозиметрии (ИРБЭ) был проведен сравнительный анализ расчета индивидуальных доз ионизирующего излучения жителей. Полученные значения корреляций свидетельствуют об отсутствии каких-либо линейных взаимосвязей между полученной дозой и данными цитогенетического обследования для жителей обследованного поселка. Однако, если разбить реакцию людей на облучение на три признака градаций (радиоустойчивые, средние радиочувствительные, радиочувствительные), то в данном случае, наблюдается достаточно высокая корреляция у обследованных жителей п. Долонь между частотой нарушений и дозой облучения у средние радиочувствительных и радиочувствительных индивидуумов  $0,70$  и  $0,55$ ;  $\beta \geq 0,999$ , соответственно. Для радиоустойчивых людей низкие значения корреляции, возможно, объясняются тем, что доза в меньшей степени будет влиять на них согласно самому определению радиоустойчивых индивидуумов.

Использован также подход оценки доз с учетом радиочувствительности основанный на применении калибровочных кривых построенных для людей с различной радиочувствительностью. Зависимость доза-эффект для лимфоцитов людей получена при  $\gamma$ -облучении с использованием источника излучения  $^{60}\text{Co}$  при мощности дозы  $0,1$  Гр/мин. В связи с этим разработаны уравнения аппроксимации линейной функции для радиочувствительных, среднечувствительных и радиоустойчивых индивидуумов. Однако с большей достоверностью для радиочувствительных и радиоустойчивых индивидуумов полученные показатели описываются уравнениями аппроксимации полиномиальной функции.

Используя данные калибровочные кривые и уравнения регрессии с некоторой долей приближения можно вычислить индивидуальные накопленные дозы. При этом, исходя из вариации частоты хромосомных aberrаций (1-7%) без учета радиочувствительности поглощенная доза облучения составляет  $0-0,3$  Гр. Учет степени радиочувствительности обследованных индивидуумов свидетельствует, что средняя поглощенная доза облучения индивидуумов в п. Долонь составляет  $0,11$  Зв (Гр), что соответствует результатам определения среднegrupповых доз облучения, рассчитанных по частоте дицентриков. Преимущество проведенных исследований и разработанных моделей заключается в том, что используя их по частоте хромосомных aberrаций можно определить индивидуальную поглощенную дозу с учетом радиочувствительности.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НЕКОТОРЫМИ ВИДАМИ ГРИБОВ В СОСНОВОМ БОРУ ПРИИРТЫШЬЯ

Шевченко Ю.С.<sup>1</sup>, Ларионова Н.В.<sup>1</sup>, Полевик В.В.<sup>2</sup>, Айдарханов А.О.<sup>1</sup>, Лукашенко С.Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

<sup>2</sup>Государственный университет им. Шакарима, Семей, Казахстан

[shevchenko@nnc.kz](mailto:shevchenko@nnc.kz)

Ленточный бор Прииртышья расположен на правобережье реки Иртыш, на территории двух областей: Восточно-Казахстанской и Павлодарской. Общая площадь ленточного бора составляет 870,5 тыс. га. В период проведения атмосферных ядерных испытаний на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) территории ленточных боров, расположенные на севере, северо-западе и западе от мест проведения испытаний, неоднократно подвергались радиоактивному воздействию. Основной вклад в радиоактивное загрязнение внесло первое ядерное испытание (29.08.49г.). Радиоактивное облако прошло в непосредственной близости от населенных пунктов Черемушки, Мостик, Долонь, Канонерка.

Один из основных продуктов пользования лесом и наиболее важный объект в аспекте радиологического мониторинга – грибы. При радиоактивном загрязнении среды грибы играют особую роль, поскольку, с одной стороны, сорбируют ряд радиоизотопов, а с другой – служат продуктом питания. Поэтому целью настоящего исследования было установить содержание техногенных радионуклидов <sup>241</sup>Am, <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>239+240</sup>Pu в грибах на данной территории. Объектами стали сыроежка (*Russula cyanoxantha*), маслёнок (*Suillus granulatus*), лисичка (*Hygrophopsis aurantiaca*), груздь (*Lactarius piperatus*), шампиньон (*Agaricus campester*), вешенка (*Pleurotus ostreatus*), валуи (*Russula foetens*), подберёзовик (*Leccinum scabrum*), подосиновик (*Leccinum aurantiacum*). Пробы отбирались в течение трех лет 2014 – 2016 гг (всего 33 пробы). Сопряженно с данными пробами отобраны смешанные образцы почвы (верхний слой 5 см). Все пробы прошли подготовку: мытье, сушку, измельчение, гомогенизацию. Определение удельной активности радионуклидов <sup>137</sup>Cs и <sup>241</sup>Am проводилось методом гамма-спектрометрии, <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu – методом радиохимического выделения с последующей бета и альфа-спектрометрией. Концентрация радионуклидов в грибах определялась в золе, с последующим пересчетом на сухое вещество. Предел обнаружения <sup>241</sup>Am и <sup>137</sup>Cs составил <0,1 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – <0,4 Бк/кг и <sup>239+240</sup>Pu – <0,02 Бк/кг. Для количественной оценки поступления радионуклидов из почвы в растения использовался коэффициент накопления (Кн) – отношение содержания радионуклида в единице массы растений и почвы соответственно.

В результате проведенного исследования установлено, что значения удельной активности радионуклида <sup>137</sup>Cs в грибах варьируют от <0,1 Бк/кг до 110±20 Бк/кг. При этом максимальные значения приурочены к территории близ села Долонь, где содержание <sup>137</sup>Cs в маслятах (*Suillus granulatus*) достигает 260±50 Бк/кг. Содержание <sup>241</sup>Am на исследуемой территории в большинстве случаев находится ниже предела обнаружения используемой аппаратуры. Количественные значения удельной активности радионуклидов <sup>90</sup>Sr и <sup>239+240</sup>Pu также в основном не установлены. Однако в единичных случаях концентрация <sup>90</sup>Sr в груздях (*Lactarius piperatus*) составляет 350±110 Бк/кг, <sup>239+240</sup>Pu в сыроежках (*Russula cyanoxantha*) – 1±0,3 Бк/кг.

Из-за отсутствия количественных величин удельной активности <sup>241</sup>Am в грибах коэффициент накопления (Кн) для данного радионуклида рассчитаны оценочно (<0,31). Значения Кн <sup>239+240</sup>Pu составляют от 0,017 до 0,17, <sup>90</sup>Sr – от <0,084 до 0,50 (в отдельных случаях превышают единицу). Наибольшие Кн отмечаются для <sup>137</sup>Cs – от 0,012 до 3,4, при этом максимальные значения достигают 12-27.

В целом полученные количественные значения удельной активности радионуклидов в грибах на исследуемой территории не превышают допустимый уровень (<sup>137</sup>Cs – 500 Бк/кг, <sup>90</sup>Sr – 50 Бк/кг). Концентрация <sup>239+240</sup>Pu и <sup>241</sup>Am в грибах не нормируется, однако, исходя из степени общей радиотоксичности каждого, можно предположить, что допустимые уровни по <sup>239+240</sup>Pu, <sup>241</sup>Am будут ориентировочно на порядок меньше, чем по <sup>90</sup>Sr (примерно по 5 Бк/кг), согласно гигиеническим нормативам «Санитарно-эпидемиологические требования к обеспечению радиационной безопасности». Следовательно, употребление грибов в пищу не представляют опасности для населения исследуемых территорий.



ИССЛЕДОВАНИЕ АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ  
ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ

Янкаускас А.Б., Ларионова Н.В., Шатров А.Н.

Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии» РГП «НЯЦ РК», Курчатов, Казахстан

В результате проведения ядерных испытаний на территории Семипалатинского испытательного полигона (СИП) сформировалось хроническое ионизирующее излучение, которое формирует дозовую нагрузку на растительные организмы, являющиеся неотъемлемой частью экосистемы. Испытания проводились не на всей территории полигона, а на отдельных экспериментальных площадках. В результате чего радионуклидному загрязнению подверглись различные типы природных экосистем. Влияние хронического ионизирующего излучения на растительные организмы изучено недостаточно полно. При том, что воздействие ионизирующего излучения как малых так и больших доз характеризуется адаптивным ответом растений на разных уровнях организации: от субклеточного до организменного. Степень негативного воздействия на растения возрастает если в окружающей среде присутствуют загрязняющие вещества разного генезиса, как, например токсические элементы. Таким образом, в качестве исследуемых территорий выбраны экспериментальные площадки СИП с различными уровнями загрязнений радионуклидной и «нерадонуклидной» природы.

В качестве объекта исследований выбраны злаковые растения: вейник (*Calamagrostis epigéjos*) на территории пл. «Дегелен», тонконог (*Koeleria cristata*) на территории пл. 4«а», тростник (*Phragmites australis*) на территории р. Шаган.

Для определения радионуклидного и элементного состава отбиралась надземная часть растений. Определение удельной активности  $^3\text{H}$  проводилось в свободной воде растений и в органической составляющей методом жидкосцинтилляционного анализа на низкофономом бета-спектрометре Quantulus 1220. Определение удельной активности радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{241}\text{Am}$  проводилось на гамма-спектрометре Canberra. Радионуклид  $^{90}\text{Sr}$  определяли на бета-спектрометре «Прогресс»,  $^{239+240}\text{Pu}$  – радиохимическим выделением с последующим измерением на альфа-спектрометре Canberra. При проведении исследования элементного состава проб использовался прибор масс-спектрометр Elan 9000 фирмы «Perkin Elmer SCIEX» с индуктивно-связанной плазмой. Оценка дозовых нагрузок внутреннего и внешнего облучения растений проводилась согласно рекомендациям публикации №108 МКРЗ.

В результате исследований установлено, что на территории пл. 4«а» значения удельной активности  $^{90}\text{Sr}$  в растениях *Koeleria cristata* составляют от  $1,8 \times 10^3$  до  $1,8 \times 10^7$  Бк/кг,  $^{137}\text{Cs}$  –  $16 \pm 3$  до  $350 \pm 70$  Бк/кг,  $^{241}\text{Am}$  –  $7,7 \pm 1,4$  до  $440 \pm 90$  Бк/кг,  $^{239+240}\text{Pu}$  –  $4,1 \pm 1,3$  до  $530 \pm 60$  Бк/кг. Наибольший вклад в формирование дозы вносит радионуклид  $^{90}\text{Sr}$  (70-80 %). При увеличении мощности дозы от 0,02 до 270 мГр/сутки наблюдается тенденция к увеличению таких анатомических параметров, как диаметр стебля (от  $790 \pm 55$  до  $1250 \pm 220$  мкм), толщина склеренхимы (от  $46 \pm 12$  до  $83 \pm 17$  мкм), толщина эпидермы (от  $6,5 \pm 1,4$  до  $10,3 \pm 2,4$  мкм) и площадь проводящего пучка (от  $2600 \pm 600$  до  $5900 \pm 1100$  мкм<sup>2</sup>).

На территории р. Шаган выявлено, что значения удельной активности радионуклида  $^3\text{H}$  в органической составляющей растений *Phragmites australis* находятся в пределах от  $230 \pm 30$  до  $2,4 \times 10^4 \pm 0,2 \times 10^4$  Бк/кг, в свободной воде от  $580 \pm 60$  Бк/кг до  $6,5 \times 10^4 \pm 0,7 \times 10^4$  Бк/кг, что соответствует значениям мощности доз от 0,1 мГр/сутки до 7,0 мГр/сутки. Наблюдается обратная зависимость анатомических параметров растения по отношению к увеличению содержания  $^3\text{H}$ . При увеличении содержания радионуклида  $^3\text{H}$  в растениях установлено значимое уменьшение таких анатомических параметров стебля, как диаметр (от  $3400 \pm 170$  до  $1700 \pm 230$  мкм), толщина склеренхимы (от  $170 \pm 25$  до  $74 \pm 21$  мкм), площадь проводящего пучка (от  $40\ 000 \pm 5700$  до  $17\ 000 \pm 2900$  мкм<sup>2</sup>). Наблюдается значимое уменьшение параметров листа: диаметр устьиц (от  $110 \pm 13$  до  $78 \pm 14$  мкм), площадь проводящего пучка 1-го порядка (от  $26\ 000 \pm 5300$  до  $13\ 000 \pm 3000$  мкм<sup>2</sup>).

Исследования *Calamagrostis epigéjos* на пл. «Дегелен» показали, что при одновременном воздействии радионуклидов и токсичных элементов на данной территории наибольшее влияние оказывают элементы, чем радионуклиды. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в исследуемых растениях варьирует от  $1,7 \times 10^3$  до  $7,3 \times 10^4$  Бк/кг,  $^{90}\text{Sr}$  –  $7 \times 10^3$  до  $9 \times 10^4$ ,  $^{241}\text{Am}$  – находится ниже предела обнаружения используемой аппаратуры. Содержание лантаноидов в исследуемых образцах превышает нормы в 30-50 и более раз, U примерно в 25-260, Li, Sr – в 10-20, Mn, Cd, Al – в 2-10 раз. Получены данные о корреляционной зависимости между отдельными анатомическими показателями и содержанием элементов Al, Be, Li, Cd, Pb и U в растениях.

Таким образом, для СИП установлено влияние различных искусственных радионуклидов и токсичных элементов на анатомическую структуру злаковых растений, в зависимости от характера загрязнения отдельных его территорий.

---

**IMPACT OF BN-350 DISCHARGES ON CONTAMINATION OF THE CASPIAN SEA**

<sup>1</sup> *Gluchshenko V.*, <sup>3</sup> *DeMuth S.*, <sup>1</sup> *Poleshko A.*, <sup>2</sup> *Ivanov A.*, <sup>2</sup> *Yakovlev I.*, <sup>1</sup> *Kharkin P.*, <sup>1</sup> *Gluchshenko G.*, <sup>1</sup> *Matiyenko L.*

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Mangystau Nuclear Power Complex – Kazatomprom, Aktau

<sup>3</sup> Los Alamos National Laboratory, USA

The BN-350 reactor was the first major nuclear power plant that has demonstrated on an industrial scale the fundamental possibility of the creation and operation of power fast reactors with sodium coolant.

Assessment of the reactor BN-350 influence on environment have been implemented within the ISTC Project K-2125 “Estimation of impact of the reactor BN-350 on the environment during its operation” under support of the US Los-Alamos National laboratory.

A sewage containing radioactive substances are formed in the reactor plant as a result of technological equipment decontamination, regeneration and washing of ion exchange filters of FA pools, wastewater sanitation gateways, special laundry and sanitary inspection rooms, as well as technological leakage of BN-350 facility and water treatment building.

The BN-350 sewage, containing radionuclides, mixed with a spent sea water and entered in the discharge channel, which is further diluted with non-radioactive waste water of nitrogen fertilizer plant and plastics factory. The sewage from the discharge channel coming into the Caracol sor, which is intermediate reservoir located along the Caspian Sea. The sor connected with the Caspian Sea by channel at a distance of 15,5 km from the mouth of the discharge channel, which is used for the release of excess water from the reservoir.

To calculate the discharges of sewage radionuclides by the discharge channel into the Caracol an archival data analysis since 1977 was performed. The total discharge for beta-decay radionuclides is 9,97 Ci, for Cs-137 is 6,93 Ci and for Sr-90 is 0,28 Ci.

In order to assess the radioecological situation a radiological examination of the Caracol sore in 2001 and 2016 was carried out. The main radioanalytical method for determining of the strontium-90 and plutonium-(239+240) was a complex radiochemical technique for determining artificial radionuclides in water, soil and sediments by preconcentration and radiochemical separation. Determination of the concentrations of gamma-emitting radionuclides Am-241, Cs-137 in picking samples was performed by instrumental gamma-spectrometric method.

As a result of analyzes of water and sediment samples from the discharge channel "Caracol" it was found that the elevated values of artificial radionuclides in surface water, soil and sediments is not fixed at present time. This demonstrates the high efficiency of actions to ensure environmental safety during operation period of the reactor facility and during of reactor facility decommissioning.

**RADIO-ECOLOGICAL SITUATION IN THE REGION OF THE REACTOR BN-350**

<sup>1</sup> *Gluchshenko V.*, <sup>1</sup> *Chakrov P.*, <sup>2</sup> *Yakovlev I.*, <sup>3</sup> *DeMuth S.*, <sup>1</sup> *Morenko V.*, <sup>1</sup> *Kharkin P.*, <sup>1</sup> *Gluchshenko G.*, <sup>1</sup> *Matiyenko L.*

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Mangystau Nuclear Power Complex – Kazatomprom

<sup>3</sup> Los Alamos National Laboratory

Fast neutron reactor BN-350 was designed for dual purpose: production of steam and plutonium generation [1]. The steam produced in the reactor was used to generate electricity (150 MW) and desalination of seawater (up to 120 000 tons/day).

The power start-up of the reactor BN-350 was made in July 1973; its design life was 20 years. The total actual reactor operation period was more than 25 years.

The study was performed to evaluate the radiological state of the reactor BN-350 site, the sanitary protection zone and the monitoring zone, including areal gamma survey, sampling of the environment objects and their laboratory radionuclide analysis. The radiation situation in the areas adjacent to the BN-350 reactor, was formed as a result of releases of radioactive gases and aerosols in the surface layer of the atmosphere and discharge of wastewater. Accordingly, the results of radionuclide analysis of soil, accumulating atmospheric radioactive fallout and the water and bottom sediments from the Karakol Shore, the wastewater was discharged to after cleaning are of particular interest.

The obtained results with high degree of reliability, suggest that all samples of environmental objects taken in the territory of the sanitary protection zone and the zone of artificial radionuclides monitoring (see. Table) correspond to the average levels of global fallout for the West Kazakhstan. The available retrospective data of emissions [2] also show that there was no exceeding of the annual permissible levels of radioactive substances in the plant emissions over the entire period of reactor operation. The volume of gas-aerosol waste released into the atmosphere was a tenth of MPE percent.

### 3. Radiation Ecology and Methods of Analysis

Table

Radionuclide	Content range in the studied samples, Bq/kg	Global fallout level (for West Kazakhstan), Bq/kg
$^{137}\text{Cs}$	$<2.1 \div 33.5$	$<0.5 \div 50$
$^{90}\text{Sr}$	$<5 \div 10.5$	$<5 \div 30$
$^{152}\text{Eu}$	$< 1.4 \div 2.5$	not recorded
$^{239+240}\text{Pu}$	$<0.05 \div 0.55$	$<0.05 \div 5$

To determine the source of plutonium inflow in the environment we studied the isotopic ratio  $^{238}\text{Pu}/^{239+240}\text{Pu}$  in the mentioned samples. It should be noted that according to assessments of various authors [3-4], the indicated ratio for the Northern Hemisphere is about 0.02-0.06. The similar data, obtained by INP specialists for some facilities in Western Kazakhstan, are also within the specified limits. Some soil samples taken from the radioactive contaminated spots available directly at the reactor plant and treatment units, have the content ratio  $^{238}\text{Pu}$  to  $^{239+240}\text{Pu}$  of 0.8-0.9, and in the bottom sediments of Karakol Shore, this ratio varies from 0.1 to 0.9 that confirms undoubted anthropogenic genesis of plutonium in the studied samples. In addition, some samples of bottom sediment have the traces of anthropogenic  $^{152}\text{Eu}$  (2-3 Bq/kg), which also indicates the contribution of the BN-350 in the formation of radio-ecological situation in the studied areas.

The above works have been implemented within the ISTC Project K-2125 "Estimation of impact of reactor BN-350 on the environment during its operation" under support of the US Los-Alamos National laboratory.

#### Conclusions:

The data, obtained during radiological examination of the monitoring zone and the sanitary protection zone, show the effect of the reactor plant BN-350 to the environment, but the levels of radioactive contamination of the environment do not exceed the background values and correspond to the levels of global fallout.

#### References:

1. BN-350 - the first facility of nuclear energy sector in Kazakhstan. Abstracts / Nazarenko P.I.
  2. Complex engineering-radiation survey (CERS) of the reactor BN-350. Preliminary engineering-radiation report. Aktau c., 2001.
  3. Determination of  $^{239,240}\text{Pu}$  in bottom sediments of the Baltic Sea / J.V. Kuznetsov, V.K. Legin, Y.N. Pospelov, Z.K. Simonyak / Radiochemistry, №2, 1988
- Transuranic elements in the environment: Trans. from Eng./Rev. U.S Hanson. M.: Energoatomisdat

### STUDY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE AIR ENVIRONMENT RESULTED FROM OPERATION OF THE REACTOR BN-350

<sup>1</sup> Gluchshenko V., <sup>1</sup> Serikbayeva Z., <sup>3</sup> DeMuth S., <sup>1</sup> Poleshko A., <sup>1</sup> Morenko V., <sup>2</sup> Ivanov A., <sup>2</sup> Yakovlev I., <sup>1</sup> Gluchshenko G., <sup>1</sup> Matiyyenko L.

<sup>1</sup> Institute of Nuclear Physics of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan

<sup>2</sup> Mangystau Nuclear Power Complex – Kazatomprom, Aktau

<sup>3</sup> Los Alamos National Laboratory, USA

The series of the radiation-hazardous facilities of various types (numerous oil production and processing plants, the reactor facility BN-350, uranium mining and processing plants, the places of underground nuclear explosions) are concentrated in Mangistau region. Each facility contributes to formation of general radio-ecological situation.

The fast neutron reactor BN-350 was designed for dual purpose: production of steam and plutonium accumulation. The total lifetime of the reactor was more than 25 years. The radiation situation in the territories adjacent to the reactor BN-350 was formed as a result of emissions of radioactive gases and aerosols into the surface layer of the atmosphere and the discharge of waste water.

In the framework of the ISTC K-2125 project the specialists of the Institute of Nuclear Physics performed the assessment of the environment impact by the air-emission mechanism. The assessment was based on a thorough analysis of historical data about the emissions, using the mathematical modeling of emissions horizontal distribution, taking into account the meteorological conditions of the region. The areas for detailed study were identified according to the completed assessment. The results of the study of the artificial radionuclides concentrations in the identified areas were used to verify the applied mathematical model. As a result of comparison of the character of  $^{137}\text{Cs}$  horizontal distribution in the studied area, based on modeling data and the results of  $^{137}\text{Cs}$  concentration in the soil of the identified areas, the model and experimental data show satisfactory convergence, indicating the reliability of the selected model.

The review of the  $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  isotopic ratios showed that the  $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  isotope ratio in the background section indicates a "global" character of the isotope accumulation. The sites in the immediate vicinity of the BN-350 are characterized by a lowered  $^{239+240}\text{Pu}/^{137}\text{Cs}$  ratio, the same order of magnitude typical for the "Chernobyl" fallout, which indirectly indicates the excess of  $^{137}\text{Cs}$  over  $^{239+240}\text{Pu}$  in the soil, and the source of these radionuclides inflow on the identified territory, different from "global" source, which indicates the availability of the reactor BN-350 effect on these areas. However, during assessment of the soils radioactive contamination, the indicators values for the category "territories with a relatively satisfactory situation" are 2 orders of magnitude higher than the recorded values of specific surface activity at the studied areas, which confirms the conclusion about a relatively satisfactory situation in the areal of the reactor BN-350.

The data, obtained during the radio-ecological survey of the monitoring zone and the sanitary protection zone indicate the impact of the reactor BN-350 on the environment, but the levels of radioactive contamination of the environmental objects do not exceed the background values and correspond to the levels of global radioactive fallout.

#### CHALLENGES IN THE DEVELOPMENT OF NOVEL PERSONAL DOSEMETERS

*Koguchi Y. <sup>1\*</sup>, Shinozaki W. <sup>1</sup>, Negishi K. <sup>1</sup>, Takeuchi N. <sup>1</sup>, Yamaguchi K. <sup>1</sup>, Usseinov A. <sup>2</sup>, Chakrov P. <sup>2</sup>, Gluchshenko V. <sup>2</sup>, Sidorenko S. <sup>2</sup>, Kenzhin Y. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Chiyoda Technol Corporation, Tokyo, Japan

<sup>2</sup>Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan, Almaty Kazakhstan

\*Corresponding author: koguchi-y@c-technol.co.jp

Radiation technology is used in a wide range of fields such as nuclear medicine, veterinary medicine, industry, research, education, and nuclear energy. It is well recognized that appropriate dosimetry with adequate accuracy for all relevant radiation types is extremely important from the viewpoint of optimization and safety of individuals and workplaces against radiation. Doses received by radiation workers from external exposure can, in most circumstances, be readily assessed from the results of an individual monitoring, and may also be assessed from the results of monitoring of the entire workplace.

Chiyoda Technol Corporation has been providing individual monitoring services in Japan since 1956 in the form of film dosimeters, and, since 2000, in the form of glass badges, that is, personal dosimeters based on radiophotoluminescence (RPL) technology that, at present, are being used for individual monitoring of approximately 300 000 radiation workers in the country. Glass badges have also been used as a personal dosimeters by the Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN) in France and the Paul Scherrer Institute (PSI) in Switzerland since 2008 and 2015, respectively. Glass badge have a number of advantages for radiation monitoring services, notably, the measurements are repeatable, exposure information can be erased by thermal annealing, and the materials suffer less from fading. In addition, Chiyoda Technol Corporation has been providing monitoring services to the general public, especially to people evacuated in Fukushima region post the Fukushima nuclear power accident, using a semi real-time personal dosimeter, D-Shuttle that has been developed in collaboration with the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan.

Information about radiation reactions and modifications in materials resulting from radiation exposure are important for the optimization and development of materials used in dosimeters. Institute of Nuclear Physics has considerable expertise and experience in the fields of nuclear physics, solid-state physics, and material sciences, especially theoretical formalism and quantum analysis of the materials using advanced techniques such as pulsed photoluminescence, pulsed cathodoluminescence, absorption spectra and others.

Using the experience acquired over 60 years in Japan, Kazakhstan and other countries, Chiyoda Technol Corporation and the Institute of Nuclear Physics have been taking up the challenge of developing novel, next generation personal and workplace dosimeters as a joint project.

**ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ  
АЭРОГАММА-СЪЕМКИ**

*Кожемякин В.А.<sup>1</sup>, Полищук В.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> *Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
г. Минск, Республика Беларусь*

<sup>2</sup> *Военная академия Республики Беларусь, г. Минск, Республика Беларусь*

Широкое распространение малоразмерных беспилотных систем в качестве средств обнаружения разноплановых наземных объектов стимулировало нарастающий интерес к бортовым малогабаритным устройствам детектирования гамма-излучения. Цель их применения в составе малоразмерных и миниатюрных летательных аппаратов – обеспечение дистанционного радиационного мониторинга окружающей среды в зонах, прилегающих к радиационно-опасным и радиационно-чувствительным объектам.

Для использования в составе таких летательных аппаратов предлагается линейка интеллектуальных блоков детектирования (датчиков) гамма-излучения, способная выполнять следующие функции в зависимости от их назначения и решаемых задач:

- обнаруживать источники радиоактивного загрязнения;
- измерять уровни радиации на высоте полета;
- приводить измеренное значение мощности дозы на высоте полета к уровню 1 метр (при наличии информации о высоте полета над поверхностью объекта);
- осуществлять идентификацию радионуклидного состава загрязнения по гамма-спектрам;
- оценивать плотность поверхностного загрязнения.

В докладе приводятся основные технические характеристики интеллектуальных блоков детектирования гамма-излучения, из числа которых может быть выбран потребителем приемлемый вариант в соответствии с допустимой массой полезной нагрузки и целевым применением.

К настоящему времени сцинтилляционные блоки детектирования БДКГ-11М, БДКГ-24, БДКГ-04, БДКГ-211М уже нашли свое применение в составе беспилотных малоразмерных летательных аппаратов (самолетов, вертолетов, квадрокоптеров). В докладе представлены реализованные и рекомендуемые к использованию в их составе блоки детектирования, особенности ведения радиационного мониторинга, его преимущества и ожидаемые результаты.

**ORTEC SPECIALTY AND CUSTOMIZED SOLUTIONS FOR NUCLEAR PHYSICS**

*Geurkov G.*

AMETEK/ORTEC, Oak Ridge, USA

ORTEC has been a leader in high resolution spectrometry field since 1960s. In 56 years, ORTEC has a long list of innovations and being first to the market. In 1980s we were first to pioneer N-type coaxial High Purity Germanium (HPGe) detectors, in 1990s we introduced GammaSphere and Clover detectors first. In 2000s we lead the way with portable mechanically cooler HPGe detectors.

In recent years there has been a renaissance of product developments at ORTEC focused on the core commercial and research markets, such as new Profile detector series with extended low energy range and unmatched resolution performance at low to medium energies, Mobius and ICS mechanical coolers that allow premium resolution, reliable and low cost of operations performance in laboratory, research and many other applications. We have also re-entered a fundamental research market with new Clover, Gamma Sphere, gamma imaging and other specialty detectors.

In this presentation an overview of ORTEC's capability to build specialty and customized solution will be presented.

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

*Гузов В.Д., Кожемякин В.А., Николаев В.А., Раскоша В.Л., Сеньковский К.Г., Храмов В.В.*

Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»,  
г. Минск, Республика Беларусь

Сообщается о поверочных установках, разработанных в УП «АТОМТЕХ» и применяемых в качестве рабочих эталонов течение ряда лет в практике метрологических служб, а также о разработке новых эталонов в области метрологии ионизирующих излучений.

Установки дозиметрические гамма-излучения УДГ-АТ130, УДГ-АТ110 обеспечивают поверку средств измерений гамма-излучения в коллимированном поле типового коллиматора по ГОСТ 8.087-2000. Установки в качестве рабочих эталонов предназначены для воспроизведения и передачи единиц кермы в воздухе, амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы средствами измерений гамма-излучения по ГОСТ Р 8.804-2012.

Особенностью установки УДГ-АТ130 является обеспечение поверки дозиметров гамма-излучения в широком диапазоне мощности дозы – от 0,3 мкГр/ч до 50 Гр/ч. Дополнительно к  $^{137}\text{Cs}$ , в установке используются источники из  $^{241}\text{Am}$  и  $^{60}\text{Co}$ . В 2015 г. проведены сертификационные испытания, на основании которых установка может быть аттестована в качестве эталона I разряда с погрешностью 1,5 – 2,5 % по мощности кермы в воздухе и 2,5 – 4,5 % по мощности амбиентного и индивидуального эквивалентов дозы.

Установка УДГ-АТ110 обеспечивает поверку дозиметров радиационной защиты в диапазоне мощности кермы в воздухе от 0,3 мкЗв/ч до 0,5 Гр/ч в стандартном исполнении и до 50 мГр/ч с максимальной активностью  $^{137}\text{Cs}$  5,6 Ки при размещении места оператора в помещении рабочей камеры.

Разработано и аттестовано в 2015 г. в соответствии с ГОСТ Р 8.654-2009 прикладное программное обеспечение «Программный комплекс УДГ», дающее дополнительные возможности управления установками УДГ-АТ110, АТ130 с использованием персонального компьютера, автоматизации измерений и процесса поверки. В выпускаемые установки ПО входит комплектно, эксплуатируемые могут быть дооснащены на договорной основе.

Выполнено проектирование модификаций УДГ-АТ110, обеспечивающих использование дополнительно  $^{60}\text{Co}$ , а также ряда (до 9 штук) радионуклидных источников в диапазоне от 5,9 до 1250 кэВ; диапазон мощности дозы до 2 Гр/ч (рабочее название «УДГ-АТ120»).

Разработана и внесена в Государственный реестр средств измерений в 2016 г. установка поверочная нейтронного излучения УПН-АТ140. Установка основана на использовании источников быстрых нейтронов  $^{238}\text{Pu-Be}$  и  $^{252}\text{Cf}$ , обеспечивает формирование полей быстрых и тепловых нейтронов в коллимированном пучке установок типа УКПН, поля быстрых нейтронов в «открытой» геометрии с применением теневого конуса по ИСО 8529-2 (2000).

Разработана поверочная установка рентгеновского излучения УПР-АТ300. В установке используется высокостабилизированный рентгеновский аппарат ISOVOLT 320 M2 с металлокерамической биполярной трубкой MIR 320/26. Формирователь поля обеспечивает реализацию режимов излучения в соответствии с ИСО 4037-1 (1996). Управление сменой фильтров, заслонкой формирователя осуществляется дистанционно с пульта управления. Электроизмерительный канал включает камеру-монитор, электрометр ДКС-АТ5350/1, измерители параметров окружающей среды. Система позиционирования поверяемых приборов в пучке излучения построена на основе калибровочного стенда АТ-03, обеспечивающего автоматизированное перемещение рабочего стола по координатам X, Y и Z с точностью 50 мкм.

Разработана эталонная автоматизированная экстраполяционная ионизационная камера бета-излучения, предназначенная для прецизионного измерения поглощенной дозы бета-излучения в тканеэквивалентном веществе от дозиметрических источников из радионуклидов:  $^{147}\text{Pm}$ ,  $^{204}\text{Tl}$ ,  $^{85}\text{Kr}$ ,  $^{90}\text{Sr}/^{90}\text{Y}$ ,  $^{106}\text{Ru}/^{106}\text{Rh}$ .

Камера разработана и изготовлена с целью включения в состав Государственного первичного эталона поглощенной дозы бета-излучения и использования в составе эталонной установки для передачи единиц величин дозиметрам поглощенной дозы в ткани бета-излучения. Высокоточный экстраполяционный метод обеспечивается с использованием системы прецизионного автоматического позиционирования подвижного электрода камеры с погрешностью не более 2 мкм.

В настоящее время завершается изготовление калибровочного стенда, предназначенного для передачи единиц поглощенной дозы, воспроизводимых экстраполяционной камерой в полях стенда, дозиметрам поглощенной дозы в ткани, дозиметрам направленного эквивалента дозы и индивидуальным дозиметрам бета-излучения.

**НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА  
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

*Новик А.Н.<sup>1</sup>, Кучинский П.В.<sup>1</sup>, Кожемякин В.А.<sup>2</sup>, Быстров Е.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>НИИПФП им. А.Н. Севченко БГУ, г. Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Научно-производственное унитарное предприятие «АТОМТЕХ»  
г. Минск, Республика Беларусь

В связи с проблемами ликвидации последствий аварии на Чернобыльской АЭС и со строительством Белорусской АЭС актуальной является задача разработки и развертывания на прилегающих территориях системы радиационного контроля окружающей среды [1-3].

К настоящему времени нами разработана, изготовлена и развернута автоматизированная система радиационно-метеорологического мониторинга окружающей среды Белорусской АЭС. Система имеет в своем составе 10 автоматических пунктов измерения (АПИ) и центр реагирования (ЦР).

АПИ размещены в зоне влияния Белорусской АЭС в населенных пунктах Гродненской и частично Минской области: Островец, Гудогай, Ошмяны, Герваты, Трокеники 1, Михалишки, Лынтупы, Кемелишки, Нарочь, Котловка. Центр реагирования размещен на территории Республиканского центра по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды (Минск). Канал связи АПИ с ЦР – GSM/GPRS с двойным дублированием. Коммуникационные модули ПО АПИ, производят обмен информацией с удаленным центром реагирования (ЦР) через сеть интернет, используя различные протоколы стека TCP/IP. Метеорологический мониторинг осуществляется метеостанциями WXT-520 (Финляндия), установленных в местах развертывания АПИ.

Отличительной особенностью разработанной системы является использование в составе АПИ высокочувствительных быстродействующих спектрометрических блоков детектирования гамма-излучения, что позволило накапливать измеренные спектры гамма-излучения в базе данных центра реагирования и производить автоматическую идентификацию радионуклидов, фиксировать малейшие изменения радиационного фона.

**ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ОБЪЕКТОВ «ЛИРА» НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ  
КОНТРОЛЯ**

*Тиванова О.В., Ермаков Е.Л., Акылбек Н.М., Урманов Р.Р.*

РГП «Институт ядерной физики», Республика Казахстан, Алматы

В связи с ростом добычи углеводородного сырья как правило возникает потребность в расширении объемов хранилищ, для решения этой проблемы в 1983-1984 гг. в соляном куполе вблизи Карачаганакского газоконденсатного месторождения ядерными взрывами было создано шесть полостей-хранилищ. Через пять лет объект «Лира», включающий подземные полости и систему надземной и подземной трубопроводной обвязки был введен в эксплуатацию. К настоящему времени в пяти полостях находится газовый конденсат, одна полость затоплена соевым раствором. Основная задача безопасной эксплуатации данного объекта заключается в поддержании герметичности как самих полостей, так и трубопроводной обвязки. Ввиду того повышенного содержания в газовом конденсате сероводорода и радиоактивных изотопов требуется ежегодный мониторинг коррозионно-эрозионного износа надземной части и периодический мониторинг подземной скважинной части трубопроводной обвязки объекта «Лира».

В настоящей работе приведены результаты технического освидетельствования трубопроводов и скважинных труб с применением технологий неразрушающего контроля в полевых условиях. При обследовании были использованы ультразвуковой и радиографический контроль, анализ напряженно-деформированного состояния, твердометрия. Исследование напряженно-деформированного состояния проводили в зоне сварных соединений и колен трубопровода с использованием магнито-анитропного метода. На основе полученных данных произведены расчеты по остаточному ресурсу и даны рекомендации по корректированию технологических параметров эксплуатации с целью снижения скорости коррозионно-эрозионного износа.

## НОВЫЕ СЕРИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОЧГ ОТ ФИРМЫ ORTEC

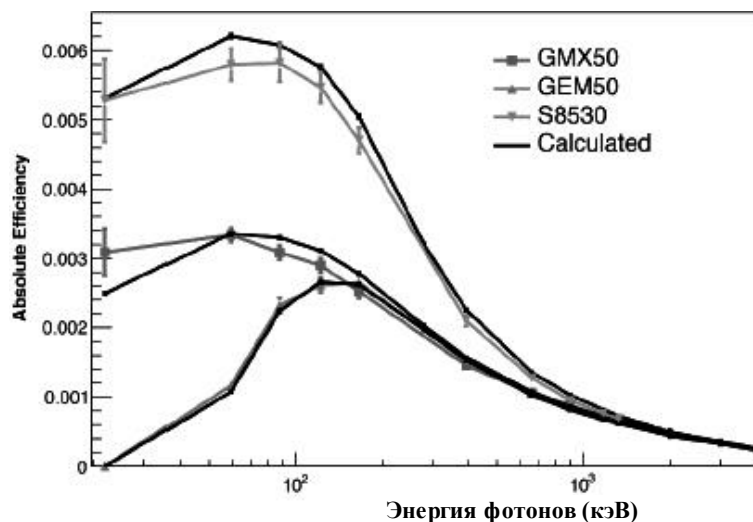
Покровский И.В.

ЗАО «Приборы», г. Москва, Россия

Большинство областей лабораторных применений гамма-спектрометрии высокого разрешения связаны с регистрацией гамма-квантов в диапазоне энергий выше 40 кэВ. Однако, следует помнить, что абсолютная эффективность регистрации гамма-квантов разных энергий с помощью полупроводникового детектора на кристалле особо чистого германия (ППД ОЧГ) не является постоянной величиной, а представляет собой зависимость от энергии довольно сложной формы. В случаях, когда область интереса лежит в мягкой области энергий гамма-излучения, абсолютная эффективность регистрации этой энергии при использовании двух ППД ОЧГ равной относительной эффективности может различаться кардинально.

В детекторах ППД ОЧГ серии PROFILE фирма ORTEC использует кристаллы ОЧГ Р-типа разных форм, обеспечивая тем самым оптимальную геометрию измерения для решения определенного класса задач гамма-спектрометрии. При этом во всех детекторах обновленной серии PROFILE (серии GEM-C, GEM-S и GEM-SP) используется технология STFC (стабильный ультратонкий фронтальный контакт), позволяющая полностью избежать диффузии материала контакта в тело кристалла ОЧГ, что обеспечивает стабильность характеристик детектора, включая уверенное детектирование гамма-квантов с энергиями от 3 кэВ, при сколь угодно долгом его хранения в условиях комнатной температуры.

В детекторах серии GEM-S и GEM-SP используется семи-планарная (диаметр больше длины) форма кристалла, позволяющая добиться лучшей абсолютной эффективности регистрации гамма-квантов в мягкой области энергий в сравнении с детекторами той же относительной эффективности, имеющими меньший диаметр кристалла. Наглядным примером этого положения служит рисунок, на котором расчётные и экспериментальные значения абсолютной эффективности регистрации при измерении точечного источника, расположенного на расстоянии 25 см от торцевой поверхности детектора, представлены как зависимости от энергии гамма-излучения для ППД ОЧГ серий GEM, GMX и GEM-S, имеющих равную относительную эффективность – 50%. Из рисунка видно, что в области 59 кэВ ( $^{241}\text{Am}$ ) скорость счёта для детектора серии S оказывается в 6 раз выше, чем для коаксиального детектора Р-типа (GEM50) и практически в 2 раза выше, чем для коаксиального детектора N-типа (GMX50).



Самым последним достижением специалистов ORTEC в разработке ППД ОЧГ являются детекторы серии GEM-SP, ставшей дальнейшим развитием серии GEM-S. В серии GEM-SP используется новейший, изготовленный по запатентованной технологии, задний контакт минимальной ёмкости и с низким собственным шумом, что обеспечивает непревзойденное энергетическое разрешение в области мягких энергий без ухудшения разрешающей способности в области высоких энергий. Таким образом, впервые реализована возможность использования детектора с высокой относительной эффективностью регистрации для исследования тонких структур в мягкой области энергий, с уверенным разделением гамма-линий, отстоящих друг от друга всего на несколько сотен электронвольт. Кроме того, высокая разрешающая способность детектирующей системы снижает количество наложений пиков в задачах, связанных с измерением образцов, которые могут содержать большое число разных радионуклидов, что существенно повышает производительность алгоритмов поиска пиков.



СОВРЕМЕННЫЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ CANBERRA

*Ртищев В.*

ООО "Канберра-Паккард Трейдинг Корпорейшн" (Москва)  
Представительство компании «Mirion-CANBERRA»

Компания CANBERRA является надежным партнером для предприятий мировой атомной энергетики по следующим направлениям: оборудование и программное обеспечение для гамма-спектрометрии, системы управления данными (по воднохимическому режиму, выбросам/сбросам, дозиметрии), приборы для измерения альфа/бета-активности, спектрометры излучения человека, полевые измерения и анализ радиоактивных отходов, контроль загрязнения персонала и предметов, портативные дозиметрические приборы (контроль загрязнения и дозы), объектовый и экологический радиационный мониторинг. В условиях растущих экономических требований к атомной энергетике наблюдается тенденция к унификации. Унификация и единообразие измерительных систем на многочисленных электростанциях – это один из способов снижения совокупных затрат на приобретение и эксплуатацию этих систем. Использование различных технических решений от единого поставщика способствует дополнительному снижению долгосрочных расходов на эксплуатацию и обслуживание измерительных систем.

В докладе рассматриваются новые технические решения по применению германиевых детекторов различных типов для прикладных задач по измерению лабораторных образцов, различных объектов при измерении в полевых условиях и в том числе паспортизации радиоактивных отходов.

Оптимальный выбор детектора увеличивает эффективность регистрации часто даже при уменьшении стоимости спектрометра, что позволяет уменьшить время измерения одного образца и увеличить производительность лаборатории.

Большой детектор это не всегда лучший выбор. Оптимизация детектора исходя из допустимого времени измерения ваших проб позволяет значительно уменьшить стоимость одного измерения.

Эффективность регистрации может быть увеличена на 25% или больше за счет оптимизации геометрии измерений.

Уменьшить минимально детектируемую активность (МДА) на 25% или сократить время измерения на 40% для типовых образцов можно не увеличивая бюджет закупки гамма-спектрометра. Стоимость владения и эксплуатационные расходы за счет использования новых надежных электроохлаждаемых криостатов также значительно снижаются

Использование программного обеспечения ISOCS/LABCOCS и позволяет экономить на покупке и содержании объемных калибровочных источников.

Компания CANBERRA гордится своей более чем 51-летней историей в качестве лидера в области ядерно-физических измерений и связанных с ними услуг. Предлагая широкий спектр самой разнообразной продукции и услуг, CANBERRA является идеальным партнером для решения всех задач, связанных с измерениями ионизирующих излучений. Кроме того, обширная сеть сервисной поддержки и обучения персонала обеспечит эффективную эксплуатацию приобретенных систем в течение всего срока службы.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  НА ОБЪЕКТАХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ  
«ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»**

*Бакланова Ю.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В.*

Институт Радиационной Безопасности и Экологии г. Курчатова, Республика Казахстан

Испытательная площадка «Опытное поле» являлась первой испытательной площадкой Семипалатинского полигона и предназначалась для проведения наземных и воздушных ядерных испытаний в период с 1949 по 1962 гг. В настоящее время радиоактивное загрязнение данной площадки характеризуется наличием продуктов деления, продуктов активации и материала ядерного заряда. Для правильной оценки радиозоологической обстановки необходимы знания о концентрациях в почве таких долгоживущих радионуклидов как  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$ , характеризующихся большим периодом полураспада и большим выходом в реакциях деления. Определение активности  $^{137}\text{Cs}$  проводится достаточно дешевым и быстрым гамма-спектрометрическим методом, тогда как классические методы определения активности  $^{90}\text{Sr}$ , в случае массового анализа, являются трудоемкими и дорогостоящими.

В качестве альтернативы можно применить метод оценки активности  $^{90}\text{Sr}$  по активности  $^{137}\text{Cs}$ . Данный подход вполне справедлив, поскольку оба радионуклида являются осколками деления как  $^{235}\text{U}$ , так и  $^{239}\text{Pu}$ . Схожесть их образования предполагает возможность проведения оценки концентрации  $^{90}\text{Sr}$  по соотношению

$^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ . В случае постоянства значений соотношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  становится возможным проведение расчетной оценки активности одного изотопа по известной активности второго. Целью данной работы является оценка возможности определения активности  $^{90}\text{Sr}$  по активности  $^{137}\text{Cs}$  в почве различных объектов испытательной площадки «Опытное поле» расчетным методом.

В рамках данной работы исследованы эпицентральные зоны ядерных испытаний различной мощности на технических площадках П-1, П2-П-7, ПЗ-П5, а также территории, подверженные радиоактивным выпадениям, в пределах площадки «Опытное поле». Отобранные образцы почвы прошли гамма-спектрометрический анализ для определения активности  $^{137}\text{Cs}$ , инструментальный спектрометрический анализ для определения активности  $^{90}\text{Sr}$  и радиохимическую подготовку с последующей жидко-сцинтилляционной бета-спектрометрией для определения активности  $^{90}\text{Sr}$ , после чего на основе полученных значений активностей был проведен расчет значений изотопных отношений  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ .

В результате проведенных работ получены соотношения  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  для каждого объекта площадки «Опытное поле» и установлено, что на следах радиоактивных выпадений соотношение  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$  находится в диапазоне  $1,0 \div 2,5$ ; на технических площадках –  $0,8 \div 3,8$ , в эпицентральных зонах –  $0,4 \div 4,1$ .

Главным результатом данной работы становится вывод о том, что определение  $^{90}\text{Sr}$  по  $^{137}\text{Cs}$  на испытательной площадке «Опытное поле» возможно, однако, поскольку данные соотношения могут отличаться, каждый радиационно-опасный объект в пределах данной площадки должен быть охарактеризован своим соотношением  $^{90}\text{Sr}/^{137}\text{Cs}$ .

Данные расчёты позволяют оптимизировать проведение комплексных радиозоологических исследований путем отказа от проведения дорогостоящих радиохимических анализов  $^{90}\text{Sr}$ , проводя их только для подтверждения полученных результатов.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ МЕЖЛАБОРАТОРНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБРАЗЦОВ КОНЦЕНТРАТА УРАНОВОЙ РУДЫ СUP-2 ДЛЯ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ

*Кипс Р. <sup>1</sup>, Линдвэлл Р. <sup>1</sup>, Эпих Г. <sup>1</sup>, Кристо М. <sup>1</sup>, Глуценко В. <sup>2</sup>, Чаков П. <sup>2</sup>, Окубо А. <sup>3</sup>, Оуджо К. <sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Национальная Лаборатория им. Лоуренса Ливермора, США

<sup>2</sup>Институт Ядерной Физики, Казахстан

<sup>3</sup>Японское Агентство по Атомной Энергии, Япония

<sup>4</sup>Офис Министерства Энергетики по Глобальной Безопасности материалов, США

В ИЯФ РК разработан и создан комплекс, обеспечивающий проведение экспертиз различных ядерных и радиоактивных материалов и изделий. При проведении исследований представленных на экспертизу материалов (изделий) используется широкий спектр имеющейся аппаратуры и методик. На постоянной основе проводятся работы по нормативно-методическому, кадровому и материально-техническому обеспечению специализированной экспертной группы ИЯФ, усилить аналитическую базу и контроль качества.

Развивается международное сотрудничество с целью повышения компетенций ИЯФ в области ядерной криминалистики и включения в деятельность Международной Технической Рабочей Группе по борьбе с ядерной контрабандой.

Под эгидой Совместного коммюнике 2006 года по борьбе с торговлей ядерными и радиоактивными материалами, Программа DOE/NNSA по борьбе с ядерной контрабандой и сдерживанию (NSDD) сотрудничает с Институтом ядерной физики (ИЯФ) Казахстан и Японским агентством по атомной энергии (ЯААЭ) для совершенствования технических и аналитических навыков, связанных с анализом по ядерной судебной экспертизой. Проведен сравнительный анализ образца концентрата урановой руды (УРК, СUP-2, Canada Natural Resources) для обмена передового опыта в получении, интерпретации и отчетности данных, а также для формулировки выводов и рекомендаций в контексте анализа ядерной экспертизы Для этого упражнения ЛЛНЛ отправил стеклянную банку объемом 25 г и аликвоту приблизительно 1 г концентрата урановой руды СUP-2 в ИЯФ и ЯААЭ соответственно. В обоих случаях лаборатории не были ограничены в выборе методов анализа образца. При выборе материала для сравнительного анализа были учтены следующие положения:

- Казахстан является крупным производителем УРК, и этот материал представляет интерес с точки зрения технологической, промышленной и ядерной криминалистики;
- СUP-2 является коммерчески доступным продуктом из природного урана и относительно легко транспортируется;
- СUP-2 имеет относительно высокий уровень примесей, что делает его интересным для сравнения концентраций микроэлементов;
- несмотря на широкое применение материала СUP-2, очень мало публикаций по характеристике этого материала.

В докладе приведены основные результаты исследования образца уранового концентрата СУР-2 в ИЯФ, лаборатории ЯААЭ ЛАНЛ. Настоящий сравнительный анализ образцов продемонстрировал ассортимент аналитических методов, которые могут быть применены к образцу УРК в контексте ядерной экспертизы. Каждая лаборатория применила очень тщательный, хотя и различный подход к получению, обработке и характеристике материала УРК с использованием хорошо продуманного аналитического плана. Различия в результатах измерений между участвующими лабораториями показали необходимость стандартизации аналитических процедур, но также может являться возможностью определения «основных возможностей» для ядерной экспертизы и соответствующей точности измерения, которые были бы достаточными для ответа на вопросы правоохранительных органов в контексте расследования ядерной криминалистики.

Настоящий сравнительный анализ образца между ИЯФ, ЛЛНЛ и ЯААЭ заложил основу для будущих научных обменов между участвующими лабораториями в отношении оценки и интерпретации ядерных аналитических портретов, связанных с УРК и другими ядерными материалами, представляющими интерес.

#### **THE PROBLEM OF RADIOECOLOGY IN THE TERRITORY OF FORMER URANIUM PRODUCTION (KYRGYZ REPUBLIC)**

*Djenbaev B.M., Zholboldiev B.T., Kaldibaev B.K., Karmisheve Y.*

Biology and Pedology Institute of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, Bishkek City, 720071  
Chui Ave., 265, Tel. 996 312 392068, Fax. 996 312 391947; e-mail: [bekmamat2002@mail.ru](mailto:bekmamat2002@mail.ru), [kg.bek.bm@bk.ru](mailto:kg.bek.bm@bk.ru)

Kyrgyzstan was a country producing uranium ores in the region and the USSR from 1940 to 1970 y., after the huge amount of waste uranium production was left on the territory of the republic. Many tailing of the dumps and dumps of uranium production are located in seismically dangerous mountain areas, along mountain rivers, populated areas and zones subject to the risk of landslides in the republic. The radiological impact on the environment and the population is still not fully known. The low living standards, social and migration problems are made on the poor socio-psychological situation in these areas, including threats and risks from radiation, as well as other potential factors (physical risks, etc.).

The permanent radioecological monitoring is not carried out in the territory of the former uranium production and due to poor monitoring, do repair work in time and service leads to destroy the protective structures and certain surface areas of the uranium tailings and dumps. It is established that the uranium tailings of Tuyuk-Suu, Taldy-Bulak, Kaji-Sai, Sumsar, Shakaftar and some sections of Mailuu-Suu are potentially dangerous in the mountainous conditions of the republic at the moment, which was included in the register of the Ministry of Emergency Situations of the Kyrgyz Republic.

It is necessary to note especially the fragility of the soil cover in the mountainous regions of the biosphere. It has low power (from 20 to 50 cm), and its safety depends on the ecological balance in the mountains and the unpredictable consequences of natural and man-made disasters in the adjacent territory and the region as a whole. If mountain ecosystems are destroyed, then the associated components of biodiversity and the habitat of people in this region will disappear, and geomorphological processes become active in the mountains. Kyrgyzstan is a seismically active mountainous country, where landslide and mudflow processes often occur, especially in the area of tailings and dumps, violation of radiobiogeochemical and radioecological processes and ecologically safe forms of traditional nature management in the mountains, foothill areas and further flat areas that pose a significant threat not only to Kyrgyzstan, but also the entire Central Asian region.

#### ***4. NUCLEAR AND RADIATION METHODS IN MEDICINE AND INDUSTRY***

- Production and application of radioactive isotopes
- Nuclear medicine
- Radiation technologies

#### ***4. ЯДЕРНЫЕ И РАДИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В МЕДИЦИНЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ***

- Производство и применение радиоактивных изотопов
- Ядерная медицина
- Радиационные технологии

**DEVELOPMENT OF QUALITY CONTROL OF THE DO3A-NBI-56418 LABELED BY  $^{177}\text{Lu}$  FOR THERANOSTIC GOALS OF TRIPLE NEGATIVE CANCER WITH USING PAPER CHROMATOGRAPHY**

*Gurin A.N. <sup>2,3</sup>, Patrick J Riss <sup>1</sup>, Chakrova E.T. <sup>2</sup>, Uralbekov B.M. <sup>3</sup>*

<sup>1</sup>University of Oslo, Norway

<sup>2</sup>The Institute of Nuclear Physics Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan

<sup>3</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Receptors for triple negative breast cancer express gonadotropin-releasing hormones (GnRH) in more than 50% of cases. Among several analogues (agonists and antagonists) of GnRH that have been studied for the treatment of this type of cancer, the non-peptide antagonist NBI-56418 is of greatest interest [1].

The Institute of Nuclear Physics is working with a team of researchers from the University of Oslo, Norway to create a radiopharmaceutical on the basis of NBI-56418, labeled by  $^{177}\text{Lu}$ . The advantages of  $^{177}\text{Lu}$  as a therapeutic isotope are determined by its nuclear characteristics: maximum  $\beta$ -energy (max  $\beta^- = 496$  keV,  $\beta^+ = 113$  keV (6.4%) and 208 keV (11%)); Half-life 6.71 days; The optimal depth of penetration into human tissue during the radiotherapy of small tumors, a small radiation load on healthy organs.

In the research work presents experimental data on the choice of optimal conditions for the separation of the free cation  $^{177}\text{Lu}^{3+}$  and the labeled complex  $^{177}\text{Lu}$ -DO3A-NBI-56418.

In our work was studied the influence of pH, composition and the ratio of the components of the mobile phase on the separation quality. The registration of the distributed activity of  $^{177}\text{Lu}$  was carried out using a scintillation detector.

The most qualitative separation was observed when using a mobile phase, which is a mixture of 1M ammonium acetate and methanol in equal proportions.

1. Mazen Jamous, Uwe Haberkorn and Walter Mier. (2013). Synthesis of Peptide Radiopharmaceuticals for the Therapy and Diagnosis of Tumor Diseases. *Molecules*, 3379-3409

**SILICON BASED MICROPIXEL AVALANCHE PHOTODIODES FOR IONIZATION PARTICLES**

*Ahmadov G.S. <sup>a,b,c</sup>, Ahmadov F.I. <sup>b,c</sup>, Kopatch Yu.N. <sup>a</sup>, Berikova D., Nuriyev S.M. <sup>a,b</sup>, Akbarov R. <sup>a,c</sup>, Sadigov A.Z. <sup>b,c</sup>, Sadygov Z.Y. <sup>a,c</sup>, Suleymanov S.S. <sup>b</sup>, Heydarov N. <sup>b</sup>, Valiyev R. <sup>b</sup>, Nazarov M. <sup>b</sup>, Madatov R. <sup>b</sup>, Garibov A.A. <sup>c</sup>*

<sup>a</sup>Joint Institute for Nuclear Researches, Dubna, Russia

<sup>b</sup>Institute of Radiation Problems of ANAS, Baku, Azerbaijan

<sup>c</sup>National Nuclear Research Centre, Baku, Azerbaijan

This paper is dedicated to using scintillation detectors based on silicon photomultipliers for ionization particles (electron, alpha, neutron et.c). For these purposes LYSO inorganic and plastic scintillator was used. In the experiments the scintillation lights produced by interaction between radiation and scintillator are registered by silicon based micropixel avalanche photodiode (MAPD) matrix (2×2). Silicon based micropixel avalanche photodiodes (MAPD) is a type of silicon photomultipliers which is produced Zecotec photonics. Sensitive area, gain and operation voltage of the MAPD is 3,7×3,7 mm<sup>2</sup>, 10<sup>6</sup> and 90 V, respectively. Photon detection efficiency of the MAPD is 40%. Size of LYSO scintillator is 6×6×2 mm<sup>3</sup>. Plastic scintillator, however, is 20×20×10 mm<sup>3</sup> in size. Alpha-particle emitting nuclide Am-241, beta emitting nuclide Cs-137 and neutron source PuBe are used for testing the developed detectors. All measurements are carried out under normal air pressure and temperature. The obtained results reveal that the developed detectors are efficient for simultaneous counting of alpha, beta-particles and neutrons. The results give possibility to use the studied charge particle detectors as a radioactive dust monitors and a contamination monitors, and neutron detector as an area monitors and a personal dosimeters.

APPLICATION OF DIFFUSION OF CESIUM ATOMS ON RHENIUM ( $^{101}\text{Rho}$ )-C COATED BY GRAPHITE MONOLAYER TO RADIATION TECHNOLOGIES

Orudjov A.K., Rahimzade S.Q. \*

Baku State University, Azerbaijan, Baku, 23, Zahid Khalilov str.

\*Institute of Radiation Problems of ANAS, Azerbaijan, Baku, 9, B.Vakhabzadeh str.

e-mail: [orar@mail.ru](mailto:orar@mail.ru) e-mail: [sara.rehimzade@gmail.com](mailto:sara.rehimzade@gmail.com)

It is well known that diffusion is an irreversible and non-equilibrium process leading to the establishment of equilibrium distribution of concentrations within phases and Equation of chemical potentials of the system's components. The most important laws of diffusion are the Fick laws. The first law of Fick is like this:

$$j = -D\nabla n \quad (1)$$

Diffusion coefficient  $D$  is determined by properties of the environment, the type of diffusing particles, depends on the temperature  $T$  and the diffusion activation energy  $E_a$  in accordance with the Arrhenius Equation

$$D = D_0 \exp(-E_a / kT) \quad (2)$$

In this Equation,  $D_0$  is numerically equal to the diffusion coefficient at the temperature gravitating to infinity. In general, the movement of impurity atoms or ions in the crystal lattice is irregular with overcoming the potential energy barriers. The solution of Equation (2) has a different appearance depending on the boundary conditions. In particular, boundary conditions for the diffusion from an ongoing source are

$$n(0,t)=n_0; \quad n(x,0)=0. \quad (3)$$

Considering this, the solution is:

$$n(x,t) = n_0 \left( 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \right), \quad \operatorname{erfc}z = 1 - \operatorname{erf}z = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^z e^{-z^2} dz \quad (4)$$

where for the Gauss error function (abbreviation erf comes from error function),  $\operatorname{erfc}z = 1 - \operatorname{erf}z$  complementary error function (error function complement) is used as well. At the diffusion of adsorbed atoms from intercalated zones with constant surface concentration of metal, the boundary conditions are well observed for our case

$$n(0,t)=0; \quad n(x,0)=n_0. \quad (5)$$

Considering these initial conditions, we obtain an expression for the concentration  $n(x,t)$

$$n(x,t) = n_0 \operatorname{erf} \frac{x}{2\sqrt{Dt}} \quad (6)$$

Comparing the literature data for different initial conditions of diffusion, we see that the value of  $L = \sqrt{Dt}$ , is included in all the final results of the Fick Equation. If we assume that atoms diffuse in the form of monovalent positive ions from the intercalated area, then Einstein relationship connecting diffusion coefficient of charged particles with their mobility may be applied in conditions of thermodynamic equilibrium

$$\mu = \frac{eD}{kT} \quad (7)$$

Varying the formulas (1)-(7), it can calculate and estimate the different diffusion parameters. [1],[2] The experimental part of the work was carried out following methods: which is based on the thermal desorption spectroscopy, thermoelectric emission and surface ionization in an ultrahigh vacuum sector-type mass analyzer. As is seen from the figure for the flow of the cesium atoms  $v = 5 \cdot 10^{13} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ , depending on the temperature and time,  $L$  varies between  $0,2 \text{ \AA} < L < 480 \text{ \AA}$ . It was received, that the diffusion coefficient of cesium atoms vary from  $\sim 2 \cdot 10^{-21} \text{ cm}^2/\text{s}$  to  $\sim 4 \cdot 10^{-14} \text{ cm}^2/\text{s}$  at the temperature range  $1600\text{K} < T < 2200\text{K}$ . Such values of diffusion coefficient in metal is characteristic for particles with high activation energy of diffusion, which for cesium activation energy was 5.65 eV.

Let's take account that the cesium is monovalent ions element, so from Equation (10) the diffusion ions mobility values will be  $1.45 \cdot 10^{-24} \frac{\text{m}}{\text{sec} \cdot \text{V}} - 1.05 \cdot 10^{-18} \frac{\text{m}}{\text{sec} \cdot \text{V}}$ .

It is known that the radioactive graphite is widely used as procrastinative neutrons in nuclear destruction. In this regard, it is useful to explore the application of radioactive radiation and also other areas for graphite layer.

[1] Orudjov A.K. Диффузия Атомов Калия В Рений, Покрытый Двумерной Графитовой Пленкой Physics of Metals and General Metallurgy (2013), 114, 63-67.

[2] Orudjov A.K. Модификация физических свойств иридия с поверхностной монослойной графитовой пленкой вследствие интенсивной диффузии атомов калия, Physics of Metals and General Metallurgy (2011), 111, 626-627.

NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF HIGH PURITY NANOCRYSTALLINE SILICON CARBIDE (3C-SiC) PARTICLES

Elchin M. Huseynov

Department of Nanotechnology and Radiation Material Science, National Nuclear Research Center, AZ 1073, Inshaatchilar pr. 4, Baku, Azerbaijan  
Institute of Radiation Problems of Azerbaijan National Academy of Sciences, AZ 1143, B.Vahabzade 9, Baku, Azerbaijan, *elchin.h@yahoo.com, e.huseynov@mmtm.az, Tel: +994-50-552-22-23*

The application opportunity of synthesized materials in different technologies depends directly on its purity. Until today the purity of synthesized materials is being increased with several methods and means. Intensive researches are conducted in the directions of improving purity of materials with the purpose of enlarging application opportunity of nanomaterials in the technologies. At the present work, nanocrystalline 3C-SiC synthesized by standard laser method and for the neutron activation analysis (NAA) samples irradiated by neutron in the TRIGA Mark II light water pool type research reactor at the "Reactor Centre" of Jozef Stefan Institute in the Ljubljana, Slovenia [1-6]. Trace element isotopes activities of 3C-SiC nanomaterial and "cooling time" (up to 500 hours) dependence, the time required for fission after neutron irradiation have been studied. This activity and additional radionuclide of samples will be directly influence of physical properties of nanomaterials [7-12].

The quality and quantity identification of mixtures in silicon carbide nanomaterial was conducted according to the results. Cubic modification silicon carbide (3C-SiC) nanoparticles has  $120 \text{ m}^2 \cdot \text{g}^{-1}$  specific surface area (SSA), 18nm particles size and  $0.03 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$  (real density  $3.216 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ ) density is used at the present experiments (US Research Nanomaterials, Inc., TX, USA). Radioactivity, isotope composition and amount of mixed elements of radiated samples were determined according to known methodics. For NAA an aliquot about 0.051g of SiC in nano powder form was sealed into a pure polyethylene ampoule (SPRONK system, Lexmond, The Netherlands). For determination of short-lived radionuclides an aliquot and standard Al-0.1% Au (IRMM-530R) were stacked together, fixed in the polyethylene vial in sandwich form and irradiated for 5 minutes in the carousel facility (CF) of the TRIGA reactor with a thermal neutron flux of  $1.1 \times 10^{12} \text{ n} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . For determination of long-lived radionuclides an aliquot and standard Al-0.1% Au were prepared on the same way as above and irradiated for 12 hours in the CF of the TRIGA reactor.

Individual concentration of trace element isotopes have been determined in the 3C-SiC nanomaterial by NAA method. Radioisotopes generated in the nanocrystalline 3C-SiC particles after neutron irradiation and it were studied as time functions. Trace element radioisotopes of silicon carbide nanoparticles and decay time dependencies given the work. It was found out that initial activity and half life of mixed elements in the sample differed from each other significantly. The dependence of the radioactivity of isotopes on observation time and percentage of mixed elements were determined (about 0.65+%).

1. Luka Snoj, Gasper Zerovnik, Andrej Trkov, "Computational analysis of irradiation facilities at the JSI TRIGA reactor", Applied Radiation and Isotopes 70, 483–488 (2012)
2. Gasper Zerovnik, Manca Podvratnik, Luka Snoj, "On normalization of fluxes and reaction rates in MCNP criticality calculations", Ann. Nucl. Energy 63, 126–128 (2014)
3. Žerovnik, G et al., Validation of the neutron and gamma fields in the JSI TRIGA reactor using in-core fission and ionization chambers, Applied Radiation and Isotopes, 96, 27-35 (2015)
4. Henry R., Tiselj I., Snoj L., Analysis of JSI TRIGA MARK II reactor physical parameters calculated with TRIPOLI and MCNP, Applied Radiation and Isotopes, 97, 140-148, (2015)
5. P. Filliatre et al. "Experimental assessment of the kinetic parameters of the JSI TRIGA reactor" Annals of Nuclear Energy 83, 236–245 (2015)
6. Kolšek A., Radulović V., Trkov A., Snoj L., Using TRIGA Mark II research reactor for irradiation with thermal neutrons, Nuclear Engineering and Design, 283, 155–161, (2015)
7. Elchin M. Huseynov "Permittivity-frequency dependencies study of neutron-irradiated nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" NANO 12, No. 5, 1750068, 2017
8. Elchin Huseynov, Aydan Garibli "Effect of neutron flux on the frequency dependencies of electrical conductivity of silicon nanoparticles" Revista Mexicana de Física 62 (2016) 299-303
9. Elchin Huseynov "Neutron irradiation and frequency effects on the electrical conductivity of nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC)" Physics Letters A, 2016
10. Elchin M. Huseynov "Investigation of the agglomeration and amorphous transformation effects of neutron irradiation on the nanocrystalline silicon carbide (3C-SiC) using TEM and SEM methods" Physica B: Condensed Matter 510, 99–103, 2017
11. Elchin Huseynov, Adil Garibov, Ravan Mehdiyeva, Efsane Huseynova "Effects of neutron flux on the nanosilic particles: ESR study" Modern Physics Letters B 30, N8, 1650115, 2016
12. Elchin Huseynov, Aydan Garibli "Effect of neutron flux on the frequency dependence of permittivity of nano silicon particles" Silicon, 2016

NEW CHALLENGE FOR INDUSTRIAL DEVELOPMENT AND SCIENCE/TECHNOLOGY CREATION  
WITH WWR-K REACTOR

Kanazawa H. <sup>\*1</sup>, Shaimerdenov A. <sup>\*2</sup>, Yoshida K. <sup>\*1</sup>, Chakrov P. <sup>\*2</sup>, Ishii T. <sup>\*1</sup>, Gizatuln S. <sup>\*2</sup>, Nitta H. <sup>\*1</sup>, Romanova N. <sup>\*2</sup>, Kawauchi Y. <sup>\*1</sup>, Maksimkin O. <sup>\*2</sup>, Kawamura H. <sup>\*1</sup>, Yamaguchi K. <sup>\*1</sup>, Kenzhin Y. <sup>\*2</sup>

<sup>\*1</sup> Chiyoda Technol Corporation, Japan

<sup>\*2</sup> The Institute of Nuclear Physics, Kazakhstan

Chiyoda Technol Corporation (CTC) is the only company in Japan who product and sell radioactive materials irradiated in a research reactor. We used a research reactor which is called JMTR and JRR3 in Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to manufacture radioactive materials. Besides we import radio isotopes from all over the world for Japanese customers. We mainly product Ir-192 source for Non-Destructive Test, Au-198 grain and Ir-192 pin for cancer treatment and short-half-life radionuclides. We have a facility which suitable for GMP compliance in JAEA. But we haven't manufactured radioactive material since 2011 because all research reactors in Japan have stopped the operation due to the Great East Japan Earthquake.

We decided to promote below projects using WWR-K research reactor in the Institute of Nuclear Physics, Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan (INP) according to memorandum of understanding between INP and CTC. Today we are going to introduce these projects to you.

① For Radio-isotope Production Technology Development, manufacturing RI for industrial and medical for Japanese market at WWR-K reactor and constructing RI transport route from Kazakhstan to Japan.

② Research of adsorbent material of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> for development of Mo-99/Tc-99m generator by (n,γ) reaction.

③ To develop irradiation technology at WWR-K reactor, we will serve as an intermediary between INP and Japanese researcher who wants to use WWR-K reactor. First of the irradiation study, we are planning to promote Molten Salt FLiNaK irradiation.

④ For research and development of NTD-Si semiconductor, to promote developing large size φ300mm NTD-Si semiconductor first in the world.

**ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕАКТИВНЫХ ПРИМЕСЕЙ В РАДИОФАРМПРЕПАРАТАХ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ПРИБОРЕ «SPECTRO GENESIS»**

*Медведева З.В., Чакрова Е.Т., Афанасьева Н.Н., Вишнякова И.Г., Быстрыков Ю.К., Солониккина С.Г., Гурин А.Н.*

Институт Ядерной Физики Министерства Энергетики Республики Казахстан, Алматы, Казахстан

В современных требованиях к производству радиофармпрепаратов (РФП) большое внимание уделяется необходимости валидировать инженерные системы, производственные процессы и аналитические методы контроля качества.

При подготовке к сертификации производства РФП была проведена валидация и верификация аналитических методик контроля качества РФП на основе <sup>99m</sup>Tc и <sup>131</sup>I. Были верифицированы методики биологического испытания на стерильность, определения радиохимической чистоты РФП методом нисходящей бумажной хроматографии на хроматограммсканере «VCS-103», определения радионуклидной чистоты, титриметрического определения натрия хлорида и натрия тиосульфата, а также методики идентификации <sup>99m</sup>Tc и <sup>131</sup>I.

В данной работе представлены экспериментальные данные, полученные при валидации методик определения неактивных примесей в РФП методом атомно-эмиссионной спектрометрии на приборе «Spectro Genesis». Была подтверждена специфичность определения каждой примеси в присутствии друг друга и других компонентов препарата, а также подтверждены значения пределов обнаружения каждой примеси.



**ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО КУЛОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ БИОЛОГИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРАПИИ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ**

*Долгополов М.А.<sup>1</sup>, Забелин М.В.<sup>2</sup>, Щелухина Е.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Российская Федерация

<sup>2</sup>Федеральное медико-биологическое Агентство, Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup>ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России, Москва, Российская Федерация

Эффективность лечения ряда онкологических заболеваний с помощью лучевой терапии (ЛТ) тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) является в настоящее время общепризнанной. Этим объясняется бурный рост радиологических центров, использующих пучки тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) с энергией более 100 МэВ, как за рубежом, так и в России. Преимущества ЛТ ТЗЧ хорошо известны и обусловлены особенностями потерь энергии ТЗЧ в веществе, в частности наличием узкого пика энерговыделения в конце пробега – пика Брэгга. При планировании сеансов ЛТ ТЗЧ учитывается относительная биологическая эффективность (ОБЭ), определяемая как доза в органе при облучении рентгеновскими лучами, к дозе, полученной в ЛТ ТЗЧ. Обе дозы вычисляются для 10% выживаемости клеток. Данные по ОБЭ сильно различаются при одинаковых потерях энергии на микрометр пути в веществе для различных ТЗЧ - протонов, альфа-частиц, ионов углерода, натрия и др. Общим свойством ОБЭ в ЛТ ТЗЧ является превышающее в несколько раз значение по сравнению с рекомендованным МКРЕ значением 1,1 [1]. Для понимания причин высокой ОБЭ были проанализированы различные факторы, связанные с биологическими эффектами, а также физические механизмы воздействия на клеточном уровне. В работе [2] анализировалась возможность захвата (средство) электрона ионизации фрагментом ДНК с последующим разрушением молекулы.

В настоящей работе рассмотрен механизм разрушения молекул ДНК, основанный на кулоновском рассеянии. Использование формулы Резерфорда и ее модификаций подразумевает упругое в системе центра масс рассеяние заряженной частицы на ядре за счет кулоновского экранированного потенциала. Это означает, что энергия отдачи ядра может принимать любые значения, не противоречащие законам сохранения энергии и импульса, хотя и с разной вероятностью. В столкновениях с молекулами следует учитывать связь рассеивающего атома с другими атомами в составе молекулы. Энергия отдачи при рассеянии может передаваться отдельному атому или фрагменту молекулы (радикалу), имеющему вращательно-колебательный спектр. При энергии протонов несколько МэВ, учитывая, что энергия отрыва фрагмента составляет менее 10 эВ, разрушение молекул за счет возбуждения нелинейных колебаний может начаться при угле рассеяния превышающем 0,005 радиан. Такой механизм может реализовываться и увеличивать ОБЭ по сравнению с традиционным ионизационным механизмом. Проверкой степени влияния этого механизма на ОБЭ может служить сравнительный анализ ОБЭ для ТЗЧ с различными массами и зарядами. С увеличением массы частиц эффект должен усиливаться при одинаковой кинетической энергии. Для молекул ДНК полный теоретический расчет возможных вариантов разрушения в результате отдачи при кулоновском рассеянии ТЗЧ невозможен вследствие сложной структуры ДНК и неопределенности параметров энергетических связей, формы и других параметров. В данной работе проводятся оценки эффекта, базирующиеся на известных к настоящему времени энергетических соотношениях и экспериментальной информации. Показано, что этот эффект в интервале энергий протонов 3÷16 МэВ для протонов играет заметную роль и может значительно увеличивать величину ОБЭ. Для обоснования предложенного механизма проведены модельные расчеты дезинтеграции связанных систем за счет отдачи при кулоновском рассеянии. Проведен анализ зависимости разрушения модельных систем от массы, заряда и кинетической энергии ТЗЧ.

1. Paganetti H. Relative biological effectiveness (RBE) values for proton beam therapy. Variations as a function of biological endpoint, dose, and linear energy transfer. // *Phys. Med. Biol.* 2014, V. 59, P. R419-72.
2. Kumar, A. and Sevilla, M. D. // *Theoretical Modeling of Radiation-Induced DNA Damage, in Radical and Radical Ion Reactivity in Nucleic Acid Chemistry* / ed. M. M. Greenberg, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ, USA, 2009, Ch.1.

## ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛОВ НА ИХ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ В РАСТВОРЕ С ГЕКСАНОМ

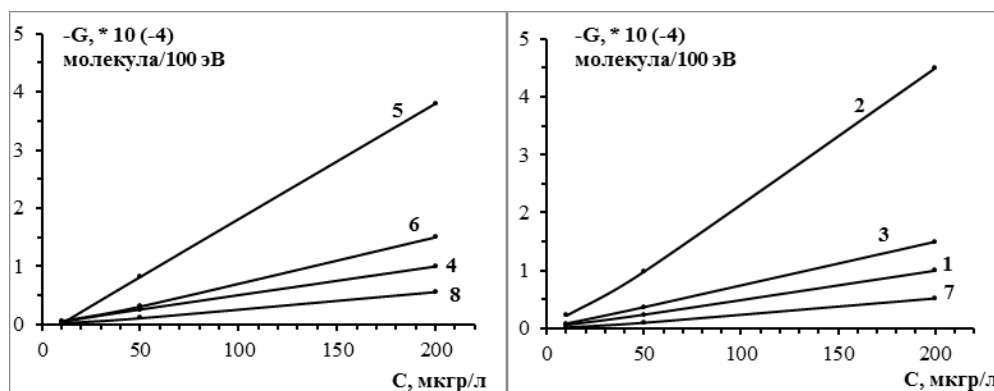
Абдуллаев Э.Т., Джамалов П.Дж., М.А. Курбанов М.А.

Институт Радиационных Проблем НАНА, Азербайджан, Баку, Az1143, Б. Вахабзаде 9  
elsad\_abdullayev@hotmail.com

В настоящее время одной из актуальных экологических проблем является утилизация полихлорбифенилсодержащих трансформаторных масел. В этом аспекте применение радиационно-химической технологии привлекает интерес из-за возможности повторного использования обработанных масел, одностадийность процесса и проведение его при низких температурах.

Полихлорбифенилы (ПХБ) используются, в основном, в качестве изоляционных и диэлектрических жидкостей в трансформаторах и конденсаторах. ПХБ обладают сильными токсичными и канцерогенными свойствами, и оказывают вредное воздействие на живые организмы в очень малых концентрациях. ПХБ, являясь устойчивыми органическими соединениями, были включены в список Стокгольмской Конвенции о Стойких Органических Загрязнителях.

В данной работе было изучено радиолитическое разложение стандартных растворов, изомеров 12 ПХБ (ПХБ 18 (2,2',5-трихлорбифенил), ПХБ 28+31 (2,4,4'-трихлорбифенил + 2,4',5-трихлорбифенил), ПХБ 52 (2,2',5,5'-тетрахлорбифенил), ПХБ 44 (2,2',3,5'-тетрахлорбифенил), ПХБ 101 (2,2',4,5,5'-пентахлорбифенил), ПХБ 118 + 149 (2,3',4,4',5-пентахлорбифенил + 2,2',3,4',5,6-гексахлорбифенил), ПХБ 153 (2,2',4,4',5,5'-гексахлорбифенил), ПХБ 138 (2,2',3,4,4',5'-гексахлорбифенил), ПХБ 180 (2,2',3,4,4',5,5'-гептахлорбифенил), ПХБ 194 (2,2',3,3',4,4',5,5'-октахлорбифенил)) в гексане (неполярный растворитель), вычислено радиационно-химические выходы процессов превращения ПХБ. Для приготовления растворов использована стандартная смесь из 12 ПХБ (СЕН РСВ Congener Mix 1, Supelco). Исследованы системы, содержащие 10, 50 и 200 мкг/л. Образцы подвергали облучению дозой 14 кГр от изотопа  $^{60}\text{Co}$ , мощность поглощенной дозы которого 30 рад/св статическом условии при комнатной температуре. Была изучена кинетика превращений ПХБ изомеров. Анализ ПХБ изомеров был проведен с помощью газового хроматографа (Agilent Technologies 7820A) с детектором электронного захвата (ДЭЗ). Установлено, что, с ростом дозы концентрация изомеров, за исключением ПХБ-52 и ПХБ-101 уменьшается. Полученные результаты приведены на рис.1.



**Рис. 1.** Зависимость радиационно-химических выходов, ПХБ изомеров от их начальной концентрации (1 - ПХБ 18, 2 - ПХБ 28+31, 3 - ПХБ 44, 4 - ПХБ 118+149, 5 - ПХБ 153, 6 - ПХБ 138, 7 - ПХБ 180, 8 - ПХБ 194).

Как видно, при радиолитическом разложении ПХБ изомеров в гексане радиационно-химические выходы линейно увеличиваются с ростом начальной концентрации в интервале 10 – 200 мкг/л и изменяются в пределах  $(0,05 - 4,5) \cdot 10^{-4}$  молекула/100 эВ. Обсуждается механизм возможных радиационно-химических процессов, протекающих в выше приведенной системе.

## ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ПРОРАСТАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ

© 2017 Авдюхина В.М., Близнюк У.А., Борщеговская П.Ю., Бусленко А.В., Еланский С.Н., Илюшин А.С., Кондратьева Е.Г., Левин И.С., Сеницын А.П., Студеникин Ф.Р., Черняев А.П.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Россия, г.Москва  
E-mail: [uabliznyuk@gmail.com](mailto:uabliznyuk@gmail.com)

В России в среднем собирается примерно 35 млн. тонн картофеля в год. При этом возникает необходимость в длительном хранении картофеля до следующего урожая. Одной из основных проблем хранения картофеля является его прорастание, в результате которого картофель теряет влагу и питательные вещества. В сельском хозяйстве применяются высокие дозы химических пестицидов для подавления прорастания клубней при хранении. Однако, пестициды, применяемые для обработки продукции во время хранения, накапливаются в клубнях. Возникает необходимость в применении альтернативных методов контроля прорастания картофеля [1–3].

Целью данной работы является экспериментальное исследование воздействия рентгеновского излучения на прорастание клубней картофеля в различные периоды его хранения, а также поиск минимальной дозы облучения, необходимой как для остановки, так и для частичного замедления прорастания клубней.

В качестве объекта исследования были выбраны клубни картофеля сорта «Жуковский ранний» урожая 2016 года в количестве 100 кг. Эксперимент проходил в четыре этапа. На этапе 1 было произвольным образом отобрано 198 клубней, которые облучались рентгеновским излучением спустя два месяца после сбора. На этапе 2 176 клубней подвергли воздействию рентгеновского излучения через три месяца хранения. Этап 3 облучения проходил спустя четыре месяца хранения (154 клубня), этап 4 – через пять месяцев после сбора урожая (132 клубня).

В ходе проведенных экспериментов показано, что воздействие рентгеновского излучения на клубни картофеля, облученные в октябре, ноябре и декабре, приводят к полной остановке их прорастания в дозах от 15 - 20 Гр и более в течение времени наблюдения. Для клубней, облученных в январе, ингибирование прорастания наблюдается в дозах от 10 Гр и более. Концентрация восстанавливающих сахаров в контрольных образцах урожая августа 2016 года практически не менялась до декабря 2016 года, затем наблюдался резкий скачок концентрации сахаров в январе и дальнейший спад в феврале 2017 года. После воздействия рентгеновского излучения наблюдаются флуктуации концентраций восстанавливающих сахаров в клубнях картофеля, облученных в различных дозах, причем максимум флуктуаций наблюдался через месяц после каждого облучения. К марту 2017 года концентрация восстанавливающих сахаров клубней, облученных в различных дозах, была меньше или равна концентрации сахаров в контрольных образцах.

1. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. (Весь Мир, Москва, 2007).
2. *Rezaee M. et al.* // J. Agr. Sci. Tech. 2001. V. 13. P. 829.
3. *Nouri J., Toofanian F.* // Pakistan J. Biosci. 2001. V. 4. P. 1275.

## ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОЗДАНЫХ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК СПЛАВОВ Si

*Наджафов Б.А., Абдуллаев Х.Ш., Исмаилова С.М.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана

Проводились много исследований действия радиации и фотоиндуцированных эффектов в  $\alpha$ -Si:H и его сплавов, связанные с изменениями параметров материала. Наблюдались изменения диффузионной длины носителей, плотности неспаренных спинов, плотности состояний в щели и пропускания в инфракрасной области. Большие изменения проводимости могут быть вызваны изменением положения уровня Ферми. Было установлено, что в общем случае свет вызывает смещение  $E_f$  к середине щели: эффект наиболее ярко выражен при низких уровнях легирования, но исчезает при сильном легировании. Известно, что в пленках  $\alpha$ -Si:H при световом воздействии наблюдается изменение проводимости. Таким образом, важно исследовать стабильность солнечных элементов на основе  $\alpha$ -Si:H и его сплавов в различных условиях окружающей среды и особенно при экспозиции их под солнечными лучами. Исследовали изменения некоторых показателей солнечных элементов с

*p-i-n*-переходом при воздействии белого света мощностью 100 мВт/см<sup>2</sup> через *p*-слой в течение нескольких часов. Темновые вольтамперные характеристики (ВАХ), диодный фактор и обратный ток и вольтфарадные характеристики изменяются при экспозиции, а фотовольтаические свойства совсем не изменяются. Из сравнения зависимостей эффективности собирания от длины волны для нестабильных элементов до и после длительного воздействия сделан вывод, что изменения происходят в *i*-слое и обусловлены захватом и рекомбинацией оптически генерируемых носителей. С другой стороны, если элемент не герметизирован, обычные погодные процессы могут вызывать коррозию металлических комплексов. Влажность также может испортить приповерхностный слой негерметизированного солнечного элемента на основе *a-Si:H*. Высокие температуры эксплуатации ( $T \geq 150^\circ\text{C}$ ) могут оказаться причиной ухудшения свойств, в том числе, если в качестве контактов используются металлы типа Al.

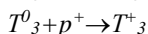
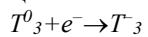
Наконец, некоторые пленки *a-Si:H* обладают высокой плотностью метастабильных дефектов, которые могут оказаться причиной ухудшения свойств в процессе освещения. Герметизация необходима для того, чтобы увеличить работоспособность любого типа солнечного элемента. Ухудшение свойств, связанные с погодой и влажностью, не будет играть роли в хорошо сконструированных солнечных панелях на основе *a-Si:H*. При температуре 100°C диффузия водорода так мала, что существенной деградации не происходит за время 10<sup>4</sup> лет. Если в качестве контактного электрода используется Al, то при температурах, близких к 100°C, может происходить кристаллизация, ухудшающая свойств элемента.

В работе исследованиями релаксационной спектроскопии показано, что в *p-i-n* элементах на нержавеющей стали, появляются метастабильные состояния. Обнаружено, что метастабильные состояния, захватывающие электроны с энергией активации около 1 эВ. Энергия активации процесса эмиссии электрона из глубоких уровней была равна 0,93 эВ, которая очень близка энергию активации захвата. В ряде экспериментов метастабильные состояния связывались с примесями. Было изготовлено серия *p-i-n*-элементов при различных скоростях натекания воздуха при длительном времени, а затем сразу после изготовления и после 48 ч освещения белым светом (~100 мВт/см<sup>2</sup>) проводилось измерение к.п.д. Вначале к.п.д. составлял ~4%, но после засветки к.п.д. уменьшался при возрастании скорости натекания воздуха. Отжиг в течение нескольких минут при 200°C устранял деградацию.

Однако в пленке *a-Si:H* при освещении наблюдается изменение параметров переноса. У нестабильного элемента деградация проявляется главным образом как снижение коэффициента заполнения ( $\zeta$ ) и тока короткого замыкания  $I_{кз}$ , но первоначальные характеристики устройства можно восстановить отжигом при 175°C в течение 30 мин. Деградация зависит от условий работы: она максимальна при разомкнутой цепи ( $V_\infty$ ), снижается при закороченной цепи ( $I_{кз}$ ) и практически исчезает при достаточно большом обратном смещении. Изменение электронных свойств материала появляется не только при освещении белым светом, а также после облучения материала потоком порядка  $2 \cdot 10^{21}$  фотон/см<sup>2</sup>. Например, исследование показывает, что эффективность собирания элементов в зависимости от длины волн, при возбуждении Ag или He-Ne-лазером, различны. В обоих случаях падающий поток составлял  $2 \cdot 10^{21}$  фотон/см<sup>2</sup>. Оказалось, что эффективность собирания на коротких длинах волн при использовании Ag-лазера хуже, чем при He-Ne-лазере. Отсюда можно сделать вывод, что изменения в элементе могут быть вызваны комбинацией объемных и поверхностных рекомбинационных эффектов. Обычно облучение вызывает уменьшение произведения  $\mu\tau$  для дырок и электронов и, кроме того, увеличение скорости поверхностной рекомбинации.

Изменение параметров при освещении или облучении также связано неоднородностью пленок *a-Si:H*, которое, как оказалось, состоит из областей с высокой и низкой концентраций водорода. На основании модели Адлера неоднородность распределения H может быть ответственна за создания как пар  $T^+_3-T_3$ , так и изолированных центров  $T^0_3$ .

Предполагается, что избыточное фотогенерируемые электроны и дырки могут захватываться изолированными  $T^0_3$ -центрами и в соответствии с процессами:



Здесь  $T^+_3$  и  $T_3$  заряженные центры пар и имеют энергии, более близкие к середине щели, следовательно, не высвобождают захваченные носители.

Кроме указанных факторов, явление нестабильности в устройствах этого типа связывается также с механическими напряжениями. В нелегированном *a-Si:H* обычно имеются напряжения сжатия, которое можно измерить с помощью методики искривления подложки. Было установлено, что количество метастабильных дефектов возрастает со средним напряжением, т.е. рекомбинация индуцирует разрыв слабых связей. Однако этот вывод не всегда подтверждается. Несмотря на все эти проблемы, деградацию можно уменьшить инженерными методами. Таким образом, если толщина устройств приблизительно равно наименьшему значению ширины собирания, элемент стабилизируется, т.е. заметных эффектов деградации не наблюдаются.

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДА КОБАЛЬТ-57 НА СУЛЬФИДНЫХ СОРБЕНТАХ

Егамедиев С.Х., Нурбаева Д.А., Мухамедов М.М.

Институт Ядерной Физики АН РУз, г. Ташкент, Республика Узбекистан

Практическое значение и сферы применения неорганических сорбентов обусловлены, прежде всего их высокой селективностью, химической, термической и радиационной устойчивостью. Необходимость в применении неорганических сорбентов возникает, как правило, лишь в тех случаях, когда иониты, широко выпускаемые промышленностью, не удовлетворяют требованиям эксплуатации. Возможности подбора или синтеза неорганических сорбентов с заданными свойствами практически исчерпаемы. Это обусловлено тем, что в качестве сорбентов могут использоваться неорганические соединения многих классов, способные поглощать ионы растворов за счет различных типов сорбционных актов, а также тем, что современные методы синтеза и модифицирования неорганических сорбентов позволяют варьировать их свойства в широких пределах.

К настоящему времени накоплен обширный материал по исследованию сорбционных свойств таких широко известных соединений, как окислы, гидроокиси, фосфаты, различные алюмосиликаты, гетерополикислоты и их соли, ферроцианиды [1]. Перспективными соединениями, которые могут быть использованы для создания селективных сорбционных материалов, являются также сульфиды металлов [2]. Так субмикронные частицы сульфидов ZnS и CuS успешно использовали для извлечения меди, кадмия, европия, церия и кобальта из модельных растворов [3-4]. Однако чистые сульфиды переходных металлов в большинстве своем являются тонкодисперсными веществами и непосредственное их использование в процессах выделения радионуклидов в качестве фильтрующего материала невозможно. Поэтому с целью улучшения характеристик сульфидных сорбентов их лучше получать в виде композиций с использованием в качестве матриц различные материалы (силикагели, цеолиты, целлюлоза, смолы, углеродные и полимерные волокна).

Целью настоящей работы является получение и изучение сорбционных свойств сорбента на основе сульфида меди нанесённого на крупнопористый силикагель КСКГ. Изучен способ приготовления сульфидного сорбента на основе CuS/SiO<sub>2</sub> для селективной сорбции радионуклида <sup>57</sup>Co. Показано, что термическая обработка сульфидного сорбента при температуре 200 °С обеспечивает количественную адсорбцию радионуклидов кобальта из реальных жидких радиоактивных отходов и при этом степень адсорбции достигает 75-85 %.

Данная работа была выполнена при поддержке ККРНТ при Кабинете Министров Республики Узбекистан, грант № ФА-А12-Ф009.

1. Вольхин В.В., Егоров Ю.В., Белинская Ф.А., Бойчинова Е.С., Малофеева Г.И. Неорганические сорбенты. // В кн.: Ионный обмен. - М.: Наука, 1981 г. - С.25 – 44.

2. Золотов Ю.А., Кузьмин Н.М. // Концентрирование микроэлементов. –М.: Химия, 1982 г. -288с.

3. Софронов Д.С., Беликов К.Н., Камнева Н.Н., Брылёва Е.Ю., Булгакова А.В., Чебанов В.А. Получение субмикронных частиц ZnS и их сорбционные свойства. // Сорбционные и хроматографические процессы. -2014. –Т.14, вып. 1. – С. 159-165.

4. Булгакова А.В., Софронов Д.С., Брылёва Е.Ю., Беликов К.Н., Чебанов В.А. Извлечении металлов из водных растворов частицами CuS. // Сорбционные и хроматографические процессы. -2015. –Т.15, вып. 3. – С.366-372.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IN-SITU ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ  $^{99m}\text{Tc}$

Карнаухо И.М., Михайлов В.А., Борц Б.В., Ушаков И.В., Кутний Д.В., Ванжа С.А., Гриво А.Г., Стомин В.Л., Белкин Ф.В., Зима Г.В., Медведев А.В.

ННЦ «Харьковский физико-технический институт», г. Харьков, Украина

По данным МАГАТЭ [1] во всем мире около 80% от всех выполняемых диагностических исследований в различных областях медицины приходится на радиофармацевтические препараты, содержащие радиоизотоп  $^{99m}\text{Tc}$ .

В ННЦ ХФТИ в рамках проекта сооружения ядерной подкритической установки «Источник нейтронов» было поставлено технологическое оборудование для производства препарата «Натрия пертехнетат [ $^{99m}\text{Tc}$ ], экстракционный», которое в настоящий момент прошло предварительные тестовые испытания.

Очевидно, что для организации поставки препарата «Натрия пертехнетат [ $^{99m}\text{Tc}$ ], экстракционный» непосредственно в медицинские учреждения должно быть обеспечено проведение соответствующего контроля качества готового препарата, а именно должны быть разработаны и внедрены соответствующие аналитические методики различных видов контроля, например, измерение объемной радиоактивности и радионуклидной чистоты.

Стандартные методы гамма-спектрометрии широко используются при контроле объемной активности  $^{99m}\text{Tc}$  и содержания в нем радионуклидных примесей, однако, для определения абсолютных значений активности требуются соответствующие стандартные радиоактивные растворы с целью расчета абсолютной эффективности регистрации гамма-детектора в заданном диапазоне энергий. Таким образом, применение in-situ гамма-спектрометрии на этапах отработки технологии получения  $^{99m}\text{Tc}$  в отсутствие сертифицированных стандартных образцов является практически единственной альтернативой для оценки качества промежуточных и конечных продуктов технологии.

Образцы для тестирования технологического оборудования для производства препарата натрия пертехнетат ( $^{99m}\text{Tc}$ ) были получены путем облучения порошка  $\text{MoO}_3$  массой 10 г в активной зоне исследовательского реактора ВВР-М Киевского института ядерных исследований НАН Украины. Для набора гамма-спектров использовался охарактеризованный компанией-производителем (Canberra, США) низкоэнергетичный детектор на основе германия высокой чистоты типа GL 1015 площадью 1000 мм<sup>2</sup> и толщиной 15 мм со следующими значениями энергетического разрешения: 0,3 кэВ для энергии  $\gamma$ -квантов 5,9 кэВ и 0,6 кэВ для энергии 122 кэВ. Для обработки данных применялось программное обеспечение ISOCS (In Situ Object Counting System), которое позволяет проводить расчет абсолютной эффективности регистрации детектора для различных геометрий «источник-детектор» без применения стандартных образцов. Подход к решению такой задачи основан на моделировании пространственно-энергетических параметров конкретного детектора методом Монте-Карло, проверки адекватности модели с помощью тестовых измерений и собственно расчете кривой абсолютной эффективности. Геометрия измерений «источник-детектор» моделировалась в опции «Geometry Composer», а ее корректность проверялась путем расчета активностей точечных источников типа ОСГИ ( $^{60}\text{Co}$ ,  $^{152}\text{Eu}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ). Рассчитанные с помощью ISOCS значения активности источников совпадали с паспортными данными в пределах  $\pm 4\%$ .

В результате анализа гамма-спектров проб растворов, содержащих  $^{99}\text{Mo}$ ,  $^{99m}\text{Tc}$  и  $^{99}\text{Mo} + ^{99m}\text{Tc}$  на различных этапах технологического процесса, получены значения их активностей в интервале 29...182 МБк. Все измеренные гамма-спектры показали достаточно интенсивный пик суммирования с энергией 281,0 кэВ от основной гамма-линии  $^{99m}\text{Tc}$ . Кроме этого в гамма-спектрах проб растворов  $^{99}\text{Mo}$  и  $^{99}\text{Mo} + ^{99m}\text{Tc}$  наблюдались гамма-линии с энергиями 479,5, 685,8 и 772,9 кэВ радионуклида  $^{187}\text{W}$ . Однако в пробе раствора, содержащего готовый препарат с  $^{99m}\text{Tc}$ , радионуклидных примесей обнаружено не было.

1. Technetium-99m radiopharmaceuticals: manufacture of kits. Vienna: International Atomic Energy Agency, 2008. – (Technical reports series, ISSN 0074–1914; no. 466)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АННИГИЛЯЦИОННЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ**

*Варзарь С.М., Лыкова Е.Н., Морозова Е.П., Синельников А.Г., Черняев А.П.*

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,  
физический факультет, Москва, Россия

Лучевая терапия занимает значительное место в лечении онкологических заболеваний. В последние годы стали внедряться радиотерапевтические методики, которые позволяют контролировать положение опухоли непосредственно в процессе облучения, сокращая время процедуры и минимизируя негативное воздействие на пациента. Примером совмещения диагностики и лучевой терапии является установка «Томотерапия», в которой пучок ионизирующего излучения с высочайшей точностью направляется на опухоль, а встроенный компьютерный томограф определяет форму, размер и положение опухоли за считанные секунды до начала сеанса.

Нами предлагается развить метод, который может стать способом оценки распределения дозы в теле пациента при облучении. Метод аналогичен тому, который используется в ПЭТ-томографии и основан на регистрации аннигиляционных фотонов. Рождение электрон-позитронных пар является одним из процессов, который происходит при взаимодействии с веществом фотонов с энергией более 1,22 МэВ. Возникшие позитроны в дальнейшем аннигилируют с образованием фотонов. Регистрируемые фотоны, можно получить информацию, которая после соответствующей обработки позволит сделать вывод о распределении дозы.

Для исследования предлагаемого метода был выполнен компьютерный эксперимент с использованием пакета Geant4, основанного на методе Монте-Карло. В рамках выполненной работы была оценена корреляция между распределением поглощенной дозы фотонного излучения и распределением мест аннигиляции позитронов, проанализированы энергетические спектры тормозных и аннигиляционных фотонов.

Проводится обсуждение полученных данных.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЯДЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА РЕАКТОРЕ ИВВ-2М**

*Дьяков А.А., Козлов А.В., Марков Д.В., Толстоухов И.И., Хвостов С.С.*

АО «Институт реакторных материалов», п/я 29, г. Заречный, Свердловская обл., 624250, Россия

Известны проблемы, связанные с неравномерностью легирования кристаллов кремния, выращенных методом Чохральского. В настоящей работе математическим моделированием исследуется возможность получения однородного по удельному электрическому сопротивлению кремниевого слитка методом ядерного легирования для солнечной энергетики и силовой электроники. Метод ядерного легирования кремния основан на следующей ядерной реакции: изотоп  $^{30}\text{Si}$ , поглощая нейтрон, превращается в изотоп  $^{31}\text{Si}$ , который, распадаясь, превращается в стабильный  $^{31}\text{P}$ . В результате получается кремний электронного типа проводимости с высокооднородным распределением легирующей добавки фосфора по объёму слитка.

Приведены данные, полученные при помощи расчетного кода MCU-RFFI/A с библиотекой констант DLC/MCUDAT-1.0, являющимся разработкой Курчатовского института. Расчеты проведены применительно к реактору ИВВ-2М АО «Институт реакторных материалов». Произведена оценка изменения плотности потока нейтронов по радиусу и длине слитка диаметром 229 мм (9 дюймов).

Рассмотрен вариант размещения вертикального экспериментального канала для облучения кремния рядом с активной зоной реактора. Для канала с графитовым окружением средняя плотность потока тепловых нейтронов в слитке кремния на высоте его перемещения 1,5 м составила  $5 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ , а радиальная неравномерность - 6 %. Исходя из средней плотности потока тепловых нейтронов в зоне облучения, длительность облучения для достижения удельного электрического сопротивления 6 Ом·см (кремний «солнечного» качества) не превысит 9 суток.

МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ БИОИМПЛАНТАТОВ

Розанов В.В. <sup>1,2</sup>, Матвейчук И.В. <sup>2</sup>, Черняев А.П. <sup>1</sup>, Никитина З.К. <sup>2</sup>, Гордонова И.К. <sup>2</sup>, Литвинов Ю.Ю. <sup>2</sup>, Лыкова Е.Н. <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Физический факультет Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова,

<sup>2</sup>Научно-исследовательский и учебно-методический центр биомедицинских технологий Всероссийского научно-исследовательского института лекарственных и ароматических растений, г. Москва, Российская Федерация

Радиационные методы стерилизации находят все более широкое применение в различных областях, в первую очередь при производстве оборудования и изделий медицинского назначения. Анализ показывает, что радиационная стерилизация биоимплантатов является на сегодняшний день наиболее востребованной и перспективной методикой. Такая технология обеспечивает возможность обработки термонеустойчивых изделий и биологического материала, критичного к гипертермии. Высокая проникающая способность гамма-квантов и быстрых электронов позволяет осуществлять эффективную обработку не только поверхностных слоев, но и всего объема образца, а также стерилизацию герметично упакованных образцов, что в свою очередь предотвращает их повторную контаминацию патогенами.

Эффективность процесса стерилизации зависит от многих факторов, однако определяющим является величина поглощенной дозы. В большинстве стран в качестве основного стандарта принимается доза 25-30 кГр. Считается, что такое воздействие должно обеспечить необходимый уровень стерильности имплантата без существенного снижения его остеоиндуктивных характеристик. С другой стороны, существуют мнения о необходимости использования высоких доз (40-50 кГр) для исключения развития ВИЧ-инфекции. Однако существенное превышение стандартной дозы может приводить к разрушению морфогенетических белков. Кроме того, существуют работы, убедительно доказывающие, что уже при дозе в 15 кГр имеют место существенные изменения структуры биоимплантатов. Таким образом, применение и дальнейшее развитие эффективной методики радиационной стерилизации биоимплантатов связано с решением серьезной проблемы – максимально возможного снижения дозы поглощения при одновременном обеспечении приемлемого уровня их стерильности.

Проведенный анализ дает основание заключить, что одним из возможных подходов к решению рассматриваемой проблемы является разработка комбинированных методик стерилизации, основанных на использовании сочетанного действия стерилизующих факторов различной природы. При этом радиационная обработка дополняется другим видом стерилизующего воздействия. Оба фактора должны не просто дополнять друг друга, а обеспечивать достижение синергетического эффекта, существенно усиливая эффективность процесса.

В качестве такого дополнительного фактора предложено использование химической обработки образцов в газовой среде - в озono-кислородной смеси. Бактерицидные свойства озона известны давно. Он обладает выраженными бактерицидными, вирицидными, фунгицидными свойствами, эффективен в борьбе со многими видами грибов, вирусов, бактерий и простейших. При этом продукты обработки – не токсичны, а сам остаточный озон быстро разлагается естественным путем и не наносит вреда окружающей среде.

Для проверки работоспособности предлагаемой комбинированной методики проведена серия экспериментов по стерилизации костных имплантатов. В качестве экспериментальных образцов использованы фрагменты бедренных костей быка с исходной контаминацией смешанной микрофлорой. Микробиологические исследования выполнены в Лаборатории биомедицинских технологий на базе НИЦ БМТ ФГБНУ ВИЛАР с использованием двух культуральных сред – тиогликолевой и среды Сабуро – для определения наличия аэробных и анаэробных бактерий, микроскопических грибов. В указанной Лаборатории осуществляли первый этап комбинированной обработки костных фрагментов - воздействие озono-кислородной смесью низкой концентрации. Такое воздействие (как показал эксперимент) само по себе не обеспечивало необходимый уровень стерильности образцов, как и радиационная обработка с дозами 11-27 кГр. Радиационное облучение потоком быстрых электронов было выполнено на линейном ускорителе электронов непрерывного действия НИИЯФ МГУ имени М.В.Ломоносова. Результаты исследований показали, что только образцы, прошедшие комбинированную двухэтапную обработку озono-кислородной смесью и радиацией, обладают достаточным уровнем стерильности уже при дозе 11 кГр.



**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ КОСТНЫМ ИМПЛАНТАТОМ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ**

*Розанов В.В.<sup>1,2</sup>, Николаева А.А.<sup>1</sup>, Черняев А.П.<sup>1</sup>, Матвейчук И.В.<sup>2</sup>, Белоусов А.В.<sup>1</sup>, Юров Д.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, <sup>2</sup>Научный и учебно-методический центр биомедицинских технологий ВИЛАР, г. Москва  
[naa90@mail.ru](mailto:naa90@mail.ru)

Величина поглощаемой дозы в процессе радиационной стерилизации костных имплантатов зависит от многих параметров процесса радиационной обработки вплоть до характеристик и геометрии самих образцов. В связи с этим при выборе и реализации радиационного способа стерилизации очень важно правильно метрологически обеспечить получение облучаемыми образцами необходимой дозы как при промышленной обработке продукции тканевого банка, так и при проведении экспериментальных работ, направленных на развитие методики радиационной стерилизации.

Цикл таких исследований был осуществлен в совместной (МГУ имени М.В.Ломоносова и ВИЛАР) лаборатории биомедицинских технологий. Эксперименты имели своей основной целью развитие подходов к развитию комбинированных технологий стерилизации, в основе которых лежит радиационная обработка с меньшими дозами поглощения. В этой связи было особенно критично максимально точное определение реально поглощаемой дозы.

В экспериментах использовались образцы компактной костной ткани быка с размерами 18x8x6 мм со средним весом около 2 г. Облучение проводилось на линейном ускорителе электронов непрерывного действия НИИЯФ МГУ (энергия 1 МэВ, мощность пучка до 25 кВт). Дозиметрический контроль поглощенной дозы ионизирующего излучения выполнялся с помощью пленочного детектора-дозиметра СО ПД (Ф)Р-5/50.

На первом этапе метрологического контроля осуществлялась математическая оценка поглощенной дозы, основанная на расчете накопленного заряда на пластине, на которую помещались образцы. Оценка производится на основании параметров пучка, настраиваемых на ускорителе (ток пучка, время воздействия) и свойствах образца.

Второй этап состоит в построении модели эксперимента с помощью программного пакета GEANT4 (GEANT4 представляет собой свободно распространяемый программный пакет, состоящий из компонентов, которые могут быть использованы для моделирования физических процессов в области ядерной физики и физики элементарных частиц).

Третьим этапом является непосредственно прямая объективная регистрация величины поглощенной дозы. На верхнюю и нижнюю часть образца приклеивается пленочный детектор-дозиметр, устанавливается ток пучка и проводится облучение в течение времени, необходимого для получения образцом установленной дозы. С помощью оптического спектрофотометра с пленочных детекторов считывается оптическая плотность и рассчитывается измеренная доза. В результате обеспечивается получение полной объективной картины параметров эксперимента.

**INFLUENCE OF THE IRRADIATION TEMPERATURE ON THE CHARACTER OF RADIATION STRUCTURING OF BUTADIENE-NITRILIC RUBBER SKN-26**

*Akhundzada H.N., Mammadov Sh.M., Samadov O.A.*

Institute of Radiation Problems ANAS, Baku, Azerbaijan  
[hacivahidd@gmail.com](mailto:hacivahidd@gmail.com)

It is known that irradiation of elastomers by high intensity radiation can be accompanied by a significant increase in the temperature of the samples.

As studies of temperature changes over a wide range have shown, there is little effect on the rate of the course of radiation-chemical processes in elastomers.

In studying radiation-chemical processes of butadiene-nitrile rubber (NBR) in some cases, heating of the sample is recommended to accelerate the process of radiation cross-linking simultaneously with irradiation.

Since the crosslinking process of the elastomers with different chemical structure proceeds with different efficiencies and depends on the factors considered in different ways.

If the connection of the majority of molecules for the radiation cross-linking of the NBR forms a spatial grid and this seems natural, then in the case of a thermo radiation reaction this fact needs to be justified.

Investigations of radiation-chemical changes (crosslinking, formation of effective cross-links by the content of EPR double bonds and IR structure) and features of the strength properties of SKN-26 rubber under thermo radiation influence have not been carried out to date. In this paper, an attempt is made to explain this phenomenon.

The effect of the irradiation temperature on the character of the radiation patterning of the SKN-26 butadiene-nitrile rubber is given. It is shown that with increasing irradiation temperature by gamma rays of SKN-26 rubber in the range of 273-423 K is accompanied by an increase in the rate of intrinsic viscosity and gel in thermo radiation samples. With the help of physic-mechanical and spectral methods, the change in the molecular structure of rubber is shown, free radicals are determined by the EPR signal and the concentration of double bonds in the cis-trans isomerization of the exposed SKN-26 rubber.

Radiation-chemical cross-linking yields and cross-linking in rubber are shown, depending on the absorbed dose and temperature. The dependence of the strength properties of irradiated rubber at 423 K on the number of effective cross-links was studied. An assumption is made about the mechanism of structuring of irradiated SKN-26 rubber at high temperatures.

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ GMP ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РФП**

*Зелинская Е.В.*

Российское представительство акционерного общества ИОН БИМ АППЛИКЭЙШНС С.А.,  
г. Москва  
Elena.Zelinskaya@iba-group.com

Лекарственные препараты это особый вид продукции. Качество ЛС должно быть обеспечено технологией и организацией производства так, чтобы продукция, не соответствующая установленным требованиям, не могла появиться.

Особенности, отличающие ЛС от других видов продукции:

-Сплошной контроль лекарственных средств неразрушающими методами по всем показателям невозможен;

-Потребитель не может проверить качество ЛС, он должен доверять производителю.

-Выборочный контроль не дает гарантии того, что дефектная продукция не окажется на рынке.

Производитель должен производить ЛС так, чтобы гарантировать их соответствие требованиям регистрационного досье. Ответственность за выполнение этих требований несёт руководство производителя.

Для достижения этих целей производитель должен разработать ФСК.

Производитель должен документально оформить фармацевтическую систему качества и контролировать её эффективность.

С 6 Мая 2017 вступили в силу Правила N 77 «Надлежащей Производственной Практики» Евразийского Экономического Союза Утверждённые Решением Совета Евразийской экономической комиссии от 3 ноября 2016 г.

Евразийский экономический союз (ЕАЭС) - международная организация региональной экономической интеграции, обладающая международной правосубъектностью. В ЕАЭС обеспечивается свобода движения товаров, а также услуг, капитала и рабочей силы. Начали действовать единые правила регистрации и производства лекарственных средств на территории ЕАЭС. Государствами-членами ЕАЭС являются Армения, Беларусь, Казахстан, Российская Федерация, Киргизия.

## КВАЛИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ

Зелинская Е.В.

Российское представительство акционерного общества ИОН БИМ АППЛИКЭЙШНС С.А.,  
г. Москва

Elena.Zelinskaya@iba-group.com

Квалификация оборудования – это часть процесса валидации.

Квалификация проводится для того, чтобы быть уверенными в том, что оборудование:

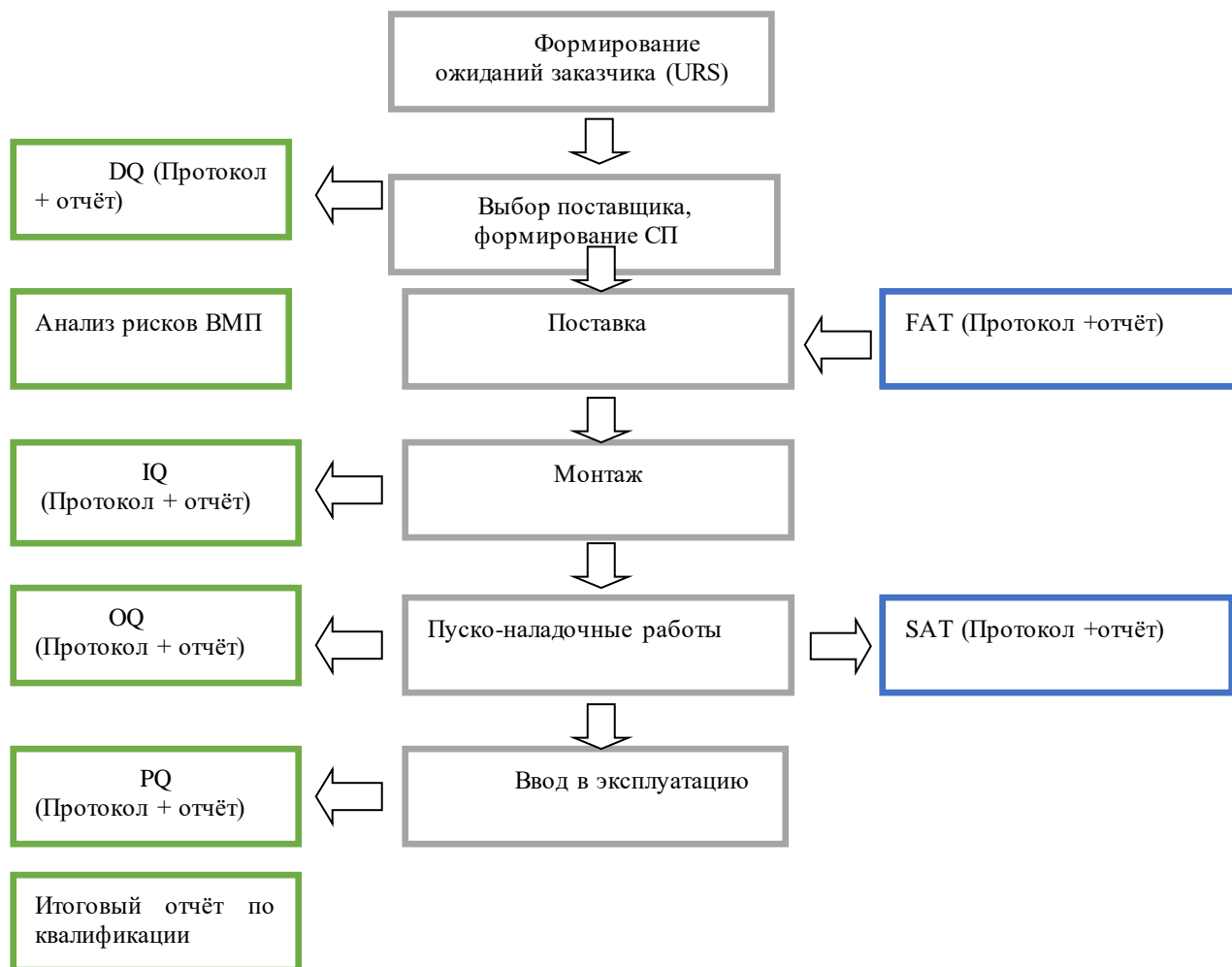
-не влияет на качество продукта;

-работает в соответствии с заданными параметрами.

Удовлетворительные результаты квалификации оборудования позволяют перейти к валидации технологического процесса.

Всю деятельность по квалификации необходимо планировать. Деятельность по квалификации основывается на анализе рисков.

### Схема этапов квалификации



Для систем и оборудования, которые не имеют прямого воздействия на продукт достаточно провести IQ или комбинированные IQ/OQ.

Если оборудование или система имеет прямое воздействие на качество, безопасность или эффективность РФП, то проводятся квалификационные мероприятия в полном объеме.

Квалификация оборудования всегда делается первым этапом перед валидацией методик и процесса. Нельзя проводить валидацию процесса на неквалифицированном оборудовании.

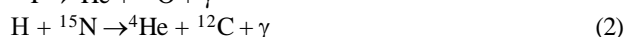
## ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДА В ПЛЕНКАХ СПЛАВОВ Si

Наджафов Б.А., Абдуллаев Х.Ш., Сафарова В.М.

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана

Одним из важнейших вопросов в получении гидрогенизированных материалов представляет интерес введения водорода и определения его роли в структуре таких материалов. Содержание водорода в пленке, иногда, можно регулировать, изменением парциального давления водорода. Однако, содержание водорода в пленке зависит и от других параметров, таких как ВЧ мощность, температура подложки, скорость осаждения. Между содержанием водорода и его парциальным давлением не существует простого соотношения. Сообщается, что в распыленном Si водород в пленке достигает до 50 ат.%. Для оценки содержания водорода применялись такие методы, как измерение диффузии водорода, ИК поглощения, метод ядерных реакций, вторично-ионная масс-спектрометрия (ВИМС) и ядерный магнитный резонанс (ЯМР). Вызывает также большой интерес вопрос о распределении и расположении водорода как в кремниевой пленке, так и в его сплавах. Содержание водорода в  $\alpha$ -Si:H и его сплавах легко определяется простым опытом. Например, нагревание нескольких миллиграмм материала до  $\sim 700^\circ\text{C}$  вызывает измеримое повышение давления в объеме 50 мл. Часть этого водорода ковалентно связана с кремнием, что также легко доказать: в спектрах ИК поглощения свежеприготовленных пленок толщиной несколько микрометров присутствуют характерные линии связей Si-H в области  $\sim 2000$  и  $600\text{ см}^{-1}$ . Кроме того, одна из важнейших проблем считается распределение водорода и его профиль по толщине образца. Приведем анализ отдельных методик. Метод ядерных реакций принадлежит к числу методов, в которых используются реакции в ионных пучках (образец бомбардируется пучком высокоэнергичных ионов).

Прецизионно измеряли ИК-спектры, используя Фурье-спектрометр, и содержание водорода контролировали по ядерной реакции  $^1\text{H} (^{15}\text{N}, \alpha)^{12}\text{C}$ . Ионы  $^{15}\text{N}$  ускорялись в магнитном поле силой 5 Тл в мегаэлектронвольтовом ускорителе тандемного типа. Энергия ионов и ионный ток составляли при этом 6,7 МэВ и 5 мА, соответственно. Интенсивность  $\gamma$ -излучения измерялась с помощью счетчика на основе NaJ. Полное содержание водорода в пленках  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>:H и  $\alpha$ -Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub>:H определяли путем сравнения концентрации водорода в пленках полиэфира. В основном используется следующие ядерные реакции:



В обеих реакциях испускаются  $\gamma$ -лучи, которые регистрируются стандартными сцинтилляторами из йодида натрия. Из этих двух реакций чаще применяется вторая, так как соответствующая резонансная линия имеет меньшую ширину, что позволяет избавиться от поправки на внезонный вклад. Резонанс имеет место при энергии 6,385 МэВ, а энергия  $\gamma$ -лучей составляет 4,43 МэВ. Если энергия ионов в иницирующем пучке равна 6,385 МэВ, водород регистрируется только на поверхности, так как из-за быстрой потери ионами энергии при проникновении в глубь пленки сечение реакций уменьшается на  $\sim 3$  порядка. Это позволяет при исследовании  $\alpha$ -Si:H или его сплава получить распределение водорода по толщине с разрешением  $\sim 40$ - $100\text{ \AA}$ . Точность метода ограничивается лишь точностью калибровки, которая осуществляется по водороду, имплантированному в кристаллический кремний и составляет  $\sim 8\%$ . Предел обнаружения для обычной аппаратуры равен  $\sim 10^{20}\text{ см}^{-3}$ , т.е.  $\sim 0,2$  ат.%. В этом методе диаметр пучка равен  $\sim 4$  мм, скорость определения профиля концентрации составляет  $\sim 0,4$  ч/мм и пучок имеет энергию  $\sim 0,2$  Вт. По сравнению с методом ВИМС методика ядерных реакций имеет значительно более высокую энергию ионов, составляя  $\sim 5$ - $20$  кэВ, которая детектируется выбиванием из образца протонов. ВИМС значительно чувствительнее (примерно в 1000 раз), чем метод ядерных реакций, но имеет ряд недостатков, как общих, так и присущих именно обнаружению водорода. Другой недостаток, также связанный с влиянием структуры образца, заключается в эмиссии многоатомных кластеров. При изменении и структуры образца может изменяться распределение водорода в нем, и эмиссия комплексов SiH, SiH<sub>2</sub>, также SiH<sub>3</sub>, (SiH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> может привести к ошибкам, если, как обычно, регистрируются только ионы  $^1\text{H}$ . Содержание водорода в пленке играет важную роль, поэтому для повышения точности его определения образец бомбардируется пучком ионов аргона и цезия, выбиваемые ионы экстрагируются статическим электрическим полем и анализируются в квадрупольном масс-спектрометре с электронным множителем. Для определения водорода в пленке кроме метода ядерных реакций, ВИМС, существует еще метод диффузии водорода. Простейший метод для определения содержания водорода  $\alpha$ -Si:H и их сплавах, основан на том, что материал почти полностью распадается на составляющие его элементы при кристаллизации, происходящей при  $650$ - $700^\circ\text{C}$ . Нагрев образца в замкнутом объеме до этих температур вызывает диффузию водорода, что приводит к росту давления. В нормальной сконструированной системе повышение давления составляет  $\sim 1$  мм рт.ст. на несколько сотен микрограмм вещества; изменение давления может быть измерено манометром с точностью 0,1% емкости. Если существует возможность диффузии других газов, например, аргона, захваченного в процессе распыления, то следует провести количественный масс-спектрометрический анализ состава газа. Относительная ошибка при общей концентрации водорода составляет 10-12 ат.% и сравнима с ошибкой методов ВИМС и ядерных реакций.

**ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЕЛ ОТ ХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ**

*Искендерова З.И., Джаваниширова А.А., Курбанов М.А.*

Институт Радиационных Проблем НАН Азербайджана

Адрес ул. АЗ 1143, Баку, ул. Б. Вахабзаде,9

E-mail: zenfira\_iskenderova@mail.ru, afa\_javanshirova@yahoo.com, m\_gurbanov@mail.ru

Интерес к радиационной химии хлорированных бифенилов продиктован следующими возможностями применения источников ионизирующего излучения: очистка загрязненных масел от хлорированных бифенилов, а также изучение радиационной стойкости ПХБ масел с целью их использования в качестве охлаждающих и диэлектрических жидкостей.

В данной работе исследован радиолиз хлорированных бифенилов под действием  $\gamma$ -излучения с целью определения их радиационной стойкости.

Изучена кинетика дехлорирования ПХБ изомеров в зависимости от поглощенной дозы при радиолизе трансформаторного масла «Совтол 10». Идентификацию и количественное измерение ПХБ изомеров проводили относительно калибровочной смеси ПХБ изомеров, содержащей основные компоненты технического масла. («Совтол-10», Arochlor, Kanechlor и другие). Идентифицированные изомеры следующие: ПХБ 18 (2, 2', 5 трихлорбифенил), ПХБ 28+31(2, 4, 4'- трихлорбифенил + 2, 4', 5- трихлорбифенил), ПХБ 52 (2, 2', 5, 5'- тетрахлорбифенил), ПХБ 44 (2, 2', 3, 5'- тетрахлорбифенил), ПХБ 101 (2, 2', 4, 5, 5'пентахлорбифенил), ПХБ 118+149 ((2, 3', 4, 4', 5 пентахлорбифенил +2, 2', 3, 4', 5', 6-гексахлорбифенил), ПХБ 153 (2, 2', 4, 4', 5, 5'- гексахлорбифенил), ПХБ 138 (2, 2', 3, 4, 4', 5'- гексахлорбифенил), ПХБ 180 (2, 2', 3, 4, 4', 5, 5'-гептахлорбифенил), ПХБ 194 (2, 2', 3, 3', 4, 4', 5, 5'- октахлорбифенил). Установлено, что уменьшение концентрации идентифицированных ПХБ изомеров происходит линейно с повышением поглощенной дозы до 250 кГр. Из наклона кинетических кривых определены радиационно-химические выходы разложения, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Радиационно-химические выходы разложения идентифицированных изомеров при радиолизе ПХБ масла «Совтол 10».

ПХБ изомеры	ПХБ-52	ПХБ-101	ПХБ-149+118	ПХБ-138	ПХБ-153	ПХБ-общее
G, молекул/100 эВ	2,33	1,9	2,45	1,34	1,11	9,1

Как видно из таблицы радиационно-химический выход разложения ПХБ-52 (2, 2', 5, 5'-тетрахлорбифенил) и суммарный выход ПХБ 118+149((2, 3', 4, 4', 5 пентахлорбифенил +2, 2', 3, 4', 5', 6-гексахлорбифенил) больше, чем радиационно-химические выходы разложения остальных изомеров. Суммарный выход разложения ПХБ изомеров равен 9,1 молекул/100 эВ. Полученные результаты могут быть объяснены с учетом радиолиза ПХБ масел и реакцией захвата сольватированных электронов.

**PRECISION INFRARED HEAT DISSIPATION MONITOR FOR TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIALS**

*Maltsev A. <sup>1</sup>, Golubev V. <sup>2</sup>, Maltseva M. <sup>2</sup>*

<sup>1</sup>JINR, Dubna, Russia; <sup>2</sup>TENZOR, Dubna, Russia

The device is intended for measurement of intensity of a thermal radiation in a near and mean infra-red range of lengths of waves at research of fast-flowing past processes in the conditions of constants and pulse electromagnetic and radiating disturbances. It can be used for measurement of a profile of a bunch of radiation and the sizes of the image of a radiator.

ПРОГРАММА РАСЧЕТА АКТИВНОСТЕЙ И РАДИОИЗОТОПНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ  
ПРОИЗВОДСТВЕ ЦИКЛОТРОННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ

Артемов С.В.<sup>1,2</sup>, Умеров Р.А.<sup>2</sup>, Ходиев А.Х.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт ядерной физики Академии Наук Республики Узбекистан

<sup>2</sup> ООО «Тезлатич» при Институте ядерной физики Академии Наук Республики Узбекистан

Создано программное обеспечение (FORTRAN) для расчета активностей радионуклидов, нарабатываемых в толстых мишенях при облучении пучком легчайших ускоренных ионов ( $p$ ,  $d$ ,  $^3\text{He}$ ,  $\alpha$ ). Оно реализовано в виде подпрограмм, специфицированных для наиболее широко производимых циклотронных радионуклидов, в частности,  $^{57}\text{Co}$ ,  $^{103}\text{Pd}$ ,  $^{109}\text{Pd}$ . Программа позволяет по задаваемому химическому и изотопному составу облучаемой мишени, по сорту ускоряемых частиц, их энергии, интегралу пучка (кВт или мкА·ч) и времени облучения рассчитывать активности по основному производимому радионуклиду и радионуклидным примесям в произвольный момент времени в процессе облучения, после его завершения и после радиохимической переработки с выделением основного радионуклида.

Программное обеспечение содержит встроенную базу данных по выходам радионуклидов, производимых на пучках заряженных частиц, включающую в себя соответствующие табличные данные из [1] и некоторых оригинальных публикаций.

1. П.П. Дмитриев. Выход радионуклидов в реакциях с протонами, дейтронами, альфа-частицами и гелием-3. Справочник. Москва, Энергоатомиздат, 1986г – 271 стр.

ПРОИЗВОДСТВО СВОБОДНОГО ИТТЕРБИЯ-175 ФОТОЯДЕРНЫМ МЕТОДОМ

<sup>1</sup> Дикий Н.П., <sup>1</sup> Довбня А.Н., <sup>1</sup> Ляшко Ю.В., <sup>1</sup> Медведева Е.П., <sup>1</sup> Медведев Д.В., <sup>1</sup> Уваров В.Л., <sup>2</sup> Федорец И.Д.

<sup>1</sup> ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

<sup>2</sup> Харьковский национальный университет им.В.Н. Каразина, Украина

Изотопы  $^{153}\text{Sm}$  и  $^{177}\text{Lu}$  успешно используются для проведения паллиативной терапии больных с метастазами в кости и болевым синдромом. Эти изотопы производятся на реакторах при облучении изотопов  $^{152}\text{Sm}$  и  $^{176}\text{Lu}$ . Несмотря на большие сечения захвата тепловых нейтронов (206 бн для  $^{152}\text{Sm}$  и 2097 бн для  $^{176}\text{Lu}$ ) на каждый изотоп  $^{153}\text{Sm}$  и  $^{177}\text{Lu}$  приходится значительное количество примесных атомов, которые влияют на кинетику поступления их в опухоль. Также при производстве  $^{177}\text{Lu}$  на реакторах образуется примесь  $^{177\text{m}}\text{Lu}$ . Более предпочтительно использование реакции  $^{176}\text{Yb}(n,\gamma)^{177}\text{Yb} \rightarrow ^{177}\text{Lu}$ , но она имеет низкое сечение (около 1 бн). Более приемлемые ядерные характеристики  $^{175}\text{Yb}$  (табл.) позволяют уменьшить воздействие  $\beta$ -частиц на костный мозг. Использование фотоядерной нанотехнологии дает возможность получить изотоп  $^{175}\text{Yb}$  с лучшими характеристиками (табл.) без содержания примесей других изотопов.

Изотоп	$T_{1/2}$ , часы	Средняя $\beta$ -энергия	Энергия $\gamma$ -излучения, кэВ (I, %)
$^{153}\text{Sm}$	46,44	224	103,2 (29,2)
$^{177}\text{Lu}$	161	134	208 (10); 113(6%)
$^{175}\text{Yb}$	100,8	113	396 (13)

Проведено облучение наночастиц  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  естественного изотопного состава весом 50 мг в смеси с наночастицами клиноптилолита тормозным излучением с максимальной энергией 12,5 МэВ. Распространенность изотопов  $^{176}\text{Yb}$  составляет 12,6%. Сечение реакции  $^{176}\text{Yb}(\gamma,n)^{175}\text{Yb}$  ( $T_{1/2}=100,8$  часа) имеет два максимума при 12,5 и 16 МэВ около 350 мбн. После растворения наночастиц клиноптилолита измерена активность  $^{175}\text{Yb}$  в растворе, составляющая 12% от общей активности образца для размера наночастиц  $\text{Yb}_2\text{O}_3$  150 нм.

РАДИАЦИОННАЯ ВУЛКАНИЗАЦИЯ ГИДРИРОВАННОГО БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА

Годжаева Т.Ф., Ханкишиева Р.Ф., Ахундзаде Г.Н., Аббаслы А.А., Мамедов Ш.М.

Институт радиационных проблем НАН Азербайджана, г. Баку  
[tunzale.qocayeva@gmail.com](mailto:tunzale.qocayeva@gmail.com)

Гидрированный бутадиен-нитрильный каучук (ГБНК) обладает целым комплексом таких свойств, как тепло-, масло- и бензостойкость, обеспечивающих использование его в самых различных отраслях промышленности. Этому полимеру посвящено значительное количество работ. Структура ГБНК существенно отличается от других видов БНК ввиду насыщенного характера его молекул. Поэтому его сшивание протекает по совершенно иному механизму, чем сшивание других, ненасыщенных БНК. Наиболее эффективными для эластомерных смесей на основе высоконасыщенного БНК являются пероксидная и радиационная вулканизация.

В связи с изложенным представлялось целесообразным использовать при вулканизации гидрированного БНК методом радиационной вулканизации введение в рецептуры резиновых смесей низкомолекулярных вулканизирующих агентов гексахлорпаракисилола (ГХПК) и 2-амино-4,6-бис (трихлорметил)-симм триазина (АБТСТ)

Для выбора наиболее рациональных путей радиационной-пероксидной вулканизации ГБНК проведены исследования по установлению общих закономерностей влияния  $\gamma$ -облучения на структуру и свойства эластомер известной и разработанной системы. При этом принимали во внимание влияние структуры и состава гидрированных каучуков на радиационно-химический выход. Оценивали число цепей ( $1/M_c$ ) и число сшитых молекул ( $1/M_{нт}$ ), возникающих в результате взаимодействия между низкомолекулярными компонентами и эластомером, которые, в конечном итоге, определяют свойства вулканизатов.

Можно ожидать, что именно он окажется наиболее эффективным активатором процесса вулканизации ГБНК. Для сравнительной оценки эффекта сшивания ГБНК использовали пероксид дикумила (ПД).

Эластомерные смеси на основе гидрированного каучука (Тербан 2207 фирмы Байер, Германия) изготавливали на лабораторных вальцах с фрикцией  $f=1:2$  при тщательном перемешивании в течение 7 мин. Затем формировали образцы в прессе при 80-85 °С в виде пластинок толщиной 0,2 мм. Сырые пластинки, предназначенные для радиационной вулканизации, помещали в контейнеры и ампулы. Радиационную вулканизацию осуществляли на источнике  $\gamma$ -излучения  $Co^{60}$  при мощности 6,7 Гр/с в воздушной среде при 20 °С. Поглощенную дозу в исследуемых образцах рассчитывали путем сравнения электронных плотностей исследуемых и дозиметрических систем. Радиационно-термические вулканизаты получали путем предварительного прогрева в пресса при 180 °С в течение 5-7 мин и последующего облучения в воздушной среде. Режим пероксидной вулканизации 150 °С в течение 40 мин.

Результаты золь-гель анализа приведены. Они показывают общее число цепей и число сшитых молекул в исследованных ненаполненных образцах и указывают на то, что наиболее активной из исследуемых структурирующих систем является система, входящая в состав резиновых смесей 3 и 3'. Это свидетельствует о том, что низкомолекулярные добавки, включая серу, принимают непосредственное участие в процессе структурирования. Густота образующейся пространственной сетки радиационного вулканизата даже ниже, чем у пероксидного.

Показано, что вулканизаты уступают терморadiационным по прочностным свойствам, но превосходят пероксидные по тепловому старению и действию растворителей. В целом, уровень физико-механических свойств радиационных и терморadiационных вулканизатов близок к уровню свойств пероксидных.

Это значит, что использованные низкомолекулярные добавки, приводя к формированию С-С и С-S-С химических связей, эффективно участвуют в образовании сетки поперечных связей при радиационной вулканизации.

Использованные низкомолекулярные добавки (ГХПК+АБТСТ+ЭД-5+S) обеспечивают также эффективную защиту резин от радиационного старения в недеформированном состоянии, что видно из данных табл. 4. Однако даже защищенные резины после облучения характеризуются высокими значениями остаточной деформации при сжатии. Значительное снижение скорости накопления остаточной деформации при сжатии достигается путем их радиационной довулканизации.

Таким образом, анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод об эффективности использования низкомолекулярных добавок для радиационной вулканизации и радиационной защиты эластомеров на основе ГБНК.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/10/1

РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ  
“ЭЛЕКТРОНИКА У-003”

Таиметов М.Ю., Исмаилов Н.Б.

Институт ядерной физики АН РУз, 100214, г.Ташкент, Узбекистан

С развитием промышленности растет спрос на различные виды обработки продукции. В частности, это относится к медицинским, фармацевтическим, полимерным изделиям и изделиям электронной техники. Вышеупомянутая продукция обрабатывается различными методами, среди которых особое место занимает радиационная обработка ускоренными электронами и гамма излучением. Необходимо отметить, что для улучшения свойств и модификации различных изделий широко применяются ускорители электронов. В настоящее время также используются ускорители электронов в физических исследованиях полупроводников, диэлектриков, композиционных и оптических материалов с целью изучения влияния радиации на физические процессы, такие как образование дефектов, примесных центров, поверхностных и объемных структур. Все это стимулирует создание комплекса для организации радиационной обработки различных материалов (изделий) и проведения научных исследований.

С целью организации исследований по изучению влияния электронов на физические явления, закономерности в различных объектах физики конденсированного состояния, а также для осуществления радиационной обработки материалов и изделий в ИЯФ АН РУз введен в эксплуатацию линейный ускоритель электронов “Электроника У-003”.

Комплекс радиационной обработки с ускорителем электронов “Электроника У-003”, вспомогательное оборудование, система транспортировки и сооружения размещены в помещениях, построенных внутри здания. С целью уменьшения влияния ионизирующего излучения на окружающую среду и обслуживающий персонал ускорителя, излучающая часть ускорителя электронов размещена на глубине 3.5 метра от уровня пола. Для подачи образцов и изделий в облучаемую зону и вывода из зоны облучения изготовлена транспортная система конвейерного типа. Транспортная система состоит из ленточного и цепного конвейера, а также карусели. Учитывая разновидность материалов облучения, карусельный транспортер выполняет различные функции с возможностью регулировать скорость горизонтального движения, скорость вращения и количество оборотов.

Для научных и прикладных исследований основными параметрами, определяющими режимы радиационной обработки материалов, являются величина энергии электронов, значение плотности тока и пространственное распределение плотности потока электронов. Экспериментальными данными для радиационной обработки определена равномерная площадь размером  $20 \times 60$  см<sup>2</sup>, которая является относительно однородной при плотности тока пучка  $0,04 \div 0,12$  мкА/(см<sup>2</sup>с) и энергии электронов  $3 \div 7,1$  МэВ. Контроль параметров радиационной обработки осуществляется на основе одновременного определения нескольких физических величин: плотности потока электронов, равномерности поля электронного излучения, средней энергии электронов и поглощенной дозы электронного излучения. В радиационных процессах обработки используются аттестованные стандартизированные пленочные химические дозиметрические детекторы типа В3002 и СО ПД(Ф)Р-5/50.

Вышеперечисленные характеристики ускорителя с имеющейся инфраструктурой и наличием технологии по радиационной обработке материалов, изделий и продукции позволяют осуществлять следующие работы:

- радиационная обработка ускоренными электронами с возможностью регулирования плотности потока и энергии электронов, скорости транспортной системы, вращения и обеспечения охлаждения образцов в процессе проведения облучения;
- радиационная стерилизация медицинских изделий и сырья фармацевтических препаратов;
- пастеризация пищевых продуктов и добавок;
- увеличение быстродействия, регулирование параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем;
- модификация полимерных изделий и материалов с приданием новых свойств.

Исследования по определению доз стерилизации хирургического шовного материала кетгут при радиационной обработке на ускорителе электронов показали, что стерилизующая доза хирургической нити кетгут порядка  $\sim 25$  кГр, при которой прочность нити, а также удлинение ниток соответствует допустимым нормам. При этом разрывная нагрузка кетгутовой нити после радиационной обработки уменьшается до  $\sim 14,6$  %, а модуль упругости на  $\sim 13,5$  %.

При исследовании термоусаживаемых изоляционных трубок из поливинилхлорида поглощенной дозой  $30 \div 50$  кГр выявлено максимальное улучшение физико-механических свойств, повышение значения электрической прочности ( $\sim 25$  %) при поглощенной дозе  $80 \div 100$  кГр, а также определено значение коэффициента термической усадки 2:1 радиационно-сшитых изоляционных трубок.



**RADIATION-CHEMICAL MODIFICATION OF ETHYLENE-PROPYLENE ELASTOMERS WITH LOW-MOLECULAR REACTIVE COMPOUNDS**

*Rzaeva S.V.*<sup>1</sup>, *Akhmadov E.N.*<sup>1</sup>, *Mammadov Sh.M.*<sup>2</sup>, *Akhundzada H.N.*<sup>2</sup>, *Mammadova R.R.*<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Azerbaijan State University of Oil And Industry, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup>Institute of Radiation Problems, Baku, Azerbaijan

Ethylene-propylene rubber (EPDM) is one of the most promising rubbers of general use. Vulcanization of EPDM is carried out mainly by organic peroxides in combination with sulfur or some unsaturated compounds.

A system consisting of dicumyl peroxide in combination with a small amount of sulfur, which performs vulcanization in a relatively short period of time at the temperatures adopted in the rubber industry and provides the production of vulcanizers with a valuable set of technical properties, has been widely used. Essential shortcomings of this system are a relatively narrow plateau of vulcanization, unsatisfactory deformation-strength and dielectric properties in the presence of organic peroxide and when filled with acidic fillers. To obtain vulcanizers with high physic-mechanical characteristics, it is necessary to use large dosages of dicumyl peroxide (up to 5-8 mass/part per mass/part of rubber), which is highly undesirable in production conditions due to the harmfulness of peroxide decomposition products. In addition, the presence of peroxide adversely affects the thermal aging of rubbers.

In connection with the foregoing, it seems advisable to use the method of radiation-chemical modification for the EPDM, which allows the cross-linking agents, in particular peroxide, to be completely eliminated from the elastomeric formulation.

The object of the study is technical ethylene-propylene rubber in combination with butadiene-nitrile rubber.

A small amount of sulfur (0.2 mass/part) and 3.0 mass/part of a polyester resin was used as the vulcanizing agent. As a sensitizer, 2,4-diamino-6-benzyl-sim-triazine (DABST), 5.0 mass/part ZnO activator were introduced and at the end of the shift was added 60 mass/part technical carbon (F324) After thermal treatment of the mixtures on a press (150<sup>0</sup>×8 min), the radiation discharge was carried out at a Co<sup>60</sup> source in a dose range of 50-500 kGy.

Prior to vulcanization, a spatial grid without low-molecular additives does not form in the composition at the Co<sup>60</sup> source.

The process without peroxide cure with a polyester resin and diamine benzyl triazine has a significant influence on the physical and mechanical properties of vulcanizers.

It has been found that crosslinking agents such as polyester resin provide a greater degree of structuring of the EPDM NBR prior to vulcanization on the  $\gamma$  source of Co<sup>60</sup>.

The diamine-benzyl simm. triazine sensitizer reduces the absorbed dose, for carrying out before vulcanization at low doses.

This work supported by the Science Development Foundation under the President of the Republic of Azerbaijan - Grant № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/10/1

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЦВЕТОВОГО ИНДИКАТОРА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ**

*Кулабдуллаев Г.А., Ким А.А., Небесный А.Ф., Абдуллаева Г.А., Джураева Г.Т., Сайтджанов Ш.Н.*

Институт Ядерной Физики АН РУз, 100214, Ташкент, Узбекистан

Исследования по нейтрон-захватной терапии требуют проведения дозиметрии позволяющей в реальном масштабе времени определять поглощенную дозу. Существующие на сегодняшний день методы и средства дозиметрии нейтронов как правило рассчитаны на нейтроны высоких энергий, а для нейтронов низких энергий не обладают достаточной точностью и не дают возможность определения поглощенной дозы сразу после облучения [1-2]. Целью исследования была разработка точного, простого в изготовлении и эффективного высокочувствительного цветового индикатора поглощенной дозы излучения эпитепловых нейтронов с энергией от 0 до 10 кЭв.

Нами разработан индикатор на основе раствора красителя арсеназо III и гадопентетовой кислоты, позволяющего достаточно точно определять поглощенную дозу в диапазоне от 2 до 10<sup>3</sup> Гр. В данной разработке использованы свойства арсеназо III, который используется в качестве металлоиндикатора, меняющего окраску при связывании с ионами металлов. При пороговой поглощенной дозе происходит разрушение гадопентетовой кислоты с высвобождением ионов Gd<sup>3+</sup>, которые образуют комплекс с арсеназо III, изменяющий окраску

раствора с красного на синий. Используемый для дозиметра раствор устойчив при хранении при комнатной температуре и дневном освещении в течение нескольких месяцев.

При облучении индикаторного раствора пучком эпитепловых нейтронов медицинского назначения при мощности дозы от 0,009 Гр/с до 0,035 Гр/с поглощенную дозу от 2 до 1000 Гр определяют спектрофотометрически на длине волны 540 нм. Поглощенную дозу определяют по калибровочному графику.

При облучении индикаторного раствора пучком эпитепловых нейтронов медицинского назначения при мощности дозы от 0,009 Гр/с до 0,035 Гр/с поглощенную дозу от  $3,5 \cdot 10^3$  Гр до  $6,5 \cdot 10^3$  Гр определяют визуально по цветовой шкале. При использовании растворов с различными концентрациями гадопентетовой кислоты (от 15% до 50%) происходит пороговое изменение цвета индикатора с красного на синий. Пороговое изменение цвета четко выраженное и позволяет определять поглощенную дозу визуально.

Цвет растворов индикаторов до облучения и после него достаточно устойчив в во времени при хранении в темноте или при искусственном освещении или рассеянном солнечном свете.

Таким образом, разработанный нами индикатор, состоящий из раствора арсеназо III с гадопентетовой кислотой, позволяет оценивать поглощенную дозу эпитеплогового нейтронного облучения с хорошей точностью и снижает ошибку измерения, связанную с изменением цвета красителей под воздействием других факторов (свет, температура и т.д.)

Разработанный дозиметр обладает повышенной чувствительностью к нейтронному излучению за счет содержания в растворе гадолиния, имеющего большое сечение захвата нейтронов, и является ткане-эквивалентным. Кроме того, предложенный дозиметр сохраняет спектрофотометрические характеристики после облучения в течение нескольких недель, что позволяет использовать его для измерения поглощенной дозы, как в режиме реального времени, так и с отсроченным измерением в течение нескольких недель. Данная разработка была подана и зарегистрирована как заявка на патент: «Кулабдуллаев Г. А., Ким А.А., Небесный А. Ф., Джураева Г. Т., Сайтджанов Ш. Н. Цветовой индикатор поглощенной дозы нейтронного излучения. Заявка на патент № IAP 2014 0320 от 30.07.2014».

1. Клыкков С.А. Реакция  $Gd(n, \gamma)$  как источник ионизирующего излучения для нейтрон-захватной терапии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Обнинск 2003.
2. Голубев Б.П. Дозиметрия и защита от ионизирующих излучений. Москва, «Атомиздат», 1976.

#### ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ СИНТЕЗА «SYNTHRA RN PLUS» В ПРОИЗВОДСТВЕ РФП НА ОСНОВЕ $^{18}F$

*Кулаков А.В., Чакрова Е.Т.*

Институт ядерной физики, Казахстан, г. Алматы, 050032, ул. Ибрагимова, 1  
E-mail: [kulakov@inp.kz](mailto:kulakov@inp.kz)

Радиофармпрепараты для позитронно-эмиссионной томографии широко применяются для диагностики и контроля эффективности лечения онкологических заболеваний различной локализации.

В Институте ядерной физики были проведены работы по изучению возможности использования исследовательского многофункционального модуля синтеза Synthra RN Plus для получения 2-[ $^{18}F$ ]фтор-2-дезоксид-Д-глюкозы ( $^{18}F$ -ФДГ) и 3-дезоксид-3-[ $^{18}F$ ]-фтор-L-тимидина ( $^{18}F$ -ФЛТ) методом нуклеофильного замещения.

Изотоп  $^{18}F$  получали облучением воды, обогащенной по кислороду ( $^{18}O$ ), протонами с энергией 18 МэВ на циклотроне Cyclone-30 и транспортировали облученную мишень сжатым гелием к модулю синтеза Synthra RN Plus.

В работе представлены результаты экспериментов по выбору оптимальных условий проведения стадий фторирования, гидролиза и очистки продукта методом твердофазной экстракции при синтезе  $^{18}F$ -ФДГ и  $^{18}F$ -ФЛТ. Выход при использовании экспериментально найденных оптимальных параметров составили 83% и 22% для  $^{18}F$ -ФДГ и  $^{18}F$ -ФЛТ соответственно.

## РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В ВОДНОЙ СРЕДЕ

Кулиева У.А., Курбанов М.А., Абдуллаев Э.Т.

Институт Радиационных Проблем НАНА, Азербайджан, г. Баку, AZ1143, Б.Вагабзаде, 9

Низкомолекулярные органические кислоты являются компонентами жидких радиоактивных отходов (ЖРО) и их радиолитические превращения во многом определяют радиационную стойкость отходов. Радиолитические разложения органических кислот изучены в некоторых работах. Но комплексное изучение процесса отсутствует по настоящее время.

В данной работе исследовано радиолитическое разложение щавелевой и муравьиной кислоты в водных растворах ( $1 \times 10^{-2}$  М) под действием ионизирующего излучения при статических условиях. Изучены УФ- спектры продуктов, кинетика изменения химическое потребление кислорода (ХПК), pH,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ , образования  $\text{H}_2$ ,  $\text{CO}_2$  в зависимости от поглощенной дозы при радиолитическом разложении водного раствора муравьиной и щавелевой кислот.

При радиолитическом разложении водного раствора обеих кислот pH увеличивается от 2 до 4,2. Это связано с накоплением в растворе угольной кислоты. С увеличением поглощенной дозы в водных растворах щавелевой и муравьиной кислоты ХПК уменьшается. При 80 кГр в обоих водных растворах кислот происходит полное окисление органических веществ. Результаты показаны на рис.1.

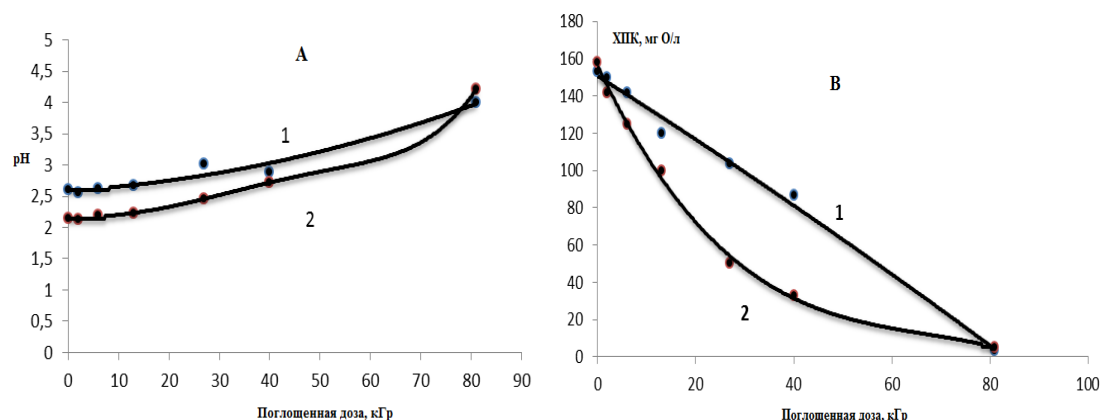


Рис.1.Изменение кислотности(A) и ХПК( B) в зависимости от величины поглощенной дозы при радиолитическом разложении водных растворов ( $1 \times 10^{-2}$  М) муравьиной (1) и щавелевой (2) кислоты. ( $P=0,22-0,20$  Гр/с)

С ростом поглощенной дозы общее количество органических веществ уменьшается. При этом происходит накопление углекислого газа и водорода. При дозе порядка 80 кГр, степень превращения органической части составляет 90%, при начальной концентрации щавелевой кислоты  $1 \times 10^{-2}$  М. Накопление газообразных продуктов вызывает риск для безопасного хранения ЖРО. Но с ростом парциального давления углекислого газа повышается его растворимость в воде и при достижении  $\text{pH} \geq 4$  углекислый газ находится в равновесии с угольной кислоты в растворе. Анализирован механизм протекающих процессов методом кинетического моделирования водных растворов рассматриваемых кислот.

РЕВЕРСНО-ТАНДЕМНЫЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ

Философов Д.В.

Объединенный Институт Ядерных Исследований, Лаборатория ядерных проблем им. В.П. Джеллепова, 141980, ул. Жолио–Кюриб, г. Дубна, Россия  
dmitry\_filosofov@rambler.ru

Радиоактивные изотопы применяются во многих областях науки и промышленности, особое место занимает их применение в ядерной медицине. Именно в ядерной медицине весьма ценно получение радиоизотопов из генераторов. Это позволяет проводить диагностику или терапию вдали от ядерных установок с короткоживущими изотопами. Кроме этого есть ряд преимуществ по удельной активности радиопрепарата, его радиохимической и химической чистоте.

В последние годы возрастает применение относительно новых генераторов для позитронно-эмиссионной томографии  $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$  [1],  $^{82}\text{Sr} \rightarrow ^{82}\text{Rb}$  [2], а для терапии  $^{225}\text{Ac} \rightarrow ^{213}\text{Bi}$  [3],  $^{188}\text{W} \rightarrow ^{188}\text{Re}$  [4], рассматривается ряд других генераторов.

Реверсно-танDEMные схемы организации радионуклиды генераторов предполагают прежде всего:

а) возможность пропускания элюирующего раствора через колонку в двух направлениях (реверс) [5], это препятствует перемещению материнского радионуклида по генераторной колонке, что значительно снижает его потери;

б) использование дополнительных колонок для сорбции дочернего радионуклида элюируемого из генератора (танDEM) [6], с последующей доочисткой радионуклида и его переводом в химическую форму удобную для производства радиофармпрепарата.

В докладе раскрывается тема работы генераторов с использованием реверсно-танDEMные схемы организации на примере пар:  $^{68}\text{Ge} \rightarrow ^{68}\text{Ga}$ ,  $^{44}\text{Ti} \rightarrow ^{44}\text{Sc}$ ,  $^{172}\text{Hf} \rightarrow ^{172}\text{Lu}$  и др.

[1] Rösch, F. *Applied Radiation and Isotopes* 76 (2013): 24–30.

[2] Yoshinaga, Keiichiro, Ran Klein, and Nagara Tamaki. *Journal of Cardiology* 55.2 (2010): 163–173.

[3] Mcdevitt, Michael R et al. *Applied radiation and isotopes* 50 (1999): 895–904.

[4] Argyrou, Maria et al. *International Journal of Molecular Imaging* 2013 (2013): 1–7.

[5] Filosofov, D. V., N. S. Loktionova, and F. Rösch. *Radiochimica Acta* 98.3 (2010): 149–156.

[6] Guseva, L I, and N N Dogadkin. *Radiochemistry* 51.2 (2009): 169–174.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОРГАНЕЛЛ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ И РАДИОГЕННЫХ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ

Бияшева З.М. <sup>1</sup>, Нуркасова А.Е. <sup>2</sup>, Дьячков В.В. <sup>2</sup>, Зарипова Ю.А. <sup>2</sup>, Юшков А.В. <sup>2</sup>, Шакиров А.Л. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт проблем биологии и биотехнологии, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт экспериментальной и теоретической физики, Алматы, Казахстан

Идея работы – найти микромеханизм конверсии нормальной смертной клетки крови в раковую бессмертную под действием  $\alpha$ -излучения изотопов радона, начиная с уровня взаимодействия атомных ядер, а не с молекулярного общепринятого. Изотопы радона и их  $\alpha$ -излучение принято во главу исследования в связи с тем, что радон, как источник лейкозов, установлен во многих крупных странах на большой медицинской статистике. Таким образом, исследование проводится на стыках ряда наук по цепочке: *ядерные реакции* (время протекания  $10^{-15} - 10^{-22}$  с)  $\rightarrow$  *химические реакции* (время протекания  $10^{-10} - 10^{-15}$  с)  $\rightarrow$  *биохимические реакции* (время протекания n секунд – n дней) [1].

Что нужно найти в рамках микромеханизма? Макроскопически это ясно – для бессмертной раковой клетки для ее излечения необходимо включить механизм апоптоза, то есть внутренней клеточной программы естественной смерти клетки, которой подчиняются все здоровые смертные клетки. Для этого «действующие лица и исполнители» лечения лейкоза как будто бы известны: 1) смертность (оздоровление) клетки зависит от длины концевых участков хромосом – *теломер*; 2) удлинняет теломеры (порождает рак) и «дарит» клетке бессмертие специальный фермент – *теломераза*; 3) носителем и складом фермента-теломеразы в объеме клетки являются крохотные внутриядерные образования – *тельца Кахаля*; 4) включает и выключает клеточную смерть, то есть апоптоз специальный ген – *P53* [2].

Придерживаясь парадигмы генерации-подавления раковых болезней, то есть конверсии нормальной клетки и подавления опухоли, с помощью радиоактивных альфа-излучений, на старте наших исследований была

реализована технология альфа-облучения клеток крови и изучение результирующих кариограмм и идиограмм. Что ищем? Многочисленные литературные источники «виновником» лейкоза крови называют «филадельфийскую хромосому».

На первом этапе данной работы сделана попытка найти радиационный порог одонитевых и двунитевых разрывов хромосом, а также порог рождения «филадельфийской хромосомы», возникающей как транслокация между длинными плечами хромосом 9 и 22. В настоящей работе были выполнены исследования по облучению крови эталонными источниками  $^{226}\text{Ra}$  до дозы 1 Грей. Для одно- и двунитевых разрывов порога не существует, а для «филадельфийской хромосомы» он не обнаружен.

#### Литература

1. Зарипова Ю.А., Дьячков В.В., Юшков А.В., Бияшева З.М., Хамдиева О.Х. Две закономерности радонового онкориска, усиленного эманацией в близи тектонического разлома // 66-ая международная конференция по проблемам ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра "Ядро-2016", Саров, 2016. стр. 181 - 182

2. Khamdieva O.H., Biyasheva Z.M., Zaripova Yu.A., Dyachkov V.V., Yushkov A.V. Tectonic faults influence that reinforce radon emanation and cancer lung risk // 41st FEBS, N 283, Turkey, 2016. pp. 254 - 255

### TECHNOLOGICAL ASPECTS OF RADIATION PURPOSE OF THE NEOPRENE W

*Asadova A.A., Mammadov Sh.M., Khankisiyeva R.F., Akhundzada H.N., Aslanli Z.A.*

*Institute of Radiation Problems ANAS, Baku, Azerbaijan*

Radiation-chemical synthesis of Neoprene W in the process of homogeneous vulcanization, as a rule, is complicated by the kinetic activity in the reactions of polymer chains.

When crosslinked Neoprene, it exposure to ionizing radiations, as well as in their mixtures with small amounts of polyfunctional monomers like allyl methacrylate, results in the formation of a high molecular weight polymer.

Due to the fact that Neoprene W is an unsaturated elastomer, based on the structure of Neoprene W and the reactivity of polymer molecules, thermo and radiation vulcanization is carried out in principle with the help of a rather wide set of substances.

High-molecular Neoprene W is also irradiated with low molecular weight organic sensitizers with triazine compounds. The activity of these sensitizers in radiation-chemical processes is not high, which is probably due to a weak effect on the properties.

It is known that in order to achieve the optimum properties of vulcanizers, rather large doses are required, which increases the cost of materials, the cost of materials, and the possibilities of using radiation vulcanization in place of thermal vulcanization. In this regard, the issue of methods of reducing the dose of irradiation, which is necessary for obtaining optimal properties and it consequently, increasing the productivity of the process, is very relevant.

The paper presents the results of studies on the effect of the maleic acid diallyl ether (DAEMC) sensitizer and epoxy resin modifier on the kinetic and structural parameters of the vulcanizate network by exposure to ionizing radiation.

The application and technological aspects of the process of radiation cross-linking of Neoprene W in the presence of diallyl maleic acid (DAEMC) and epoxy resin (ED-5) in the presence of metal oxides are studied. The change in the molecular structure of Neoprene W in the presence of DAEMK and ED-5 after irradiation with gamma rays with a dose of 500 kG has been shown with the help of physicochemical and spectral methods.

By the method of sol-gel analysis, the radiation-chemical yields (RCY) of cross-linking and the appearance of cross-links in elastomers are determined for each system under study. The dependence of the crystallinity index on the degree of expansion for Neoprene W irradiated at 500 kGy was determined.

It has been established that in the case of radiation curing of Neoprene, W in the presence of a bifunctional epoxy resin compound has little effect on the kinetics and on the cross-linking process.

It is shown that, above 1500 kGy of irradiation in the filled Neoprene W, degradation is observed in the elastomer chains, which leads to a deterioration in the physico-mechanical properties of the vulcanizates.

This work supported by the Science Development Foundation under the President of the Republic of Azerbaijan - **Grant № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/10/1**

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА  $^{123}\text{I}$  И  $^{124}\text{I}$  НА ЦИКЛОТРОНЕ ТПУ

Большаков А.М., Гаранацкий А.А., Головков В.М., Салодкин С.С., Семенов А.С.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, г. Томск, Россия,  
[golovkov@tpu.ru](mailto:golovkov@tpu.ru)

**Введение.** Рост применения радионуклидов в ядерной медицине в последние десятилетия позволил существенно улучшить эффективность и качество лечения наиболее опасных заболеваний в онкологии и кардиологии. Среди медицинских радионуклидов давно и успешно используются нуклиды йода  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$ ,  $^{125}\text{I}$  и  $^{131}\text{I}$ . Однако степень обеспечения потребностей медицины в этих нуклидах далека от удовлетворения. В частности это связано с тем, что некоторые нуклиды, например,  $^{123}\text{I}$  имеют малое время жизни и должны производиться в пределах транспортной доступности от медицинских учреждений. Нуклид  $^{124}\text{I}$ , который используют как при диагностике с помощью позитронной томографии, так при терапии целесообразно нарабатывать с помощью множества существующих циклотронов на энергию до 18 МэВ, обеспечивающих получение радионуклидов для ПЭТ центров. В этой области энергий протонов и дейтронов  $^{123}\text{I}$  и  $^{124}\text{I}$  можно получать только с помощью ядерных реакций на обогащенных изотопах теллура:  $^{123}\text{Te}(p,n)^{123}\text{I}$ ,  $^{122}\text{Te}(d,n)^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{Te}(p,n)^{124}\text{I}$ ,  $^{124}\text{Te}(d,n)^{124}\text{I}$ . При этом для получения  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$  можно использовать практически одинаковые технологии, отличающиеся только изотопным материалом мишени. В качестве материала мишени для получения  $^{123}\text{I}$ ,  $^{124}\text{I}$  большой интерес вызывает диоксид теллура ( $\text{TeO}_2$ ). Такая мишень позволяет выделять радионуклид  $^{123}\text{I}$  или  $^{124}\text{I}$  из мишени без её разрушения методом термодиффузии в области температур фазового перехода плавления  $\text{TeO}_2$ , обеспечивая высокий выход, высокие радионуклидную и радиохимическую чистоту.

Однако применение этого метода может приводить к испарению  $\text{TeO}_2$  и потере материала мишени. Низкая теплопроводность диоксида теллура приводит к тому, что для обеспечения устойчивой работы мишени ток пучка рекомендуют ограничивать небольшой величиной порядка 8 мкА<sup>1</sup>.

**Цель работы:** исследование процессов термического выделения и разработка технологии получения  $^{123}\text{I}$  и  $^{124}\text{I}$ , пригодной для использования на низкоэнергетическом циклотроне.

**Материалы и методы:** Мишень - расплав  $^{122}\text{TeO}_2$  с добавкой 4%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , на платиновой подложке, диаметр 20 мм, масса 150 – 200 мг (50 -70 мг/см<sup>2</sup>). Обогащение по  $^{122}\text{Te}$  – 99,8 %. Облучение мишени производили пучком дейтронов с энергией 13,6 МэВ, током до 30 мкА, время облучения мишени можно изменять от нескольких часов до нескольких суток, в случае наработки  $^{124}\text{I}$ . Нагрев мишени производили в печи в диапазоне от комнатной температуры до постоянного значения, задаваемой терморегулятором в диапазоне 300 – 720 °С. Пары йода, выделяющиеся при нагревании мишени, с помощью потока воздуха переносили и улавливали в растворе приемном флаконе. В процессе выделения измеряли мощность дозы, создаваемую радиоактивным йодом в растворе с помощью дозиметра ДРГЗ-03, расположенного рядом с приемным флаконом. Время выделения варьировали в диапазоне от 5 до 15 мин до достижения насыщения мощности дозы. Радионуклидную чистоту йода измеряли с помощью гамма спектрометра HpGe «Canberra», радиохимическую чистоту с помощью тонкопленочной хроматографии с помощью прибора «Гамма-скан».

**Результаты:** Приведены результаты измерений выхода  $^{123}\text{I}$  из мишени  $^{122}\text{TeO}_2$  в диапазоне максимальных температур нагрева от 300 до 720 °С. Показано, что выделение  $^{123}\text{I}$  происходит начиная с температуры 700 °С. Максимальный выход наблюдали при температуре 720 °С, Однако если при такой температуре начинается испарение и потери  $^{122}\text{TeO}_2$ . При нагреве мишени до 720 °С в течении 2 мин потери диоксида теллура не превышали 1%. Выход  $^{123}\text{I}$  был не менее 95%, радионуклидная чистота – не хуже 99,5%, радиохимическая чистота раствора  $^{123}\text{I}$  – не хуже 96%. На основе выделенного  $^{123}\text{I}$  были получены радиофармпрепараты -  $^{123}\text{I}$ , Иобенгуан, и  $^{123}\text{I}$ , Йодофен для диагностики миокарда в кардиологии.

<sup>1</sup> *Cyclotron Produced Radionuclides: Physical Characteristics and Production Methods. Technical reports series № 468, IAEA, 2009. – 265 p.*

## РАЗРАБОТКА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ В ТОМСКЕ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОНКОЛОГИИ

Нестеров Е.А. <sup>1,2</sup>, Скуридин В.С. <sup>1</sup>, Ильина Е.А. <sup>1</sup>, Стасюк Е.С. <sup>1</sup>, Варламова Н.В. <sup>1</sup>, Садкин В.Л. <sup>1</sup>, Рогов А.С. <sup>1</sup>, Ларионова Л.А. <sup>1</sup>, Чернов В.И. <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Томский политехнический университет», Город Томск, Российская Федерация

<sup>2</sup>ООО «Сибнуклон», Город Томск, Российская Федерация

<sup>3</sup>Томский НИМЦ, Город Томск, Российская Федерация

По данным Всемирной организации здравоохранения за последние 10 лет прирост по онкологическим заболеваниям, по разным данным, составил около 15%. При этом онкологические заболевания уносят каждый год более 300 тыс. жизней только в России, и с каждым годом эта цифра только растет. В течение следующих 10 лет, по прогнозам ВОЗ, смертность от онкологии выйдет на первое место в мире. По статистике злокачественными опухолями в 2000 году в мире заболели 10 млн. человек, а умерло около 8 млн. человек. В 2015 году число заболевших стало 20 млн. человек, умерших около 13 млн. [1]. Много лет ученые трудятся над разработкой новых методов, которые смогли бы устранить эту страшную болезнь или хотя бы остановить ее прогрессию. Радиофармпрепараты широко используются не только для диагностики рака, но и терапии.

В Томске для разработки радиофармпрепаратов имеется вся необходимая база: это и единственный за Уралом действующий исследовательский ядерный реактор, и циклотрон, а также квалифицированные специалисты в области химии, физики, ядерной медицины. В настоящее время коллективами Томского политехнического университета и Томского национального исследовательского медицинского центра разработан ряд препаратов для диагностики онкологических заболеваний и создана научная основа для создания тераностических препаратов, которые будут использованы для индивидуализации и планирования радионуклидной терапии с помощью радиодиагностических исследований.

Так, на данный момент завершены доклинические испытания радиоколлоидного препарата на основе оксида алюминия, Аллотех, <sup>99m</sup>Tc, который используется для выявления «сторожевых» лимфатических узлов (СЛУ) у онкологических больных и проведения лимфосцинтиграфии, и готовится проведение клинических испытаний. Достоинством разработанного препарата является простота его синтеза из доступных реагентов и размер получаемого наносоединения – около 100 нм.

Завершаются доклинические испытания уникального препарата на основе моносахаридов, который является альтернативой дорогостоящего препарата для ПЭТ-диагностики – <sup>18</sup>F-фтордезоксиглюкозы. Поскольку опухолевые клетки обладают значительно более активными энергетическими процессами, в том числе гликолиза, применение радиоиндикаторов на основе меченных технецием-<sup>99m</sup> производных глюкозы даст возможность получать с высокой достоверностью информацию о состоянии опухолевой ткани методом ОФЭКТ, не увеличивая стоимость исследования, соответственно – получить более доступный метод диагностики.

Практически завершены доклинические исследования радиофармпрепарата на основе доксорубина и радионуклида технеция-<sup>99m</sup> для диагностики онкологических заболеваний и прогноза эффективности противоопухолевой терапии, структурная формула которого приведена на рисунке 1. Применение <sup>99m</sup>Tc-доксорубина позволит персонализировано назначать химиотерапию.

Для радионуклидной диагностики нейроэндокринных опухолей разработан новый радиофармпрепарат на основе синтетических производных соматостатина, меченых технецием-<sup>99m</sup>, что позволит провести оценку локализации первичного опухолевого узла и распространенности опухолевого процесса. Также готовятся к проведению доклинические исследования нового радиофармацевтического препарата на основе высокоспецифичных меченых <sup>99m</sup>Tc рекомбинантных адресных молекул DARPIn для визуализации злокачественных образований с гиперэкспрессией HER2/neu, что позволит увеличить точность и специфичность диагностики опухолей с гиперэкспрессией HER2/neu. Коллективом томских ученых разработан ряд других препаратов, в том числе и для диагностики в кардиологии.

[1] Источник: <http://worldofoncology.com/materialy/o-rake/statistika/>

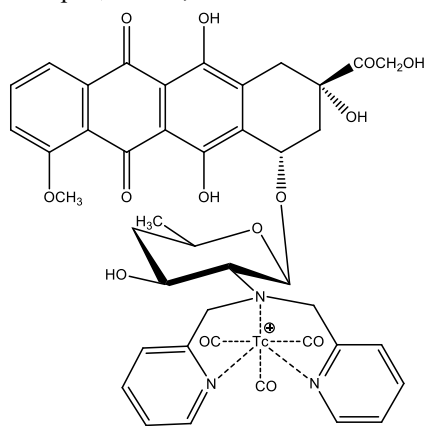


Рис.1 Молекула радиофармпрепарата <sup>99m</sup>Tc-доксорубин

## СИНТЕЗ ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Сохорева В.В.<sup>1</sup>, Дюсембекова А.А.<sup>1,2</sup>, Головков В.М.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Физико-технический институт, пр. Ленина, д. 30, Томск, 634050, Россия

<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева  
Институт химической инженерии, ул. Сатпаева, д. 22а, Алматы, 050013, Казахстан

Топливные элементы (ТЭ) представляют собой очень эффективный, надежный, долговечный и экологически чистый способ получения энергии. Водородные топливные элементы осуществляют превращение химической энергии топлива в электричество, минуя малоэффективные, идущие с большими потерями, процессы горения и превращения тепловой энергии в механическую. Водородный топливный элемент с протонообменной мембраной (ПОМ) является одной из наиболее перспективных технологий ТЭ. ПОМ является основным компонентом ТЭ и обеспечивают высокую эффективность в преобразовании энергии за счет создаваемой протонной проводимости в гидрофильных каналах, по которым происходит транспорт подвижных протонов. Однако у существующих ПОМ имеются ряд недостатков, таких как неудовлетворительные характеристики протонного транспорта при низком влагосодержании, высокие значения проницаемости мембраны по топливу (водород), а также высокая стоимость существующих в настоящее время мембран ограничивают их практическое применение. Таким образом, создание новых типов ПОМ, с улучшенными характеристиками, путем модифицирования известных, коммерчески доступных в настоящее время полимерных пленок, является актуальной и перспективной задачей. Авторами работы предложен способ модификации полимерной пленки поливинилиденфторид (ПВДФ), путем радиационно-прививочной полимеризации (РПП) мономера стирола, с последующим сульфированием привитого материала.

В экспериментах, по разработанной методике, использовали полимерную пленку ПВДФ ФТОРОПЛАСТ-2М (Санкт-Петербург) с номинальной толщиной 40 мкм. Для получения мембраны ПВДФ-пленку облучали на выведенном в воздух пучке протонов (с энергией  $\sim 7$  МэВ) ускоренных на циклотроне Р-7М (ФТИ ТПУ). Процесс РПП проводили по методу пост-эффекта. Дозу облучения варьировали при токе  $0,1 \text{ мкА} \cdot \text{см}^{-2}$ . Число обменных протонов на единицу массы сухой мембраны проводили, учитывая результаты обратного титрования в насыщенном растворе NaCl. Для исследования проводимости радиационно-привитой ПВДФ проводили методом импедансометрии при помощи электрохимической рабочей станции ZIVE SP2.

Таблица 1. Результаты обменной емкости и проводимости образцов

№ образца	Обменная ёмкость, мг-экв/г	Проводимость, См/см
Nafion	52	0,019
Образец 1	2,45	0,023
Образец 2	2,95	0,024
Образец 3	3,5	0,027

Экспериментальные данные измерения частотных спектров (таблица 1) для исследуемых мембран, полученные с помощью данного метода показывают, что для мембраны Нафийон и сульфированных мембран, наблюдается значительное возрастание проводимости. Значение проводимости сульфированной ПВДФ мембраны сравнимо с Нафийоном, и это обстоятельство говорит о хорошей результативности радиационно-химической обработки полимерной пленки ПВДФ.

Понимание структурной организации ПОМ и механизма транспорта заряда необходимо для оптимизации работы существующих ТЭ, а также для разработки новых типов мембран с улучшенными функциональными характеристиками. В то же время, модификация полимеров с использованием ионизирующего излучения в ряде случаев позволяет получать новые материалы с улучшенными свойствами. При помощи модификации можно улучшать такие важнейшие параметры материалов, как прочность и упругость, а посредством ввода кислотных групп электронную и ионную проводимость и др.

*Работа выполнялась в рамках Госзадания «Наука» Минобрнауки РФ №3.8173.2017/8.9.*



**СОРБЕНТЫ ДЛЯ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ  
ГЕРМАНИЙ-68 И ГАЛЛИЙ-68**

*Егамедиев С.Х., Хужаев С.*

Институт Ядерной Физики АН РУз, Ташкент, Республика Узбекистан

В настоящее время во всем мире отмечается бурное развитие ПЭТ технологий. В ПЭТ-технологиях радионуклидный генератор  $^{68}\text{Ge}/^{68}\text{Ga}$  занимает особое место, вследствие благоприятных ядерно-физических свойств материнского радионуклида  $^{68}\text{Ge}$  и дочернего радионуклида  $^{68}\text{Ga}$ . Материнский радионуклид  $^{68}\text{Ge}$  ( $T_{1/2}=288$  сут) распадается путём электронного захвата, образует дочерний радионуклид  $^{68}\text{Ga}$  ( $T_{1/2}=68,3$  мин), который является практически чистым позитронным излучателем (90%;  $E_{\beta^+}=1,899$  МэВ). Радионуклид  $^{68}\text{Ga}$  образует различные комплексы без присутствия восстанавливающего агента, и поэтому является удобной меткой для радиофармацевтических препаратов.

Целью настоящей работы была разработка и изучение сорбентов для радиохимического выделения германия-68 без носителя и получение сорбента на основе диоксида олова  $\beta\text{-SnO}_2$  для радионуклидного генератора  $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ .

Для приготовления неподвижной фазы мы использовали смеси четыреххлористого углерода  $\text{CCl}_4$  с ароматическими разбавителями (бензол, толуол, о-ксилол). Сорбент для выделения германия-68 из галлиевой мишени либо цинковой мишени готовили следующим образом: навеска мелкодисперсной фракции фторопласта-4 (150-200 меш) 3 г смачивалась этиловым спиртом (объем примерно 9-10 мл) до образования равномерно распределенной массы. Затем к полученной суспензии фторопласта-4 добавляли 1,5 мл экстрагента  $\text{CCl}_4$ + о-ксилол (1:4), то есть четыреххлористый углерод разбавляли ароматическим углеводородом в объемном соотношении (1:4). Затем полученная смесь тщательно перемешивалась в течении 15 минут стеклянной палочкой и затем к полученной смеси добавляли в избытке раствор соляной кислоты (обычно 0,5 – 1 моль/л) при постоянном перемешивании. При этом этиловый спирт переходил в водный раствор, а экстрагент с носителем (фторопласт-4) образует коллоидные частицы, размер которых зависел от количества добавленного экстрагента, но лучшее соотношение экстрагент/носитель составило 0,5. Затем полученная суспензия переносилась в колонку, заполненную предварительно раствором 1 моль/л  $\text{HCl}$  методом седиментации. Для дальнейшей работы колонку с сорбентом промывалась 10 моль/л  $\text{HCl}$  и проводилось выделение германий-68. Применение данного сорбента обеспечивало получение и очистку радионуклида германий-68 без носителя с радиохимическим выходом более 90%.

Растворение металлического олова в азотной кислоте нами использовалось для приготовления  $\beta\text{-SnO}_2$ . Показано, что адсорбционные свойства  $\beta\text{-SnO}_2$  сильно зависят от условий предварительной обработки после растворения олова. Высокие коэффициенты распределения для радионуклида  $^{68}\text{Ge}$  и наиболее высокий фактор разделения радионуклидной пары  $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$  были достигнуты из растворов 0,6 – 1,0 М  $\text{HCl}$  на образце  $\beta\text{-SnO}_2$  прокаленного при 180-200 °С. Адсорбция германия была количественной (99,5-99,7 %) из растворов соляной кислоты (0,1-1,4 М). Динамическая емкость до проскока германия составляла 10 мг  $\text{Ge}$  на 1 г  $\beta\text{-SnO}_2$ .

Полученный адсорбент  $\beta\text{-SnO}_2$  был испытан для разделения радионуклидной цепочки  $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ . Оптимальное отделение дочернего радионуклида  $^{68}\text{Ga}$  от материнского радионуклида  $^{68}\text{Ge}$  может быть достигнуто с использованием в качестве элюента раствора 0,6 М  $\text{HCl}$ . Показано, что экспериментальная генераторная колонка на основе полученного сорбента  $\beta\text{-SnO}_2$  – 0,6 М  $\text{HCl}$  обеспечивает высокие выходы  $^{68}\text{Ga}$  (60-80%) с низким проскоком  $^{68}\text{Ge}$  ( $2 \times 10^{-4}\%$ ).

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ**

*Толстоухов С.С.*

Рiборi Оу, Россия, Москва, Певческий переулок д.4 стр.1

В современном мире все большее развитие получают методы ядерной медицины для ранней диагностики и лечения онкологических заболеваний. Важную роль в этом играют современные радиофармпрепараты (РФП), которые могут быть наработаны как в крупных научно-исследовательских и производственных центрах ядерных материалов, с последующей доставкой до онкоцентров, так и нарабатываться непосредственно в лечебных заведениях. В обоих случаях важным этапом является обеспечить контроль качества РФП согласно международным нормам. Компания Рiборi Оу более 20 лет занимается поставками как отдельных приборов, так и готовых решений для лабораторий контроля качества РФП от ведущих мировых производителей.

СХЕМА РАЗДЕЛЕНИЯ  $^{225}\text{Ac}$  ИЗ ОБЛУЧЕННЫХ ТОРИЕВЫХ МИШЕНЕЙ

Баймуханова А.Е.<sup>1,2</sup>, Радченко В.И.<sup>3</sup>, Философов Д.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт Ядерной Физики РК, 050032, ул. Ибрагимова 1, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Объединенный Институт Ядерных Исследований, 141980, ул. Жолио–Кюри 6, г. Дубна, Россия

<sup>3</sup>Отдел наук о жизни, TRIUMF, 4004, Вестбрукмолл, V6T 2A3, Ванкувер, Канада  
[ayagoz.88@mail.ru](mailto:ayagoz.88@mail.ru)

Актиний-225 ( $T_{1/2} = 9,92$  дней) является перспективным кандидатом для применения в мишенной альфа-терапии [1, 2]. Он может быть использован в комплексах с антителами и пептидами. В настоящее время получение  $^{225}\text{Ac}$  из  $^{229}\text{Th}$  ( $T_{1/2} = 7880$  лет) ограничено количеством 63 ГБк/год. Наиболее перспективной стратегией производства  $^{225}\text{Ac}$  является его выделение из облученных ториевых мишеней протонами с высоких энергий ( $\geq 100$  МэВ). Однако основная проблема заключается в том, что  $^{225}\text{Ac}$  надо выделить из большого количества тория. Также необходимо провести качественную очистку от полученных продуктов деления. Ранее было предложено несколько стратегий химического разделения [3-5]. В данной работе мы протестировали альтернативную стратегию разделения изотопов актиния из облученного тория.

Был проведен ряд экспериментов по растворению тория в различных кислотах, таких как соляная, трихлоруксусная, лимонная, винная и молочная. Определение коэффициентов распределения ( $K_d$ ) проводилось с радиоактивными метками Ac, Ra и Th в системе соляная, трихлоруксусная кислоты и катионообменная смола. Кроме того, были выполнены эксперименты по динамическому колоночному разделению радиоактивных меток Ac и Ra с большим количеством тория в системе соляная, трихлоруксусная кислоты и катионообменная смола.

Из всех исследованных кислот наиболее подходящими для растворения металлического тория оказались соляная и трихлоруксусная кислоты. Были определены коэффициенты распределения радионуклидов Ac, Ra в зависимости от концентрации кислот. При динамических разделениях в трихлоруксусной кислоте на колонках Ac и Ra показали значительную сорбцию на смоле, превышающую сорбцию тория.

Была разработана система на основе трихлоруксусной кислоты и катионообменной смолы, которая перспективна для разделения изотопов актиния и радия из большого количества тория.

[1] Melville, G. et al. *Applied Radiation and Isotopes* 65.9 (2007): 1014–1022.

[2] Apostolidis, C. et al. *Analytical Chemistry* 77.19 (2005): 6288–6291.

[3] Filosofov, D. V. et al. *Radiochemistry* 55.4 (2013): 410–417.

[4] Aliev, R. A. et al. *Solvent Extraction and Ion Exchange* 32.5 (2014): 468–477.

[5] Radchenko, V. et al. *Journal of Chromatography A* 1380 (2015): 55–63.

ФОТОЯДЕРНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ F-18

<sup>1</sup> Дикий Н.П., <sup>1</sup> Довбня А.Н., <sup>1</sup> Ляшко Ю.В., <sup>1</sup> Медведева Е.П., <sup>1</sup> Медведев Д.В., <sup>1</sup> Уваров В.Л., <sup>2</sup> Федорец И.Д.

<sup>1</sup>ННЦ «Харьковский физико-технический институт», Харьков, Украина

<sup>2</sup>Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина

$^{18}\text{F}$  является одним из самых важных позитронных излучателей, которые обычно используются в позитронной эмиссионной томографии (ПЭТ). Метод ядер отдачи в реакции  $^{19}\text{F}(\gamma, n)^{18}\text{F}$  использован для производства свободного  $^{18}\text{F}$ . Достаточно большая энергия ядер отдачи в этой реакции может составлять до 150 кэВ [1]. Смесь наночастиц  $\text{CaF}_2$  размером 200 нм и акцептора в виде наночастицы клиноптилолита или пищевой соли была облучена тормозным излучением с максимальной энергией 13,5 МэВ. Облученные образцы были помещены в кислотный раствор для растворения клиноптилолита или в дистиллированную воду для растворения пищевой соли. Выход изотопа  $^{18}\text{F}$  в раствор составил 25% от общей активности образца. Проведенная оценка наработки  $^{18}\text{F}$  на электронном ускорителе мощностью 10 кВт и с энергией 25 МэВ может составлять до 1 Ки за 4 часа.

1. T. Mori, H. Nishihara, I. Kimura et al. // *J. Nucl. Sci. Tech.* – v.22(9). – 1985. – p.708.

**ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ГАДОЛИНИЯ НА СОРБЕНТЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МИШЕНИ ДЕТЕКТОРА  
ЭЛЕКТРОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО**

*Зиновьев В.Г., Митропольский И.А., Шуляк Г.И., Сушков П.А., Малютенков Э.И., Тюкавина Т.М., Тихонова А.Е.,  
Сахаров С.Л., Окунев И.С.*

НИЦ «Курчатовский Институт» - ПИЯФ. Россия, г.Гатчина

Установлено что сорбция  $Gd^{3+}$  на С100 это многостадийный процесс, включающий в себя две лимитирующие стадии пленочной и гелевой диффузий. Установлено что сорбция  $Gd^{3+}$  протекает наиболее интенсивно в течение первых 3 минут, а равновесие достигается в течение 30–60 минут (Таблица 1).

Таблица 1 – Параметры кинетики сорбции  $Gd^{3+}$  на С100 из растворов HCl и H<sub>2</sub>O.  $V = 250$  мл,  $r = 0.025$  см,  $C_{0(Gd)} = 46$  ммоль·л<sup>-1</sup>,  $T = 298$  К

Эксперимент					Модель			
					псевдо-первого порядка		псевдо-второго порядка	
$m_{C100}$ , г	$q_e$ , моль г <sup>-1</sup>	$\tau_{1/2}$ , с	$E_{гем}$ , %	Жидкая фаза	$k_1$ , с <sup>-1</sup>	$q_1$ , моль/г	$k_2$ , г/(моль с)	$q_2$ , моль/г
5.10	$(11.5 \pm 0.2) \cdot 10^{-4}$	91	54.6 ± 0.1	H <sub>2</sub> O	0.0077	0.00083	29.84	0.00115
11.64	$(9.3 \pm 0.3) \cdot 10^{-4}$	93	93.1 ± 0.1	H <sub>2</sub> O	0.0077	0.00077	35.85	0.00093
14.31	$(8.1 \pm 0.9) \cdot 10^{-4}$	107	99.8 ± 0.2	H <sub>2</sub> O	0.0085	0.00101	24.41	0.00084
18.12	$(6.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	108	99.7 ± 0.3	H <sub>2</sub> O	0.0110	0.00082	46.62	0.00068
25.61	$(4.5 \pm 0.6) \cdot 10^{-4}$	114	99.5 ± 0.3	H <sub>2</sub> O	0.0116	0.00063	39.95	0.00047
35.71	$(3.2 \pm 0.5) \cdot 10^{-4}$	108	99.8 ± 0.5	H <sub>2</sub> O	0.0085	0.00063	59.54	0.00035
45.44	$(2.6 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$	117	99.9 ± 0.6	H <sub>2</sub> O	0.0082	0.00022	77.08	0.00027
50.00	$(2.3 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$	112	99.9 ± 0.9	H <sub>2</sub> O	0.0085	0.00097	71.96	0.00024
11.21	$(8.0 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$	129	77.9 ± 0.1	0.5M HCl	0.0068	0.00076	16.53	0.00083
18.01	$(5.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$	128	86.9 ± 0.6	1M HCl	0.0060	0.00045	31.14	0.00056

Удельная сорбционная ёмкость сорбента увеличивается от  $(5.7 \pm 0.1) \cdot 10^{-4}$  до  $(6.5 \pm 0.4) \cdot 10^{-4}$  моль г<sup>-1</sup> при уменьшении концентрации HCl в жидкой фазе с 1 М до 0 М при  $m_{C100} = 18$  г,  $V = 250$  мл,  $r = 0.025$  см,  $C_{0(Gd)} = 46$  ммоль·л<sup>-1</sup>. Экспериментально измерены константы скорости пленочной и гелевой диффузий. Рассчитаны константы скорости реакции по моделям кинетики псевдо-первого и псевдо-второго порядка для сорбции  $Gd^{3+}$  на С100 из H<sub>2</sub>O и растворов HCl. Установлено что  $k_1$  и  $k_2$  уменьшаются с увеличением концентрации HCl. Установлено, что сорбция гадолиния на С100 описывается кинетической моделью псевдо-второго порядка. Рассчитаны термодинамические параметры сорбции  $Gd^{3+}$  на С100 из H<sub>2</sub>O. Термодинамический анализ показал, что сорбция катионов  $Gd^{3+}$  на С100 представляет собой ионообменную самопроизвольную ( $\Delta G^0 < 0$ ), экзотермическую ( $\Delta H^0 < 0$ ) реакцию, протекающую в направлении упорядочивания ( $\Delta S^0 < 0$ ) системы сорбат–сорбент. Установлено, что сорбция получалась лучше при более высоких температурах. В результате, изготовлена и испытана мишень для регистрации электронного антинейтрино.

***ROUND TABLE «RESEARCH REACTORS: SAFETY,  
UTILIZATION, AGING MANAGEMENT»***  
*dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the  
research reactor WWR-K*

***КРУГЛЫЙ СТОЛ «ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ  
РЕАКТОРЫ: БЕЗОПАСНОСТЬ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ,  
УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСОМ»***  
*приуроченный к 50-летию пуска исследовательского  
реактора ВВР-К*

## **ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ**

*Заикин А.А., Локанцев А.А., Садов И.В.*

ЗАО «СНИИП-СИСТЕМАТОМ», Москва, Россия

В настоящее время большинство исследовательских реакторов в мире нуждаются в модернизации в результате физического износа оборудования. Одной из составных частей системы безопасности реакторной установки является электронное оборудование системы управления и защиты (СУЗ) реактора. Оборудование СУЗ, разработанное и установленное зачастую еще в 60-70-х годах прошлого столетия, выработало свой ресурс, характеризуется нарастающей интенсивностью отказов и в некоторых случаях не отвечает современным требованиям ядерной безопасности. Восстановление работоспособности СУЗ путем ремонта или частичной замены выходящих из строя узлов становится практически невозможным из-за отсутствия запасных частей и компонентов. Поэтому в долгосрочной перспективе для обеспечения стабильного функционирования реактора полная модернизация оборудования СУЗ является наиболее целесообразным решением.

Компания SYSTEMATOM выполняет полный объем работ – от разработки технического задания и производства до ввода в эксплуатацию и сопровождения эксплуатации оборудования для систем управления и защиты реакторов атомных станций, а также исследовательских реакторов. В период с 2000 по 2016 год было изготовлено и введено в эксплуатацию семь комплексов аппаратуры системы управления и защиты для исследовательских реакторов (АСУЗ-ИР) ПИК (Гатчина, Россия), МИР.М1 (Димитровград, Россия), IVV-9 (Далат, Вьетнам), ИБР-2 (Дубна, Россия), ВВР-ц (Обнинск, Россия), ВВР-СМ (Ташкент, Узбекистан), ВВР-К (Алматы, Казахстан). В настоящее время оборудование комплексов АСУЗ-ИР изготовлено и поставлено на исследовательские реакторы ВВР-М (Гатчина, Россия), БОР-60, РБТ-10/2 (Димитровград, Россия) и ИВВ-2М (Заречный, Россия), планируется их ввод в эксплуатацию.

Каждый исследовательский реактор является уникальным (даже реакторы одного типа, например, ВВР) по своим техническим характеристикам, объему контроля, алгоритмам управления и формирования аварийной защиты. Система управления и защиты для каждого реактора является уникальной разработкой. Новое оборудование, состоящее преимущественно из цифровых устройств, приходит на смену устаревшему оборудованию, выработавшему свой ресурс. Цифровые технологии (программируемая логика и микроконтроллеры) позволяют адаптировать одно и то же аппаратное решение под различные требования конкретных проектов. Высокая степень интеграции цифровых микросхем и высокая скорость работы микроконтроллеров позволяют реализовать необходимые функции и дополнить системы новыми возможностями: расширить/ввести новые функции самодиагностики аппаратуры, существенно изменить интерфейс для оператора, выполнять архивацию всех сигналов, фиксировать первопричину срабатывания аварийной защиты, увеличить степень автоматизации управления реактором и снизить влияние «человеческого фактора».

За время, прошедшее с момента разработки компанией SYSTEMATOM первого комплекса аппаратуры для исследовательского реактора, существенно изменилась элементная база, в основном изменения касаются цифровых микросхем, контроллеров, компьютеров и дисплеев. Многие из компонентов, использованных при разработке оборудования в 2000 году, уже сняты с производства. Неизменной остаётся концепция и основные принципы построения (архитектура) комплекса аппаратуры для системы управления и защиты исследовательских реакторов, которые были определены на основе имеющегося у компании опыта разработки и данных о реальной эксплуатации, современных требований к системам безопасности, их надёжности и отказоустойчивости. В настоящее время на исследовательские реакторы поставляются комплексы четвертого поколения, выполненные на современных компонентах.

Компания SYSTEMATOM является разработчиком и изготовителем нейтронных детекторов различного типа на основе ионизационных камер и счетчиков нейтронов, каналы контроля нейтронного потока оснащаются нейтронными детекторами собственного производства. Конструкция детекторов (длина и тип соединительного кабеля и т.д.), монтажные части для установки детекторов в реактор подбираются в зависимости от требований к аппаратуре контроля нейтронного потока для каждого конкретного реактора.

Надёжность оборудования закладывается на стадиях разработки и изготовления оборудования, но важными факторами, позволяющими сохранить надёжность работы аппаратуры в процессе эксплуатации, являются профессиональный монтаж и пусконаладка, а также дальнейшее сервисное обслуживание. Тесное взаимодействие специалистов компании SYSTEMATOM с персоналом эксплуатирующих организаций на всех этапах жизненного цикла оборудования и гибкость системы позволяют также вносить изменения в аппаратуру для обеспечения постоянно меняющихся задач, стоящих перед исследовательскими реакторами, обеспечивая при этом высокий уровень безопасности и надёжности.

**50 ЛЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ РЕАКТОРУ ВВР-К**

*Шаймерденов А.А., Накипов Д.А., Аринкин Ф.М., Гизатулин Ш.Х., Чаков П.В., Кенжин Е.А.*

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан  
ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Казахстан

Реактор ВВР-К является единственным многоцелевым исследовательским реактором в Республике Казахстан. Первый физический пуск реактора ВВР-К был осуществлен 30 октября 1967 г. под руководством Б.Т. Дубовского, В.Н. Околовича, Г.А. Батырбекова, Л.А. Юровского и А.И. Маслова.

Исследовательский реактор ВВР-К – это водо-водяной реактор, гетерогенного типа, с тепловым спектром нейтронов, проектной мощностью 10 МВт и обогащением по урану-235 36%. Он безаварийно проработал непрерывно до 1988 года. После аварии на Чернобыльской АЭС, в октябре 1988 года решением Госпроматомнадзора СССР эксплуатация реактора ВВР-К была приостановлена до выполнения требований по обоснованию безопасной работы реактора в условиях высокой сейсмичности. Специалистами Института ядерной физики была проделана огромная работа по повышению сейсмозащищенности реактора и обоснована его безопасная эксплуатация в условиях высокой сейсмичности. С 1998 года эксплуатация реактора ВВР-К была возобновлена с разрешенной мощностью 6 МВт.

До распада СССР, основными направлениями применения реактора ВВР-К были: испытания элементов термоэмиссионного реактора преобразователя, нейтронно-активационный анализ, исследования ультрахолодных нейтронов, исследования параметров плазмы инертных газов, исследования электроионизации CO<sub>2</sub> и СО лазеров.

В 2003 году были начаты исследования возможности перевода реактора на низкообогащенное топливо с сохранением эксплуатационных и экспериментальных возможностей. В результате была разработана новая тепловыделяющая сборка ВВР-КН и на ее основе компактная активная зона, которая позволяет улучшить характеристики реактора. В период с 2011 по 2013 гг. проведены ресурсные испытания трех экспериментальных ТВС, по результатам которых ТВС ВВР-КН была рекомендована для конверсии реактора ВВР-К. В первой половине 2016 года проведены успешные физический и энергетический пуски реактора ВВР-К с топливом пониженного обогащения. В результате конверсии плотность потока тепловых нейтронов в центре активной зоны возросла в два раза.

Основные современные направления применения реактора ВВР-К:

Испытания топлива и конструкционных материалов реакторов IV-го поколения;

Испытания материалов термоядерного реактора;

Производство радионуклидов для медицины и промышленности;

Нейтронно-активационный анализ.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ.1М**

*Гныря В.С., Азимханов А.С., Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Дербышев И.К. \**

Институт Атомной Энергии, Национальный Ядерный Центр РК, Курчатова, Казахстан

В настоящее время на исследовательском реакторе ИВГ.1М выполняется программа конверсии на низкообогащенное топливо. На сегодняшний день в активную зону реактора ИВГ.1М загружены два экспериментальных водоохлаждаемых технологических канала с низкообогащенным топливом для проведения комплексных испытаний. В связи с этим, имеется необходимость определения характеристик органов регулирования и компенсации реактора с данной компоновкой активной зоны.

В работе представлены результаты проведения физических исследований по определению регулировочных характеристик и эффективности органов регулирования исследовательского реактора ИВГ.1М. В частности, были определены дифференциальная и интегральная характеристики регулирующих барабанов и стержней системы компенсации реактивности при различной компоновке центрального экспериментального канала. Характеристики органов регулирования и компенсации были получены с помощью реактиметра, метода установившегося периода разгона и метода «сброса стержня». Был проведен сравнительный анализ результатов физических исследований, полученных экспериментальным и расчетным способом.

#### 45 ЛЕТ КРИТИЧЕСКОМУ СТЕНДУ

*Гизатулин Ш.Х., Батырбеков Г.А., Аринкин Ф.М., Шаймерденов А.А., Бейсебаев А.О., Колточник С.Н., Чекушина Л.В., Романова Н.К., Дюсамбаев Д.С., Накипов Д.А., Чакров П.В., Кенжин Е.А.*

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан  
ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Казахстан

2 июля 1972 года осуществлен физический пуск критического стенда в институте физики высоких энергий АН КазССР. В настоящее время эксплуатирующей организацией является РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан. Он был создан для исследования нейтронно-физических характеристик твэлов и пакетов термоэмиссионного реактора-преобразователя, моделирования активных зон водо-водяных реакторов, изучения влияния различных поглотителей и топлива, облучаемых образцов и экспериментальных каналов на нейтронно-физические характеристики активной зоны и рабочие органы системы управления и защиты (РО СУЗ), а также для физического обоснования поэтапной модернизации исследовательского реактора ВВР-К.

Критический стенд представляет собой физический реактор малой мощности (100 Вт) на тепловых нейтронах с легководным замедлителем и отражателем. Конструкция критической сборки критстенда отличается достаточной гибкостью, так как опорная решетка активной зоны имеет 145 отверстий для установки ТВС, экспериментальных каналов, вытеснителей, блоков бериллиевого отражателя и т.д.; исполнительные механизмы каналов РО СУЗ располагаются непосредственно на канале, что дает возможность устанавливать их практически в любую ячейку активной зоны и позволяет моделировать и исследовать активные зоны водо-водяных исследовательских реакторов различного типа.

Модернизация аппаратуры СУЗ критического стенда проводилась в 1989 и 2012 гг. В конце 2012 года осуществлен перевод активной зоны критического стенда на топливо пониженного обогащения (19,7% по урану-235) и проведены исследования ее нейтронно-физических характеристик.

В период с 2013 по 2015 гг. на критическом стенде проведен цикл экспериментальных исследований в обоснование перевода исследовательского реактора ВВР-К на топливо пониженного обогащения. Результаты исследований позволили успешно осуществить конверсию реактора ВВР-К.

В дальнейшем планируется использовать критический стенд также для подготовки персонала ядерных установок и студентов высших учебных заведений, так как он является хорошим инструментом для понимания основ физики реакторов и экспериментальной физики.

#### ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ РЕАКТОРА ВВР-К

*Гизатулин Ш.Х., Кенжин Е.А., Накипов Д.А., Нугуманов Д.К., Тулегенов М.Ш., Чакров П.В., Шаймерденов А.А.*

РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики Республики Казахстан  
ул. Ибрагимова 1, 050032, Алматы, Казахстан

В докладе представлен опыт РГП «Институт ядерной физики» Министерства энергетики РК по обращению с отработавшими тепловыделяющими сборками (ОТВС) исследовательского реактора ВВР-К. После выгрузки из реактора ОТВС временно хранятся в бассейнах выдержки для снижения остаточного тепловыделения. Благодаря поддержанию нормативно установленного водно-химического режима в бассейнах выдержки, за все время эксплуатации реактора не было ни одного случая разгерметизации ОТВС при их длительном хранении. В рамках международной программы возвращения отработавшего топлива исследовательских реакторов в страну происхождения (RRRFR) накопленные ОТВС реактора ВВР-К отправляются на переработку в Российскую Федерацию. В работах принимают участие казахстанские, российские и американские специалисты, упаковка ОТВС в транспортные контейнеры производится под контролем МАГАТЭ. В рамках программы RRRFR успешно осуществлено два этапа вывоза ОТВС: в 2008-2009 годах и в 2014 году. Завершающий этап вывоза ОТВС реактора ВВР-К планируется осуществить в 2017 году.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ NRT  
НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИБР-2**

*Назаров К.М., Кичанов С.Е., Козленко Д.П., Лукин Е.В., Руткаускас А.Н., Савенко Б.Н.*

Лаборатория Нейтронной физики имени И.М. Франка, ОИЯИ, 141980, Дубна, Россия

Развитие нейтронных детектирующих систем и технологии цифровой записи привело к развитию методов исследования с помощью нейтронной радиографии. Применение этого метода вошло в практику многих мировых нейтронных центров и лаборатории, и позволяет решать целый ряд важных задач в неразрушающем контроле. Метод нейтронной радиографии заключается в получении нейтронных изображений исследуемых объектов, где различие в нейтронных сечениях поглощения для разных элементов дает информацию о внутреннем распределении неоднородностей исследуемых материалов. Частным случаем метода нейтронной радиографии является нейтронная томография, при которой выполняется реконструкция объемной модели исследуемого образца из набора отдельных радиографических изображений.

С учетом важности нейтронных методов неразрушающего контроля, на 14-м канале высокопоточного импульсного реактора ИБР-2 построена новая экспериментальная установка нейтронной радиографии и томографии NRT. В настоящее время, установка NRT широко применяется для исследования структурных особенностей и макро-неоднородностей конструкционно-инженерных материалов, археологических и геофизических объектов, а также уникальных объектов культурного наследия.

Составной вакуумированный коллиматор формирует выходной нейтронный пучок с размерами 20x20 см<sup>2</sup>. Детекторная система базируется на сцинтилляционном экране <sup>6</sup>LiF/ZnS с регистрацией изображений высокочувствительной видеокамерой на основе CCD-матрицы высокого разрешения. Интегральный поток тепловых нейтронов в позиции образца составляет  $\Phi \sim 5.5(2) \times 10^6$  н/см<sup>2</sup>/с. Параметр коллимации может варьироваться от 200 до 2000. Проведение томографических экспериментов обеспечивает система гониометров HUBER с минимальным углом поворота до 0.02°.

В докладе будут представлены основные конструкции, параметры и текущее состояние установки, а также результаты прикладных и научных исследований.

**ФИЗИЧЕСКИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПУСКИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО  
РЕАКТОРА ИБР – 2 ( ИБР – 2М)**

Ананьев В.Д., Виноградов А.В., Долгих А.В., Едунов Л.В., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Царенков С.А.,  
Заикин А.А. \*, Локанцев А.А. \*

ОИЯИ, ЛНФ, Дубна, Россия; \* СНИИП-Систематом

Приводятся основные результаты исследования модернизированного реактора ИБР-2 (ИБР-2М), выполненные по программе физического и энергетического пусков реактора в 2010-2011 гг. Реактор ИБР-2 был остановлен в 2006 г. в связи с выработкой ресурса. На реакторе была заменена значительная часть основного оборудования, за исключением биологической защиты, модулятора реактивности и технологических систем. По итогам физического пуска ИБР-2М критическая загрузка активной зоны составила 64 ТВС. Эффективности рабочих органов СУЗ и быстроедействие блоков аварийной защиты удовлетворяют требованиям ядерной безопасности. Имитация аварий по отключению различных технологических систем, обеспечивающих нормальное функционирование реактора, показала, что скорость ввода реактивности во всех случаях существенно меньше допустимого значения и блоки аварийной защиты в любой ситуации снизят мощность за время между импульсами до безопасного уровня. Форма импульса по быстрым нейтронам близка к гауссовой с длительностью  $200 \pm 3$  мкс.

Все быстрые эффекты (мощностные, расходные и изотермический эффект) отрицательны на всех уровнях мощности и расхода натрия через активную зону. Флуктуации энергии импульсов малы (5,9% среднеквадратические) и значительно меньше, чем у ИБР-2 перед его остановом на модернизацию. Длительность нейтронного импульса на половине высоты равна  $200 \pm 4$  мкс. Импульсная мощность составляет 1830 МВт, мощность фона – 8,6% от средней мощности. Указанные параметры реактора позволяют обеспечить его безопасную и эффективную работу на мощности до 2 МВт при частоте повторения импульсов 5 1/сек.



## КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА ИРТ-4М

*Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Кудиратов С.*

Институт ядерной физики АН РУ

Для обеспечения безопасной работы реактора все ТВС (тепловыделяющая сборка), загружаемые в активную зону реактора, должны быть герметичными. Во время эксплуатации ТВС и с возрастанием их выгорания, на поверхности ТВС появляются микропоры и микротрещины, из которых выделяются продукты деления  $^{235}\text{U}$ . Часть продуктов деления  $^{235}\text{U}$  выходят из ТВС в воду хранилища отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) и в воду первого контура, газообразные в надреакторное пространство. Существуют ограничения для выходов продуктов деления из ТВС, превышение которых может указать на разгерметизацию топлива [1].

Проводился контроль герметичности оболочек (КГО) ТВС типа ИРТ-4М с различными выгораниями, которые были выгружены из активной зоны исследовательского реактора ВВР-СМ. Активности продуктов деления, выходящих из топливныхборок, были измерены. Активности некоторых ТВС были измерены, несколько раз по мере возрастания их выгорания и изучалось их поведение.

Процедура контроля герметичности оболочки включает:

Размещение ТВС в специальный стакан и заполнение его дистиллированной водой.

Отбор проб воды через 24 часа.

Измерения активностей продуктов деления в пробах воды.

Специальный стакан опускают в бассейн хранилища ОТВС. ТВС загружают в специальный стакан и плотно закрывают для предотвращения проникновения воды из бассейна хранилища. Стакан заполняют дистиллированной водой через нижнюю трубку, после чего его оставляют на 24 часа.

После этого отбираются 10 проб воды (0,5 л каждая) из стакана. Мощность доз этих проб измеряют с использованием прибора FH-40G. Образцы, имеющие более высокие дозы, далее отбираются для измерения их активностей с использованием HPGe детектора. Измеряется активность 18 самых наблюдаемых нуклидов - продуктов деления  $^{235}\text{U}$ . Чтобы иметь полное представление о герметичности топлива, были отобраны образцы воды первого контура реактора и воздуха надреакторного пространства и были измерены активности различных нуклидов, содержащиеся в них [2].

Общая активность ТВС увеличивается с увеличением выгорания  $^{235}\text{U}$ , как это и должно быть. Все ТВС типа ИРТ-4М могут быть использованы, в активной зоне пока они не достигнут 60% выгорания для безопасной эксплуатации.

### Литература

Павленко В.И., Маркушев В.М., Тимашев В.В., «Метод расчета выхода продуктов деления из разгерметизированных твэлов с топливом  $\text{UO}_2$ », Препринт ИАЭ № 5137/11, Москва, 1990 год.

А.А. Досимбаев, С.А. Байтелесов, Ю.Н. Коблик и У.С. Салимбаев, «Активности воды и воздуха во время работы реактора ВВР-СМ с топливом, обогащенным по  $^{235}\text{U}$  до 36%», Вестник Русской академии наук: Физика, 2009, том 73, № 2, с.270-273.

## **ПЛАН РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ НОВОГО НЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ОИЯИ**

*Виноградов А.В.*

Лаборатория нейтронной физики ОИЯИ, г. Дубна,  
alvin@nf.jinr.ru

Одной из задач Семилетней программы развития ОИЯИ на период до 2023 г. является разработка концепции создания и использования нового нейтронного источника после достижения установленных сроков эксплуатации и ресурсных ограничений основного технологического оборудования и ядерного топлива ИЯУ ИБР-2. Концептуальное теоретическое обоснование нового источника и его основные нейтронно-физические и технологические характеристики должны быть подготовлены к 2021 году и представлены для рассмотрения научному сообществу и руководящим органам Института.

В докладе представлены содержание и график основных этапов работ по созданию нового источника, финансовые затраты на разработку концепции на период 2017-2019 г.г.

## **МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К**

*Тиванова О.В., Ермаков Е.Л., Акылбек Н.М., Урманов Р.Р.*

РГП «Институт ядерной физики», Республика Казахстан, Алматы

В настоящее время многие исследовательские атомные реакторы находятся в эксплуатации около полувека, что требует более тщательного изучения состояния металла оборудования и трубопроводов первого контура. В связи с процессами старения, вызванными эксплуатационными нагрузками в течение длительного времени, а также невозможностью вырезки образцов для структурных и механических испытаний, подход к оценке такого оборудования основывается на анализе данных наблюдения за параметрами эксплуатации и результатов регулярного мониторинга с применением комплекса современных технологий неразрушающего контроля.

В настоящей работе с применением методов неразрушающего контроля (визуального, радиографического, ультразвуковой толщинометрии, твердости, напряженно-деформированного состояния) проведены исследования сварных соединений и основного металла трубопроводов и оборудования первого контура атомного реактора ВВР-К Института ядерной физики. Получены экспериментальные данные, позволяющие оценить расположение, размеры и тип дефектов сварных соединений конструкционных материалов, изготовленных из алюминиевого сплава САВ-1 и нержавеющей стали типа Х18Н9Т. Расчетным путем по значениям твердости определены показатели прочности и пластичности на растяжение исследованных сварных соединений и основного металла. Получены данные в виде карт распределения параметров механических напряжений, которые позволяют выявить и характеризовать присутствие концентраторов напряжений (дефектов), а также ранжировать их по степени опасности. Предложена система оценки опасности элементов трубопроводов по бальной шкале с учетом результатов испытаний, режимов эксплуатации и расположения дефектов. В зависимости от количества набранных баллов в каждом элементу трубопровода присваивается категория степени опасности: безопасный, наблюдение, нестабильный, опасный. Необходимо отметить, что корректировка класса опасности осуществляется с учетом динамики изменения параметров напряженно-деформированного состояния и размеров дефекта в процессе дальнейшей эксплуатации.



## СОДЕРЖАНИЕ

<b>PLENARY REPORTS</b> .....	8
<b>ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ, ОСНОВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНСТИТУТА ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ</b>	
<i>Кенжин Е.А.</i> .....	9
<b>ЕДИНЫЙ МЕХАНИЗМ ПОЯВЛЕНИЯ Т-НЕЧЁТНЫХ TRI- И ROT-АСИММЕТРИЙ В РЕАКЦИЯХ ТРОЙНОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР-АКТИНИДОВ ХОЛОДНЫМИ ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ</b>	
<sup>1</sup> <i>Кадменский С.Г.</i> , <sup>2</sup> <i>Бунаков В.Е.</i> , <sup>1</sup> <i>Любашевский Д.Е.</i> .....	10
<b>CHALLENGE FOR CREATION OF SCIENCE AND INDUSTRY ON THE BASE OF COOPERATION BETWEEN SHIYODA TECHNOL CO. AND THE INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS</b>	
<i>Hosoda T.*<sup>1</sup></i> , <i>Kenzhin Y.*<sup>2</sup></i> .....	11
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ ЯДЕРНОЙ ПЛАНЕТОЛОГИИ В ОИЯИ</b>	
<i>Швецов В.Н.</i> .....	11
<b>РАДИОНУКЛИДЫ И ТОКСИЧНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕКАХ КАЗАХСТАНА – РЕЗУЛЬТАТЫ 10-ЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА</b>	
<i>Солодухин В.П.</i> .....	12
<b>АТОМНО-ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, КАК АКТУАЛЬНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИКИ БУДУЩЕГО</b>	
<i>Гарибов А.А.</i> .....	13
<b>НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ НУКЛОННЫХ ГАЛО</b>	
<i>Демьянова А.С.</i> .....	15
<b>THREE-BODY ASYMPTOTIC NORMALIZATION FUNCTIONS AS A NEW FUNDAMENTAL DYNAMIC CHARACTERISTIC OF THE THREE-BODY HALO NUCLEI</b>	
<i>Yarmukhamedov R.</i> .....	15
<b>25 ЛЕТ НАЦИОНАЛЬНОМУ ЯДЕРНОМУ ЦЕНТРУ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН. ОТ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТРАГЕДИИ – К НАЦИОНАЛЬНОЙ ГОРДОСТИ</b>	
<i>Батырбеков Э.Г.</i> .....	16
<b>ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ГЕЛИЯ И ВОДОРОДА В ДИСПЕРСНО-УПРОЧНЕННЫХ ФЕРРИТНО-МАРТЕНСИТНЫХ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЯХ</b>	
<i>Гусева Л.Ю.</i> , <i>Калин Б.А.</i> , <i>Стальцов М.С.</i> , <i>Чернов И.И.</i> .....	17
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ NN-ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В МАЛОНУКЛОННЫХ РЕАКЦИЯХ</b>	
<sup>1</sup> <i>Конобеевский Е.С.</i> , <sup>2</sup> <i>Кукулин В.И.</i> , <sup>1</sup> <i>Зуев С.В.</i> , <sup>1</sup> <i>Каспаров А.А.</i> , <sup>1</sup> <i>Мицук В.В.</i> , <sup>1</sup> <i>Мордовской М.В.</i> , <sup>2</sup> <i>Лебедев В.М.</i> , <sup>2</sup> <i>Померанцев В.Н.</i> , <sup>2</sup> <i>Спасский А.В.</i> .....	18
<b>О ВОЗМОЖНОСТИ ЗАПАЗДЫВАЮЩЕГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР В ОБЛАСТИ СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ТРАНСУРАНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	
<i>Скобелев Н.К.</i> .....	19
<b>I. NUCLEAR PHYSICS</b> .....	20
<b>SOLVING QUANTUM MECHANICAL PROBLEMS USING FINITE ELEMENT METHOD AND PARAMETRIC BASIS FUNCTIONS</b>	
<i>Chuluunbaatar O.<sup>1</sup></i> , <i>Vinitsky S.I.<sup>1</sup></i> , <i>Gusev A.A.<sup>1</sup></i> , <i>Krassovitskiy P.M.<sup>2</sup></i> .....	21
<b>ВОЗБУЖДЕНИЕ <sup>93m</sup>Mo в (p,n)- РЕАКЦИИ НА ЯДРАХ НИОБИЯ</b>	
<i>Вишневский И.Н.</i> , <i>Желтоножский В.А.</i> , <i>Саврасов А.Н.</i> .....	22
<b>NEW IMPROVEMENT ON THE <sup>10</sup>B(p,α)<sup>7</sup>Be REACTION STUDIED VIA TROJAN HORSE METHOD AT LOW ENERGIES</b>	
<i>Rapisarda G.G.<sup>1</sup></i> , <i>Spitaleri C.<sup>1</sup></i> , <i>Cherubini S.<sup>1,2</sup></i> , <i>Cvetinovic A.<sup>1</sup></i> , <i>Guardo G.L.<sup>1</sup></i> , <i>Gulino M.<sup>1,3</sup></i> , <i>Cognata M. La<sup>1</sup></i> , <i>Lamia L.<sup>1</sup></i> , <i>Puglia S.M.R.<sup>1</sup></i> , <i>Romano S.<sup>1,2</sup></i> , <i>Sergi M.L.<sup>1</sup></i> , <i>Spartà R.<sup>1</sup></i> .....	22
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ <sup>179m2</sup>Hf НА ЯДРАХ ГАФНИЯ И ТАНТАЛА В РЕАКЦИЯХ С ТОРМОЗНЫМИ ГАММА-КВАНТАМИ</b>	
<i>Желтоножский В. А.</i> , <i>Саврасов А. Н.</i> .....	23
<b>О СВОЙСТВАХ ЯДЕР В ОКРЕСТНОСТИ ПРОТОННОЙ И НЕЙТРОННОЙ ГРАНИЦЫ СТАБИЛЬНОСТИ</b>	

<i>Тарасов В.Н., Кунриков В.И., Пилипенко В.В., Тарасов Д.В.</i> .....	23
<b>COMPILATION OF EXPERIMENTAL NUCLEAR REACTION DATA MEASURED IN KAZAKHSTAN AND UZBEKISTAN FOR THE EXFOR LIBRARY</b>	
<i>Kenzhebayer Nurzat<sup>1</sup>, Zholdybayev Timur<sup>2</sup>, Ergashev Feruzjon<sup>3</sup>, Naohiko Otsuka<sup>4*</sup></i> .....	24
<b>A NEW INVARIANCE OF PERIODIC LAW</b>	
<i>Asker Ali Abiyev</i> .....	25
<b>NONLINEAR CORRECTIONS AND STRUCTURE FORMATION AT STRONG INTERACTIONS</b>	
<i>Temiraliev A.T., Lebedev I.A.</i> .....	26
<b>COMPARISON OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS RELIABILITY FOR <sup>140,142</sup>Ce</b>	
<i>Varlamov V.V., Barbaryan V.A., Peskov N.N.</i> .....	26
<b>SILICON BASED DETECTION SYSTEM FOR THE STUDY OF RARE FISSION MODE PROCESSES</b>	
<i>Berikov D.B.<sup>1,4</sup>, Ahmadov G.S.<sup>1,2,3</sup>, Nuruyev S.M.<sup>1,2</sup>, Chuprakov I.A.<sup>1,4</sup>, Kopatch Yu.N.<sup>1</sup>, Akbarov R.<sup>1,3</sup>, Telezhnikov S.A.<sup>1</sup></i> .....	27
<b>EVALUATION OF RELIABLE PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS FOR <sup>139</sup>La</b>	
<i>Varlamov V.V., Kaydarova V.D., Peskov N.N.</i> .....	28
<b>NEW PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS FOR <sup>90</sup>Zr IN THE REGION OF GDR</b>	
<i>Varlamov V.V., Davydov A.I., Peskov N.N.</i> .....	29
<b>MEASUREMENTS OF CHARGE-CHANGING CROSS-SECTIONS FOR Ca AND Ni ISOTOPES</b>	
<i>T. Suzuki<sup>A</sup>, M. Tanaka<sup>B</sup>, M. Takechi<sup>C</sup>, A. Honma<sup>C</sup>, Y. Tanaka<sup>B</sup>, M. Fukuda<sup>B</sup>, D. Nishimura<sup>D</sup>, T. Moriguchi<sup>E</sup>, D.S. Ahn<sup>F</sup>, A.S. Aimagambetov<sup>H,K</sup>, M. Amano<sup>E</sup>, H. Arakawa<sup>A</sup>, S. Bagchi<sup>L,M,N</sup>, K. -H. Behr<sup>I</sup>, N. Burtebayev<sup>G,K</sup>, K. Chikaato<sup>C</sup>, H. Du<sup>B</sup>, T. Fujii<sup>A</sup>, N. Fukuda<sup>F</sup>, H. Geissel<sup>I</sup>, T. Hori<sup>B</sup>, S. Hoshino<sup>C</sup>, R. Igosawa<sup>A</sup>, A. Ikeda<sup>C</sup>, N. Inabe<sup>F</sup>, K. Inomata<sup>A</sup>, K. Itahashi<sup>F</sup>, T. Izumikawa<sup>J</sup>, D. Kamioka<sup>E</sup>, N. Kanda<sup>C</sup>, I. Kato<sup>A</sup>, I. Kenzhina<sup>G,K</sup>, Z. Korkulu<sup>F</sup>, Ye. Kuk<sup>H,K</sup>, K. Kusaka<sup>F</sup>, K. Matsuta<sup>B</sup>, M. Mihara<sup>B</sup>, E. Miyata<sup>C</sup>, D. Nagae<sup>F</sup>, S. Nakamura<sup>B</sup>, M. Nassurlla<sup>G,K</sup>, K. Nishimuro<sup>A</sup>, K. Nishizuka<sup>C</sup>, S. Ohmika<sup>A</sup>, K. Ohnishi<sup>B</sup>, M. Ohtake<sup>F</sup>, T. Ohtsubo<sup>C</sup>, H.J. Ong<sup>L</sup>, A. Ozawa<sup>E</sup>, A. Prochazka<sup>I</sup>, H. Sakurai<sup>F</sup>, C. Scheidenberger<sup>I</sup>, Y. Shimizu<sup>F</sup>, T. Sugihara<sup>B</sup>, T. Sumikama<sup>F</sup>, S. Suzuki<sup>E</sup>, H. Suzuki<sup>F</sup>, H. Takeda<sup>F</sup>, Y.K. Tanaka<sup>I</sup>, T. Wada<sup>C</sup>, K. Wakayama<sup>A</sup>, S. Yagi<sup>B</sup>, T. Yamaguchi<sup>A</sup>, R. Yanagihara<sup>B</sup>, Y. Yanagisawa<sup>F</sup>, K. Yoshida<sup>F</sup>, and T.K. Zholdybayev<sup>G,K</sup></i> .....	30
<b>PHOTONEUTRON ENERGY SPECTRA FROM <sup>181</sup>Ta, <sup>208</sup>Pb, AND <sup>209</sup>Bi AND THE PROBLEM OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTION RELIABILITY</b>	
<i>Varlamov V.V., Orlin V.N., Peskov N.N.</i> .....	31
<b>RELIABILITY OF PARTIAL PHOTONEUTRON REACTION CROSS SECTIONS AND NEUTRON ENERGY SPECTRA FOR <sup>116</sup>Sn</b>	
<i>Varlamov V.V., Ishkhanov A.A., Orlin V.N.</i> .....	32
<b>МАССОВЫЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ <sup>241</sup>PU ТЕПЛОВЫМИ НЕЙТРОНАМИ</b>	
<i>Абдуллаева Г.А., Кулабдуллаев Г.А., Рахмонов Т.Т., Сайтджанов Ш.Н.</i> .....	33
<b>TIME SCALE OF THE THERMAL MULTIFRAGMENTATION IN <sup>4</sup>He + Au COLLISIONS</b>	
<i>Avdeyev S.P.<sup>1</sup>, Karcz W.<sup>1</sup>, Kirakosyan V.V.<sup>1</sup>, Rukoyatkin P.A.<sup>1</sup>, Stegaylov V.I.<sup>1</sup>, Oeschler H.<sup>2</sup>, Botvina A.S.<sup>3</sup></i> .....	34
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФЕМТОСЕКУНДНОГО ЛАЗЕРНОГО ИМПУЛЬСА С МИШЕНЬЮ <sup>181</sup>Ta</b>	
<i>Сексембаев Ж.Б.<sup>1</sup>, Баяхметов О.С.<sup>1,2</sup>, Азаматов А.А.<sup>1,2</sup>, Аманбек Н.Н.<sup>1,2</sup>, Сахиев С.К.<sup>1</sup></i> .....	35
<b>PRECISE GROUND STATE ENERGY OF THE HELIUM-MUONIC ATOMS</b>	
<i>Aznabayev D.T.<sup>1,2</sup>, Bekbaev A.K.<sup>1,2</sup>, Korobov V.I.<sup>1</sup></i> .....	36
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЗАВИСИМОСТИ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКИХ ПОТЕНЦИАЛОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ <sup>14</sup>N+<sup>10</sup>B В ИНТЕРВАЛЕ E= 38,1-97 МЭВ</b>	
<i>Буртебаев Н.<sup>1</sup>, Бозтосун И.<sup>2</sup>, Алимов Д.К.<sup>1</sup>, Керимкулов Ж.К.<sup>1</sup>, Буртебаева Д.Т.<sup>1</sup>, Мухамеджанов Е.С.<sup>1</sup>, Насурлла Маржан<sup>1,3</sup>, Ходжаев Р.А.<sup>1</sup>, Каракоч М.<sup>2</sup>, Курахмедов А.Е.<sup>4</sup></i> .....	37
<b>INFLUENCE OF COMPLEX CONFIGURATIONS ON PROPERTIES OF PYGMY E1 RESONANCE IN NEUTRON-RICH Ca ISOTOPES</b>	
<i>Arsenyev N.N.<sup>1</sup>, Severyukhin A.P.<sup>1,2</sup>, Voronov V.V.<sup>1</sup>, Nguyen Van Giat<sup>3</sup></i> .....	38
<b>MOMENTUM DISTRIBUTIONS FOR EXCITED STATES OF <sup>11</sup>B, <sup>13</sup>C, <sup>17</sup>O NUCLEI, OBTAINED WITH THE MODIFIED WAVE FUNCTIONS</b>	
<i>Afanasyeva N.V.<sup>1</sup>, Burkova N.A.<sup>2</sup>, Sharafutdinova D.N.<sup>2</sup></i> .....	39

<b>ГАЛО- И СКИН-РАДИУСЫ ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЙ ЯДЕР <math>^{11}\text{B}</math>, <math>^{13}\text{C}</math>, <math>^{17}\text{O}</math></b>	
<i>Афанасьева Н.В.</i> <sup>1</sup> , <i>Буркова Н.А.</i> <sup>2</sup> , <i>Шарафутдинова Д.Н.</i> <sup>2</sup> .....	40
<b>УПРУГОЕ ПРОДОЛЬНОЕ РАССЕЯНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НА ЛЕГКИХ ЯДРАХ 1Р-ОБОЛОЧКИ2</b>	
<i>Баяхметов О.С.</i> <sup>1,2</sup> , <i>Сейтқали А.Ә.</i> <sup>1</sup> .....	41
<b>RADIATIVE CAPTURE <math>\alpha(\tau, \gamma)^7\text{Be}</math> AT LOW ENERGIES</b>	
<i>Burkova N.A.</i> <sup>1</sup> , <i>Dubovichenko S.B.</i> <sup>2</sup> , <i>Tkachenko A.S.</i> <sup>1,2</sup> , <i>Mukaeva A.R.</i> <sup>1,2</sup> , <i>Beisenov B.U.</i> <sup>1,2</sup> .....	42
<b>SPECTROSCOPY OF MOLECULAR HYDROGEN IONS</b>	
<i>Bekbaev A.K.</i> <sup>1,2</sup> , <i>Aznabayev D.T.</i> <sup>1,2</sup> , <i>Korobov V.I.</i> <sup>2</sup> and <i>Nurbakova G.S.</i> <sup>1</sup> .....	43
<b>СВОЙСТВА ЛЁГКИХ МЕЗОНОВ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ТЯЖЁЛЫХ ЯДЕР В ЭКСПЕРИМЕНТЕ ФЕНИКС</b>	
<i>Бердников Я.А.</i> , <i>Бердников А.Я.</i> , <i>Жарко С.В.</i> , <i>Котов Д.О.</i> , <i>Радзевич П.В.</i> .....	44
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛИНА-ТЕПЛОВАЯ» МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО С БИБЛИОТЕКАМИ ОЦЕНЕННЫХ ЯДЕРНЫХ ДАННЫХ ENDF/B-VII И JENDL-3.2</b>	
<i>Берсенева В.А.</i> , <i>Корбут Т. Н.</i> , <i>Корнеев С.В.</i> .....	45
<b>САЕН: ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ И ЦИФРОВАЯ ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЧАСТИЦ</b>	
<i>Бредихин Иван</i> .....	45
<b>ЭВОЛЮЦИЯ ОДНОЧАСТИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ЯДЕР С N=28 В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ</b>	
<i>Беспалова О.В.</i> , <i>Климочкина А.А.</i> .....	46
<b>ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ СТОЙКОСТИ РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА УСТАНОВКЕ ДЛЯ РАДИАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕАКТОРА ИБР-2</b>	
<i>Булавин М.В.</i> , <i>Куликов С.А.</i> <sup>1</sup> .....	47
<b>РЕАКЦИИ С ВЫЛЕТОМ НЕЙТРОНОВ НА W: ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ МК-МОДЕЛИРОВАНИЯ НА GEANT4</b>	
<i>Бельшиев С.С.</i> , <i>Быхало Г.И.</i> , <i>Стопани К.А.</i> , <i>Ханкин В.В.</i> .....	47
<b>ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ, СОЗДАВАЕМОГО ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ УЗКОНАПРАВЛЕННОГО ПУЧКА ЧАСТИЦ ВЫСОКОЙ ЭНЕРГИИ С ГАЗОВОЙ СРЕДОЙ</b>	
<i>Валиев Ф.Ф.</i> .....	48
<b>МЕХАНИЗМ ПОЧТИ СИНХРОННОГО ФОРМИРОВАНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ЭМПИРИЧЕСКИХ ДИСКРЕТНЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОТСЧЕТОВ НЕЗАВИСИМЫХ ПОТОКОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦ</b>	
<i>Вахтель В.М.</i> , <i>Работкин В.А.</i> , <i>Акиндинова Е.В.</i> .....	49
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ ЭМПИРИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ОТСЧЕТОВ ПОТОКОВ АЛЬФА-ЧАСТИЦ</b>	
<i>Акиндинова Е.В.</i> , <i>Бабенко А.Г.</i> , <i>Работкин В.А.</i> , <i>Вахтель В.М.</i> , <i>Харитонова Д.Д.</i> .....	50
<b>ЛИНИЙ МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА</b>	
<i>Вахтель В.М.</i> , <i>Долгополов М.А.</i> , <i>Сёмов Ю.Г.</i> .....	51
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕССБАУЭРОВСКОГО СПЕКТРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ ПОГЛОТИТЕЛЯ <math>\text{Fe}_2\text{O}_3</math></b>	
<i>Вахтель В.М.</i> , <i>Долгополов М.А.</i> , <i>Сёмов Ю.Г.</i> .....	52
<b>QUANTUM TRANSPARENCY OF BARRIERS FOR COMPOSITE SYSTEMS AND IONS</b>	
<sup>1</sup> <i>Vinitsky S.I.</i> , <sup>1</sup> <i>Gusev A.A.</i> , <sup>1</sup> <i>Chuluunbaatar O.</i> , <sup>2</sup> <i>Krassovitskiy P.M.</i> .....	53
<b>АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ИОННОГО УСКОРИТЕЛЯ</b>	
<i>Бекк В.В.</i> , <i>Волков Б.А.</i> , <i>Глушченко Н.В.</i> , <i>Горлачев И.Д.</i> , <i>Желтов А.А.</i> , <i>Киреев А.В.</i> , <i>Лигуз Н.С.</i> , <i>Платов А.В.</i> ...	54
<b>MANIFESTATION OF SUPERASSIMETRIC FISSION MODES <math>^{254}\text{Fm}</math> AND <math>^{260}\text{No}</math> IN THE REACTIONS <math>^{22}\text{Ne} + ^{232}\text{Th}</math>, <math>^{238}\text{U}</math></b>	
<i>Gikal K.B.</i> <sup>1*</sup> , <i>Kozulin E. M.</i> <sup>1</sup> , <i>Itkis I.M.</i> <sup>1</sup> , <i>Itkis M. G.</i> <sup>1</sup> , <i>Knyazheva G.N.</i> <sup>1</sup> , <i>Novikov K.V.</i> <sup>1</sup> , <i>Pan A.N.</i> <sup>1,2</sup> .....	54
<b>HOW SMOOTH IS THE ENERGY SURFACE OF EVEN-EVEN NUCLEI?</b>	
<i>Mikhajlov V.M.</i> , <i>Vlasnikov A.K.</i> , <i>Zippa A.I.</i> .....	55

<b>NEW APPROACHES TO DETERMINATION OF THE HEAVY ION'S MASS IN MEASUREMENTS WITH PIN DIODES</b>	
<i>Kamanin D.V.</i> <sup>1</sup> , <i>Pyatkov Yu.V.</i> <sup>2,1</sup> , <i>Strekalovsky A.O.</i> <sup>1</sup> , <i>Zhuchko V.E.</i> <sup>1</sup> , <i>Goryainova Z.I.</i> <sup>1</sup> , <i>Naumov P.Yu.</i> <sup>2</sup> , <i>Alexandrov A.A.</i> <sup>1</sup> , <i>Alexandrova I.A.</i> <sup>1</sup> , <i>Mkaza N.</i> <sup>3</sup> , <i>Kuznetsova E.A.</i> <sup>1</sup> , <i>Malaza V.</i> <sup>3</sup> , <i>Strekalovsky O.V.</i> <sup>1</sup> .....	55
<b>STABILITY CONDITION THROUGH NUCLEAR MASSES DIFFERENCES</b>	
<i>Mikhajlov V.M.</i> , <i>Vlasnikov A.K.</i> , <i>Zippa A.I.</i> .....	56
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ГАММА-ОБЛУЧЕНИИ ИСТОЧНИКОМ КОБАЛЬТ-57</b>	
<i>Бурмистров Ю.М.</i> , <i>Зуев С.В.</i> , <i>Лифанов М.Н.</i> , <i>Скоркин В.М.</i> .....	56
<b>МАССЫ АТОМНЫХ ЯДЕР И СПАРИВАНИЕ ПРОТОНОВ В ИЗОТОНАХ N = 20, 28, 50, 82</b>	
<sup>2a</sup> <i>Владимирова Е.В.</i> , <sup>1,2</sup> <i>Исханов Б.С.</i> , <sup>2</sup> <i>Третьякова Т.Ю.</i> .....	57
<b>СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ АМПЛИТУДЫ ДЛЯ СМЕШАННЫХ КОНФИГУРАЦИЙ ОТДЕЛЯЕМЫХ КЛАСТЕРОВ В ОБОЛОЧЕЧНОЙ МОДЕЛИ</b>	
<i>Галанина Л.И.</i> , <i>Зеленская Н.С.</i> .....	58
<b>ОПТИКО-МОДЕЛЬНЫЙ КОД ORTMODEL-R С УЧЁТОМ РЕЗОНАНСНОГО РАССЕЙЯНИЯ</b>	
<i>Генералов Л.Н.</i> , <i>Жеребцов В.А.</i> , <i>Таова С.М.</i> .....	59
<b>ОЦЕНКА СЕЧЕНИЙ ОБРАЗОВАНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ЯДЕР <sup>10</sup>Be ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДЕЙТРОНОВ С <sup>9</sup>Be</b>	
<i>Генералов Л.Н.</i> , <i>Селянкина С.М.</i> , <i>Таова С.М.</i> , <i>Жеребцов В.А.</i> .....	60
<b>ОПИСАНИЕ КАНАЛОВ РАССЕЙЯНИЯ <math>\alpha</math>-ЧАСТИЦЫ НА ДВУХКЛАСТЕРНЫХ ЯДРАХ В РАМКАХ ТРЁХЧАСТИЧНОЙ ЗАДАЧИ В МЕТОДЕ САМОСОГЛАСОВАННОГО РЕШЕНИЯ УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА</b>	
<sup>1</sup> <i>Голованова Н.Ф.</i> , <sup>2</sup> <i>Голованов А.А.</i> .....	61
<b>УЧЕТ ВКЛАДА ТЯЖЁЛЫХ МЕЗОННЫХ РЕЗОНАНСОВ В СИНГЛЕТНУЮ СПИНОВУЮ АМПЛИТУДУ УПРУГОГО ПРОТОН-ПРОТОННОГО РАССЕЙЯНИЯ ПРИ СРЕДНИХ И ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЯХ</b>	
<i>Голованова Н.Ф.</i> .....	61
<b>ОЦЕНКА ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ В АТОМНЫХ ЯДРАХ</b>	
<i>Гончарова Н.Г.</i> .....	62
<b>ADIABATIC REPRESENTATION FOR ATOMIC TRIMERS</b>	
<sup>1</sup> <i>Gusev A.A.</i> , <sup>1</sup> <i>Vinitzky S.I.</i> , <sup>1</sup> <i>Chuluunbaatar O.</i> , <sup>2</sup> <i>Krassovitskiy P.M.</i> .....	63
<b>АКТИВАЦИОННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИЙ <sup>12</sup>C(d,n)<sup>13</sup>N, <sup>14</sup>N(d,n)<sup>15</sup>O, <sup>14</sup>N(d,t)<sup>13</sup>N, <sup>14</sup>N(d,n+<math>\alpha</math>)<sup>13</sup>N, <sup>16</sup>O(d,n)<sup>17</sup>F</b>	
<i>Генералов Л.Н.</i> , <i>Абрамович С.Н.</i> .....	63
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙТРОННОГО ГАЛО В 12В</b>	
<sup>1</sup> <i>Данилов А.Н.</i> , <sup>1</sup> <i>Демьянова А.С.</i> , <sup>1</sup> <i>Оглоблин А.А.</i> , <sup>2</sup> <i>Беляева Т.Л.</i> , <sup>3</sup> <i>Гончаров С.А.</i> , <sup>4</sup> <i>Маслов В. А.</i> , <sup>4</sup> <i>Соболев Ю. Г.</i> , <sup>5</sup> <i>Хлебников С.В.</i> , <sup>5</sup> <i>Тюрин Г.П.</i> , <sup>6</sup> <i>Джансейтов Д.</i> , <sup>7</sup> <i>Мухамеджанов Е.</i> , <sup>8</sup> <i>Трзаска В.</i> .....	64
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛО В ИЗОБАР-АНАЛОГОВЫХ СОСТОЯНИЯХ</b>	
<sup>1</sup> <i>Демьянова А.С.</i> , <sup>1</sup> <i>Оглоблин А.А.</i> , <sup>1</sup> <i>Данилов А.Н.</i> , <sup>2</sup> <i>Беляева Т.Л.</i> , <sup>3</sup> <i>Гончаров С.А.</i> .....	65
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКЗОТИЧЕСКИХ СОСТОЯНИИ В ЛЕГКИХ ЯДРАХ</b>	
<sup>1</sup> <i>Буртебаев Н.</i> , <sup>1</sup> <i>Керимкулов Ж.К.</i> , <sup>2</sup> <i>Демьянова А.С.</i> , <sup>1,3</sup> <i>Джансейтов Д.М.</i> , <sup>1</sup> <i>Алимов Д.К.</i> , <sup>1</sup> <i>Мухамеджанов Е.С.</i> .....	65
<b>РОЖДЕНИЕ ПОДПороГОВЫХ ПИОНОВ В СТОЛКНОВЕНИЯХ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ В ГИДРОДИНАМИЧЕСКОМ ПОДХОДЕ С НЕРАВНОВЕСНЫМ УРАВНЕНИЕМ СОСТОЯНИЯ</b>	
<i>Дьяченко А.Т.</i> <sup>1</sup> , <i>Митропольский И.А.</i> <sup>2</sup> .....	66
<b>STUDY OF D(<sup>1</sup>H,n)X, D(<sup>20</sup>Ne,n)X REACTIONS IN THE REGION OF ULTRA-LOW ENERGIES</b>	
<sup>1</sup> <i>Bystritskiy V.M.</i> , <sup>2</sup> <i>Dudkin G.N.</i> , <sup>3</sup> <i>Filipowicz M.</i> , <sup>1</sup> <i>Filippov A.V.</i> , <sup>2</sup> <i>Nechaev B.A.</i> , <sup>2</sup> <i>Nurkin A.</i> <sup>2</sup> <i>Padalko V.N.</i> , <sup>4</sup> <i>Pen'kov F.M.</i> , <sup>4</sup> <i>Tuleushev Yu. Zh.</i> , <sup>2</sup> <i>Varlachev V.A.</i> .....	67
<b>STUDY OF D(<sup>3</sup>He,p)<sup>4</sup>He REACTION IN ASTROPHYSICAL REGION OF ENERGIES</b>	
<sup>1</sup> <i>Bystritskiy V.M.</i> , <sup>2</sup> <i>Dudkin G.N.</i> , <sup>3</sup> <i>Filipowicz M.</i> , <sup>1</sup> <i>Filippov A.V.</i> , <sup>1</sup> <i>Krylov A.R.</i> , <sup>2</sup> <i>Nechaev B.A.</i> , <sup>2</sup> <i>Nurkin A.</i> , <sup>2</sup> <i>Padalko V.N.</i> , <sup>4</sup> <i>Pen'kov F.M.</i> , <sup>4</sup> <i>Tuleushev Yu. Zh.</i> .....	68
<b>КЛАСТЕРНЫЙ ЭФФЕКТ КАК МОДУЛЯЦИЯ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИИ В ФОРМЕ СУПЕРПОЗИЦИИ</b>	
<i>Дьячков В.В.</i> , <i>Зарипова Ю.А.</i> , <i>Юшков А.В.</i> .....	69

<b>ОПИСАНИЕ АНОМАЛИЙ ЯДЕРНОГО РАССЕЙНИЯ С ПОТЕНЦИАЛОМ НЬЮМЕНА-УНТИ-ТАМБУРИНО В РАМКАХ КОНЦЕПЦИИ ИСКРИВЛЕННОГО РИМАНОВА ПРОСТРАНСТВА</b>	
<i>Юшков А.В., Дьячков В.В., Зарипова Ю.А.</i> .....	70
<b>COLLECTIVE AND QUASIPARTICLE DEGREES OF FREEDOM IN BANDCROSSING FOR <math>^{124}\text{Xe}</math></b>	
<i>Eftimov A.D.<sup>1,2</sup>, Mikhajlov V.M.<sup>3</sup></i> .....	71
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЖДЕНИЯ ЭТА-МЕЗОНОВ И КАОНОВ В <math>\text{Cu+Au}</math> ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 200 ГЭВ</b>	
<i>Бердников Я.А., Бердников А.Я., Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В.</i> .....	72
<b>НЕПРЕРЫВНЫЕ СПЕКТРЫ ПРОТОНОВ ИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ <math>\pi</math>-ЧАСТИЦ С ЭНЕРГИЕЙ 29 МЭВ С ЯДРАМИ <math>^{29}\text{Al}</math> И <math>^{59}\text{Co}</math></b>	
<i>Жолдыбаев Т.К.<sup>1</sup>, Садыков Б.М.<sup>1</sup>, Насурлла М.<sup>1,2</sup>, Дуйсебаев Б.А.<sup>1</sup>, Исмаилов К.М.<sup>3</sup></i> .....	73
<b>МУЛЬТИКЛАСТЕРНЫЙ ЭФФЕКТ В ВИДЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО ПОТОКА ЧАСТИЦ НА ОТДЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ УПРУГОГО РАССЕЙНИЯ</b>	
<i>Зарипова Ю.А.<sup>1</sup>, Гриднев Д.К.<sup>2</sup>, Дьячков В.В.<sup>1</sup>, Юшков А.В.<sup>1</sup></i> .....	74
<b>ПРОСТРАНСТВЕННАЯ КОНФИГУРАЦИЯ НЕЙТРОННО-ИЗБЫТОЧНЫХ ЯДЕР <math>1p</math>-ОБОЛОЧКИ</b>	
<i>Галанина Л. И., Зеленская Н. С.</i> .....	75
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНЫХ СЕЧЕНИЙ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ С НЕЙТРОНОИЗБЫТОЧНЫМИ ИЗОТОПАМИ ГЕЛИЯ И ЛИТИЯ НА УСТАНОВКЕ MULTI</b>	
<i><sup>1,2</sup>Зернышкин В.А., <sup>1,2</sup>Пенионжкевич Ю.Э., <sup>1</sup>Соболев Ю.Г., <sup>1,5</sup>Азнабаев Д., <sup>1</sup>Иванов М.П., <sup>1</sup>Крупко С.А., <sup>3</sup>Куглер А., <sup>1,2</sup>Лашманов Н.А., <sup>4</sup>Май А., <sup>1</sup>Маслов В.А., <sup>4,5</sup>Мендибаев К., <sup>1</sup>Скобелев Н.К., <sup>1</sup>Слепнев Р.С., <sup>1</sup>Фомичев А.С.</i> .....	76
<b>МЕТОДИКА ОПЕРАТИВНОЙ ПЕРЕСТРОЙКИ ЭНЕРГИИ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ НА НЕЙТРОННОМ ИСТОЧНИКЕ ИН-ЛУЭ ИЯИ РАН</b>	
<i>Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Недорезов В.Г., Пономарев В.Н., Поташев С.И., Солодухов Г.В.</i> .....	76
<b>ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕПЛОГО И ЭПИТЕПЛОГО СПЕКТРА НЕЙТРОНОВ ФОТОНЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ИЯИ РАН ПО ДАННЫМ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА</b>	
<i>Афонин А.А., Зуев С.В., Конобеевский Е.С.</i> .....	77
<b>ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ЛУЭ-8-5 ИЯИ РАН</b>	
<i>Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Недорезов В.Г., Пономарев В.Н., Поташев С.И., Солодухов Г.В.</i> .....	77
<b>МЕХАНИЗМ РАССЕЙНИЯ <math>\pi</math>-МЕЗОНОВ В ГЛАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ НА ИЗОТОПАХ <math>^{6,8}\text{He}</math></b>	
<i>Ибраева Е.Т.<sup>1</sup>, Имамбеков О.,<sup>2</sup> Токсаба Ж. А.,<sup>2</sup> Узиков Ю.Н.<sup>3</sup></i> .....	78
<b>НЕУПРУГОЕ РАССЕЙНИЕ ПРОТОНОВ НА ЯДРАХ <math>^{13,15}\text{C}</math> В ГЛАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ</b>	
<i>Жусупов М.А.<sup>2</sup>, Ибраева Е.Т.<sup>1</sup>, Кабатаева Р.<sup>2</sup></i> .....	79
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАССЕЙНИЯ ПРОТОНОВ НА ИЗОТОПАХ <math>^9\text{B}</math>, <math>^9\text{Be}</math> В ГЛАУБЕРОВСКОЙ ТЕОРИИ</b>	
<i>Ибраева Е.Т.,<sup>1</sup> Буртебаев Н.Т.,<sup>1</sup> Узиков Ю.Н.<sup>2</sup></i> .....	80
<b>NEW CALCULATION OF RATE OF THE ASTROPHYSICAL REACTION <math>^{12}\text{C}(p,\gamma)^{13}\text{N}</math></b>	
<i><sup>a</sup> Igamov S.B., <sup>a</sup> Artemov S.V., <sup>a</sup> Karakhodjaev A.A., <sup>a</sup> Radyuk G.A., <sup>a</sup> Tojiboyev O.R., <sup>a</sup> Ergashev F.Kh., <sup>b</sup> Aliev M.K., <sup>b</sup> Kholbaev I., <sup>b</sup> Rumi R.F., <sup>b</sup> Khalikov R.I., <sup>b</sup> Eshkobilov Sh.Kh.</i> .....	81
<b>FINE STRUCTURE OF THE <math>\beta</math>-DECAY STRENGTH FUNCTION AND OSCILLATION OF THE ISOVECTOR NUCLEAR DENSITY COMPONENTS</b>	
<i>Izosimov I.N., Solnyshkin A.A., Khushvaktov J.H.</i> .....	82
<b>РЕДКИЕ РАСПАДЫ В МЕЗОНА</b>	
<i>Исадыков А., Иванов М.А.</i> .....	82
<b>СПАРИВАНИЕ ТОЖДЕСТВЕННЫХ НУКЛОНОВ В ИЗОТОПАХ ВБЛИЗИ <math>90\text{Zr}</math></b>	
<i>Имашева Л.Т.<sup>1</sup>, Ииханов Б.С.<sup>1,2</sup>, Степанов М.Е.<sup>1</sup>, Третьякова Т.Ю.<sup>1,2</sup></i> .....	83
<b>A DETAILED EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE KLL AUGER ELECTRON SPECTRUM OF <math>\text{Zr}</math></b>	
<i><sup>1,2</sup> Inoyatov A.Kh., <sup>1,3</sup> Kovalik A., <sup>2</sup> Muminov T.M., <sup>1</sup> Perevoshchikov L.L., <sup>1</sup> Filosofov D.V., <sup>3</sup> Vénos D.</i> .....	84
<b>THE EFFECT OF THE ATOMIC ENVIRONMENT ON THE KLM+KLN AUGER ELECTRON SPECTRUM OF RUBIDIUM</b>	



<sup>1,2</sup> Inoyatov A.Kh., <sup>a,c</sup> Kovalik A., <sup>a</sup> Perevoshchikov L.L., <sup>a</sup> Filosofov D.V., <sup>c</sup> Vénos D., <sup>d</sup> Lee B.Q., <sup>e</sup> Ekman J., <sup>a,f</sup> Baimukhanova A. ....	85
<b>РАСЧЕТ КОРРЕЛЯЦИЙ ПРИ ЧЕТЫРЕХПРОТОННОМ РАСПАДЕ МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО</b>	
Исмаилова А.Н., Григоренко Л.В., Шаров П.Г. ....	86
<b>ДВУХПРОТОННЫЙ ВИРТУАЛЬНЫЙ РАСПАД <sup>19</sup>Mg В СВЕРХТЕКУЧЕЙ МОДЕЛИ</b>	
Иванков Ю.В., Кадменский С.Г. ....	87
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДА КВАЗИМОНОХРОМАТИЗАЦИИ ТОРМОЗНОГО СПЕКТРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЕЧЕНИЙ ФОТОЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ ВБЛИЗИ ПОРОГА</b>	
Недорезов В.Г., Конобеевский Е.С., Зуев С.В., Бурмистров Ю.М., Пономарев В.Н., Поташев С.И., Солодухов Г.В., Туринге А.А. ....	88
<b>INVERSE QUASIFISSION IN THE REACTIONS <sup>156,160</sup>Gd + <sup>186</sup>W</b>	
Itkis I.M., Knyazheva G.N., Kozulin E.M. ....	88
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УСЛОВИЙ Т-ИНВАРИАНТНОСТИ ДЛЯ ОТБОРА МЕХАНИЗМОВ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ, РАСПАДОВ И ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР</b>	
Кадменский С.Г., Кострюков П.В. ....	89
<b>УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОТОНОВ ДЛЯ ДВУХПРОТОННЫХ РАСПАДОВ СВЕРХТЕКУЧИХ ЯДЕР И ДИПРОТОННЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ</b>	
Кадменский С.Г., Булычёв А. О., Иванков Ю. В. ....	89
<b>OBSERVATION OF TRUE TERNARY AND QUATERNARY FISSION OF LOW EXCITED ACTINIDES</b>	
<sup>1</sup> Katanin D.V., <sup>2,1</sup> Pyatkov Yu.V., <sup>3</sup> Mkaza N., <sup>3</sup> Malaza V., <sup>1</sup> Strelakovsky A.O. ....	91
<b>ТОЧНОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТ МЕТОДОМ ДЕЛЕНИЯ ЗАРЯДА В ПОЗИЦИОННО-ЧУВСТВИТЕЛЬНОМ ДЕТЕКТОРЕ ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ БОРА-10</b>	
<sup>1</sup> Поташев С. И., <sup>1</sup> Бурмистров Ю. М., <sup>2</sup> Драчев А. И., <sup>1</sup> Караевский С. Х. ....	91
<b>CO-AXIAL FISSION INTO THREE COMPARABLE FRAGMENTS</b>	
Karpeshin F. F. ....	92
<b>THE NUCLEAR CLOCK AND THE RELATED TECHNOLOGIES OF THE NEXT GENERATION</b>	
Karpeshin F. F. <sup>1</sup> , Trzhaskovskaya M.B. <sup>2</sup> , Vitushkin L.F. <sup>1</sup> ....	92
<b>МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ СПЕКТРОВ ИЗ ДВУМЕРНЫХ ДИАГРАММ КОРРЕЛИРУЮЩИХ НАБЛЮДАЕМЫХ В ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЯХ</b>	
Зуев С.В., Каспаров А.А., Конобеевский Е.С. ....	93
<b>РАСЧЕТ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА КАТАЛИТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ РЕАКТОРНЫМИ НЕЙТРОНАМИ</b>	
Абишев М., Кенжебаев Н., Хасанов М., Джанибеков А. ....	93
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РЕАКЦИИ <sup>10</sup>B(p,α)<sup>7</sup>Be ПРИ НИЗКИХ ЭНЕРГИЯХ</b>	
Буртебаев Н., Керимкулов Ж.К., Зазулин Д.М., Алимов Д.К., Мухамеджанов Е.С., Насурлла М., Ходжаев Р.А. ....	94
<b>ЗАРЯДОВЫЕ РАДИУСЫ ИЗОТОПОВ Sn В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ</b>	
Беспалова О.В., Ермакова Т.А., Климочкина А.А., Спасская Т.И. ....	95
<b>НЕЙТРОННОЕ ГАЛО В ИЗОТОПАХ Zr ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ НЕЙТРОННОЙ СТАБИЛЬНОСТИ В ДИСПЕРСИОННОЙ ОПТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ</b>	
Беспалова О.В., Климочкина А.А. ....	96
<b>ON THE POSSIBILITY OF TRIGGERED DE-EXCITATION OF <sup>110m</sup>Ag ISOMER IN LASER PLASMA</b>	
Koltsov V.V. ....	97
<b>ПОИСК НОВОГО ИЗОМЕРНОГО СОСТОЯНИЯ В ЯДРЕ <sup>186</sup>Re</b>	
Карасев В.В., Кольцов В.В., Римский-Корсаков А.А. ....	98
<b>ВОЗМОЖНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕЙТРОН-НЕЙТРОННЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ГАЛО-ЯДРАХ</b>	
Конобеевский Е.С., Заварзина В.П., Зуев С.В., Каспаров А.А., Курлович А.С., Мицук В.В. ....	99
<b>THEORETICAL STUDY OF THE NEON CLUSTERS</b>	
Korobitsin A.A. and Kolganova E.A. ....	99
<b>HADRON AND QUARK FORM FACTORS IN THE RELATIVISTIC HARMONIC OSCILLATOR MODEL</b>	

<i>Myrzabekova E.B., Sagimbaeva N.B., Burov V.V.</i> .....	100
<b>TEST OF NUCLEAR FRAGMENTATION MODELS WITH CARBON FRAGMENTATION AT 0.95 GeV/n</b>	
<sup>1</sup> <i>Abramov B.M., Alexeev P.N., Borodin Yu.A., Bulychjov S.A., Dukhovskoy I.A., Khanov A.I., Krutenkova A.P., Kulikov V.V., Martemianov M.A., Matsyuk M.A., Turdakina E.N., Gudima K.K.</i> .....	101
<b>СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ РАСПАДА АНСАМБЛЯ ЯДЕР-ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ В РАМКАХ СУБПУАССОНОВСКОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ</b>	
<i>Корбут Т.Н., Рудак Э.А., Петровский А.М.</i> .....	101
<b>ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЕЙ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО КРИТИЧНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПОЛИНОМИАЛЬНОГО ХАОСА</b>	
<i>Кравченко М.О., Кузьмин А.В.</i> .....	102
<b>ASYMPTOTIC BEHAVIOR OF SOLUTIONS IN FINITE-DIFFERENT SCHEMES</b>	
<i>Krassovitskiy P.M., Pen'kov F.M.</i> .....	103
<b>ИЗОСПИНОВОЕ РАСЩЕПЛЕНИЕ ГДР И ФОТОПРОТОННЫЕ РЕАКЦИИ НА ИЗОТОПАХ ОЛОВА</b>	
<sup>2</sup> <i>Бельшеев С.С., Бувина Ю.А., Ишханов Б.С., Кузнецов А.А., Орлин В.Н., Стопани К.А., Ханкин В.В.</i> .....	104
<b>НОВЫЙ МЕТОД УЛЬТРАПРЕЦИЗИОННОЙ НЕЙТРОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ</b>	
<sup>1</sup> <i>Кузнецов И.А., Бердников А.Я., Бердников Я.А., Борисов Ю.В., Брагинец Ю.П., Воронин В.В., Ласица М.В., Семенихин С.Ю., Федоров В.В.</i> .....	104
<b>EMPIRICAL ESTIMATION OF PHOTODISINTEGRATION RATES OF <sup>106</sup>Cd and <sup>108</sup>Cd</b>	
<sup>2</sup> <i>Belyshev S.S., Khankin V.V., Kuznetsov A.A., Stopani K. A.</i> .....	105
<b>РЕЗОНАНСНО-КОГЕРЕНТНОЕ РОЖДЕНИЕ ПИОННЫХ ПАР В РЕАКЦИИ <math>pd \rightarrow pd\pi\pi</math> В ОБЛАСТИ ЭНЕРГИИ ГЭВ</b>	
<i>Комаров В. И., Кунсафина А. Г., Курманалиев Ж. К., Цирков Д. А.</i> .....	106
<b>M1-РЕЗОНАНС НА ВОЗБУЖДЕННЫХ СОСТОЯНИЯХ В ЯДРАХ <sup>28</sup>Si-D-ОБОЛОЧКИ</b>	
<i>Качан А.С., Кургуз И.В., Мищенко В.М., Утенков С.Н.</i> .....	106
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РЕАКЦИИ <sup>13</sup>C(d, p)<sup>14</sup>C ПРИ E<sub>d</sub> = 15.3 МэВ</b>	
<i>Галанина Л.И., Зеленская Н.С., Лебедев В.М., Орлова Н.В., Спасский А.В.</i> .....	107
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ФРАГМЕНТАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СОУДАРЕНИЯХ АСИММЕТРИЧНЫХ ЯДЕР</b>	
<i>Грушевская Е.А., Лебедев И.А., Темиралиев А.Т., Федосимова А.И., Харчевников П.Б.</i> .....	108
<b>СПЕКТРОСКОПИЯ <sup>8</sup>He В РЕАКЦИИ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ ЯДРАМИ <sup>11</sup>B</b>	
<i>Гуров Ю.Б., Жеан Короткова Л.Ю., Лапушкин С.В., Леонова Т.И., Притула Р.В., Сандуковский В.Г., Чернышев Б.А., Щуренкова Т.Д.</i> .....	109
<b>ЗАВИСИМОСТЬ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ ОТ РАЗМЕРОВ ОБЛАСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В СОУДАРЕНИЯХ ПРОТОНОВ И ЯДЕР ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ</b>	
<sup>1</sup> <i>Аргынова А.Х., Гайтинов А. Ш., Квачкина Т.Н., Локтионов А.А.</i> .....	110
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ С УЛЬТРАХОЛОДНЫМИ НЕЙТРОНАМИ И ВОЗМОЖНОСТЬ СОЗДАНИЯ ИСТОЧНИКА УХН НА РЕАКТОРЕ ВВР-К</b>	
<i>Лычагин Е.В.</i> .....	111
<b>ЭВОЛЮЦИЯ ОБОЛОЧЕЧНОЙ СТРУКТУРЫ ИЗОТОПОВ КРЕМНИЯ И СЕРЫ</b>	
<sup>1</sup> <i>Маркова М.Л., Третьякова Т.Ю.</i> .....	112
<b>ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЗАВИСИМОСТЬ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ <math>pp \rightarrow \{pp\}_{\pi^0}</math> ОБРАЗОВАНИЕМ <sup>1</sup>S<sub>0</sub> ДИПРОТОНА В ДИАПАЗОНЕ ЭНЕРГИЙ 1–3 ГЭВ</b>	
<i>Курманалиев Ж. К., Кунсафина А. Г., Цирков Д. А., Комаров В. И.</i> .....	113
<b>MESON PHOTOPRODUCTION ON NEUTRON IN THE A2 EXPERIMENT</b>	
<sup>1</sup> <i>Bulychjov S.A., Kudryavtsev A.E., Kulikov V.V., Martemianov M.A., Tarasov V.E., Lizunova M.A., Romanov A.I., Briscoe W.J., Strakovsky I.I.</i> .....	113
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ С ЦЕЛЬЮ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СКОРОСТИ ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР <sup>235</sup>U ПО ИЗМЕРЕННОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ - ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ</b>	
<i>Медетбеков Б.С., Алейников Ю.В., Попов Ю.А.</i> .....	114
<b>САМОСОГЛАСОВАННЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ РАДИАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ. СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДОВ</b>	
<i>Ачаковский О. И.<sup>1</sup>, Камерджиев С. П.<sup>2</sup>, Люторович Н. А.<sup>3</sup>, Целяев В. И.<sup>3</sup></i> .....	114

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ЯДЕРНЫХ ИЗОМЕРОВ***Кабина Л.П., Лисин С.С., Митропольский И.А.*..... 115**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ВЫХОДА НЕЙТРОНОВ НА ВОЛЬФРАМОВОЙ МИШЕНИ ОТ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ УСКОРИТЕЛЯ ЛУЭ-8 С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРОВ НА ОСНОВЕ ГЕЛИЯ-3 И БОРА-10***Мешков И.В.\*, Кузнецов С.П.\*, Поташев С.И.\*\*, Бурмистров Ю.М.\*\*, Караевский С.Х.\*\*, Зуев С.В.\*\*,  
Солодухов Г.В.\*\**..... 116**ДЕ-Е ТЕЛЕСКОП ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ SI-ДЕТЕКТОРА И МАТРИЦЫ СИФЭУ СО СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫМИ КРИСТАЛЛАМИ***Мицук В.В., Мордовской М.В.*..... 116**НЕЙТРОННЫЕ ПОТОКИ И РАДИАЦИОННЫЙ НАГРЕВ МАТЕРИАЛОВ В КАНАЛАХ РЕАКТОРА ВВР-К ДЛЯ ИСТОЧНИКОВ УХН***Шарапов Э.И.<sup>1</sup>, Лычагин Е.В.<sup>1</sup>, Молдагалеева А.А.<sup>2</sup>*..... 117**RADIATIVE CAPTURE <sup>7</sup>Be(p,γ)<sup>8</sup>B AT LOW ENERGIES***Burkova N.A.<sup>1</sup>, Dubovichenko S.B.<sup>2</sup>, Tkachenko A.S.<sup>1,2</sup>, Mukaeva A.R.<sup>1,2</sup>, Beisenov B.U.<sup>1,2</sup>*..... 118**STUDY OF ELASTIC AND INELASTIC SCATTERING OF DEUTERONS FROM <sup>9</sup>BE NUCLEI***<sup>1</sup>Burtebayev N., <sup>1</sup>Kerimkulov Zh.K., <sup>1</sup>Burtebayeva J., <sup>1</sup>Mukhamejanov Y.S., <sup>1</sup>Alimov D.K., <sup>1</sup>Talpakova K.A., <sup>1,2</sup>Nassurlla Maulen, <sup>1</sup>Khojayev R.A., <sup>3</sup>Sakuta S.B., <sup>4</sup>Sadyuev N.O., <sup>5</sup>Galanina L.I.*..... 119**КОМБИНИРОВАННЫЙ ЗАМЕДЛИТЕЛЬ НЕЙТРОНОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА РЕАКТОРЕ ИБР-2***Ананьев В.Д., Мухин К.А., Рогов А.Д.*..... 120**ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ НЕЙТРОННЫХ СЕЧЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОТОНЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ЛИНЕЙНОГО УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ ЛУЭ-8-5***Мордовской М.В., Зуев С.В., Конобеевский Е.С., Мицук В.В., Суркова И.В., Скоркин В.М.*..... 120**ALPHA CLUSTERING IN N≠Z NUCLEI***Nauruzbayev D.K.<sup>1,5</sup>, Goldberg V.Z.<sup>2</sup>, Nurmukhanbetova A.K.<sup>1</sup>, Golovkov M.S.<sup>3</sup>, Volya A.<sup>4</sup>, Rogachev G.V.<sup>2</sup>, Zherebchevsky V.I.<sup>5</sup>, Torilov S.Yu.<sup>5</sup>, Tikhonov A.<sup>6</sup>, Kaikanov M.<sup>1</sup>, Ivanov I.<sup>7</sup>, Koloberdin M.<sup>7</sup> and Kozin S.<sup>7</sup>*.. 121**ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ АМПЛИТУДЫ ТЕПЛОВЫХ КОЛЕБАНИЙ АТОМОВ В КУБИЧЕСКИХ КРИСТАЛЛАХ ПО ДАННЫМ ДИФРАКЦИИ НЕЙТРОНОВ***Парпиев А.С., Рахманов С.Дж.*..... 122**АНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОСТЕЙ ПРОДУКТОВ ДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР-1200 И ИХ ПРИЛОЖЕНИЯ***Петровский А.М., Рудак Э.А., Корбут Т.Н.*..... 123**PROTON-INDUCED FISSION OF <sup>232</sup>Th AT LOW AND INTERMEDIATE ENERGIES***Ran A.N.<sup>1\*</sup>, Kozulin E.M.<sup>1</sup>, Itkis I.M.<sup>1</sup>, Itkis M. G.<sup>1</sup> Knyazheva G.N.<sup>1</sup>, Gikal K.B.<sup>1</sup>, Novikov K.V.<sup>1</sup>, Kvochkina T.N.<sup>2</sup>, Burtebayev N.T.<sup>2</sup>, Covalchuk K.V.<sup>2</sup>*..... 123**ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЦЕНТРА ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ РФЯЦ-ВНИИЭФ ПО КОМПИЛЯЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ БИБЛИОТЕКИ EXFOR. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС EXFOR-EDITOR***Пикулина Г.Н., Таова С.М.*..... 124**РАЗВИТИЕ ПРОГРАММНО-УПРАВЛЯЕМЫХ КОМПЛЕКСОВ МОНИТОРИНГА ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧЕНИЯ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ***Пикулина Г.Н., Овчинников М.А., Юхневич В.А., Кошелев А.С., Дроздов Ю.М., Распопов Н.В., Пискорский И.М.*..... 124**ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ИЗОТОПАХ СТРОНЦИЯ И МОЛИБДЕНА***<sup>2</sup>Бельшев С.С., <sup>1,2</sup>Ишханов Б.С., <sup>1</sup>Кузнецов А.А., <sup>1</sup>Орлин В.Н., <sup>2</sup>Попова М.В., <sup>1</sup>Стопани К.А., <sup>1</sup>Ханкин В.В.*.. 125**МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ФОТОНОВ С ВЕЩЕСТВОМ***Поподько А.И., Черняев А.П.*..... 126**АНАЛИЗ ДАННЫХ, ИЗМЕРЕННЫХ С ПОМОЩЬЮ ДЕТЕКТОРА НЕЙТРОНОВ НА ОСНОВЕ БОРА-10 И СЧЕТЧИКА С ГЕЛИЕМ-3 НА ФОТОНЕЙТРОННОМ ИСТОЧНИКЕ НЕЙТРОНОВ ИЯИ РАН***Поташев С.И.<sup>1</sup>, Зуев С.В.<sup>1</sup>, Мешков И.В.<sup>2</sup>, Бурмистров Ю.М.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Караевский С.Х.<sup>1</sup>*.... 127**EXCITATION OF ISOMERIC STATES IN REACTIONS (γ,n) AND (n,2n) ON <sup>198,200</sup>Hg NUCLEI***Palvanov S.R., Rustamova X.*..... 127

<b>МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕЙТРОНОВ В РЕАКЦИЯХ ПОГЛОЩЕНИЯ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ</b>	
<i>Гуров Ю.Б., Жеан-Короткова Л.Ю., Лапушкин С.В., Леонова Т.И., Притула Р.В., Чернышев Б.А., Щуренкова Т.Д.</i> .....	128
<b>TO THE PROBLEM OF VERIFICATION OF COLLINEAR CLUSTER TRI-PARTITION (CCT)</b>	
<i><sup>1,2</sup>Pyatkov Yu.V., <sup>2</sup>Kamanin D.V., <sup>2</sup>Alexandrov A.A., <sup>2</sup>Alexandrova I.A., <sup>2</sup>Goryainova Z.I., <sup>3</sup>Malaza V., <sup>3</sup>Mkaza N., <sup>2</sup>Kuznetsova E.A., <sup>2</sup>Strekalovsky A.O., <sup>2</sup>Strekalovsky O.V., and <sup>2</sup>Zhuchko V.E.</i> .....	128
<b>AB INITIO STUDY OF RESONANT AND WEAKLY-BOUND STATES OF LIGHT NUCLEI WITH SINGLE-NUCLEON HALO</b>	
<i>Rodkin D.M. <sup>1</sup>, Tchuvil'sky Yu.M. <sup>1,2</sup></i> .....	129
<b>THE CURRENTS MECHANISMS OF THE WEAK LEPTONIC PROCESSES</b>	
<i>Romanov Yu.I.</i> .....	129
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОМЕРНЫХ ОТНОШЕНИЙ <sup>95m,g</sup>Nb И <sup>133m,g</sup>Xe ПРИ ФОТОДЕЛЕНИИ <sup>238</sup>U</b>	
<i><sup>1</sup>Желтоножский В.А., <sup>1</sup>Вишневецкий И.Н., <sup>1</sup>Давидовская О.И., <sup>1</sup>Саврасов А.Н., <sup>2</sup>Солодовник Е.Н., <sup>2</sup>Плюйко В.А., <sup>2</sup>Горбаченко А.Н.</i> .....	130
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОЖДЕНИЯ П-МЕЗОНОВ В U+U ВЗАИМОДЕЙСТВИЯХ ПРИ ЭНЕРГИИ 192 ГЭВ</b>	
<i>Бердников Я.А., Бердников А.Я., Жарко С.В., Котов Д.О., Радзевич П.В.</i> .....	130
<b>INVESTIGATION OF DOUBLE BETA DECAY OF <sup>58</sup>Ni</b>	
<i>Brudanin V.B. <sup>1</sup>, Klimentko A.A. <sup>1</sup>, Piquemal F. <sup>2</sup>, Rukhadze E. <sup>3</sup>, Rukhadze N.I. <sup>1</sup>, Shitov Yu.A. <sup>1</sup>, Štekl I. <sup>3</sup>, Warot G. <sup>2</sup></i> .....	131
<b>АВТОИОНИЗАЦИЯ АТОМОВ ТА ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ ЗАХВАТЕ <sup>181</sup>W</b>	
<i>Желтоножский В.А., Саврасов А.Н., Стрельчук Н.В., Хоменков В.П.</i> .....	131
<b>FUSION REACTIONS WITH LIGHT NEUTRON-REACH NUCLEI: PATHWAY TO SYNTHESIZE OF NEW HEAVY NUCLEI</b>	
<i><sup>1</sup>Rachkov V.A., <sup>1</sup>Karpov A.V., Saiko V.V.</i> .....	132
<b>INVESTIGATION OF THERMAL NEUTRON FLUX FROM VVR-K REACTOR (INP) USING THE DEVELOPED PROGRAM-TECHNICAL COMPLEX</b>	
<i>Oskotov V.V., Sedov A.N., Burtebayev N.T., Saduyev N.O., Kalikulov O.A., Kenzhina I.E., Utey Sh.B., Shinbulatov S.K., Zhumabaev A.I., Mukhamejanov Ye.S.</i> .....	132
<b>ФОРМИРОВАНИЕ ИНКЛЮЗИВНЫХ СПЕКТРОВ (P,XP), (P,Xα) НА ЯДРЕ <sup>103</sup>Rh ПРИ ЭНЕРГИИ ПРОТОНОВ 30 МЭВ</b>	
<i>Дуйсебаев Б.А. <sup>1</sup>, Жолдыбаев Т.К. <sup>1</sup>, Садыков Б.М. <sup>1</sup>, Нассурлла М. <sup>1</sup>, Исмаилов К.М. <sup>2</sup></i> .....	133
<b>ОПИСАНИЕ ПРЯМЫХ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ В ДИСКРЕТНОМ ПРЕДСТАВЛЕНИИ</b>	
<i>Сайлаубек Д.А. <sup>1,2</sup>, Рубцова О.А. <sup>1</sup>, Кукулин В.И. <sup>1</sup></i> .....	133
<b>МЕХАНИЗМ ВОЗБУЖДЕНИЯ СОСТОЯНИЯ 6.13 (3-) МЭВ ЯДРА <sup>16</sup>O В НУПРУГОМ РАССЕЯНИИ α-ЧАСТИЦ И <sup>3</sup>He ПРИ ЭНЕРГИЯХ ОКОЛО 50 МЭВ</b>	
<i>Сакута С.Б. <sup>1</sup>, Буртебаев Н. <sup>2</sup>, Дуйсебаев А. <sup>2</sup>, Дуйсебаев Б.А. <sup>2</sup>, Буртебаева Д.Т. <sup>2</sup>, Жолдыбаев Т.К. <sup>2</sup>, Нассурлла М. <sup>2</sup>, Садуев Н. <sup>2</sup>, Новацкий Б.Г. <sup>1</sup>, Степанов Д.Н. <sup>1</sup>, Садыков Т.Х. <sup>2</sup></i> .....	134
<b>ДИНАМИКА ОКОЛОБАРЬЕРНЫХ ЯДРО-ЯДЕРНЫХ СТОЛКНОВЕНИЙ, ПРИВОДЯЩИХ К ОБРАЗОВАНИЮ ЭКЗОТИЧЕСКИХ ЯДЕР</b>	
<i>Сайко В.В. <sup>1</sup>, Карнов А.В. <sup>1</sup></i> .....	135
<b>NEAR-BARRIER PROTON TRANSFER IN REACTIONS WITH <sup>3</sup>He</b>	
<i>Samarin V.V. <sup>1,2</sup>, Penionzhkevich Yu.E. <sup>1,3</sup>, Naumenko M.A. <sup>1</sup>, Skobelev N.K. <sup>1</sup></i> .....	136
<b>TIME-DEPENDENT DESCRIPTION OF INCOMPLETE FUSION, CLUSTER AND NEUTRON TRANSFER REACTIONS</b>	
<i>Samarin V.V. <sup>1,2</sup></i> .....	136
<b>АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НУКЛОННЫХ СИСТЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПРАВИЛ СУПЕРОТБОРА ПО ИЗОСПИНУ</b>	
<i>Кириллов М.И., Никитин А.С., Ситдииков А.С.</i> .....	137
<b>ON THE SCATTERING OF POLARIZED ELECTRONS BY LIGHT NUCLEI OF HALF-INTEGGER SPIN</b>	
<i>Safin M. Ya.</i> .....	138

<b>ТЕОРИЯ СЦИНТИЛЛЯЦИОННЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ С НЕСКОЛЬКИМИ ФОТОДЕТЕКТОРАМИ</b>	
<i>Самедов В.В.</i> .....	138
<b>ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СПОНТАННОГО ДЕЛЕНИЯ КОРОТКОЖИВУЩИХ ИЗОТОПОВ ТРАНСФЕРМИЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	
<sup>1</sup> Свирихин А.И., <sup>1</sup> Еремин А.В., <sup>1</sup> Попеко А.Г., <sup>1</sup> Малышев О.Н., <sup>1</sup> Чепигин В.И., <sup>1</sup> Исаев А.В., <sup>1</sup> Челноков М.Л., <sup>1</sup> Сокол Е.А., <sup>1</sup> Андреев А.В., <sup>1</sup> Шнейдман Т.М., <sup>1</sup> Попов Ю.А. ....	139
<b>ПОИСК ЭФФЕКТОВ НАРУШЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ В РЕАКЦИЯХ ХОЛОДНЫХ ПОЛЯРИЗОВАННЫХ НЕЙТРОНОВ С ЛЕГЧАЙШИМИ ЯДРАМИ</b>	
<sup>1</sup> Гледенов Ю.М., <sup>1</sup> Седышев П. В., <sup>2</sup> Весна В.А., <sup>2</sup> Шульгина Е.В., <sup>3</sup> Несвижевский В.В., <sup>3</sup> Петухов А.К., <sup>3</sup> Солднер Т., <sup>3</sup> Циммер О., <sup>4</sup> Шаланьский П. ....	140
<b>ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЕ СЕЧЕНИЯ РЕАКЦИИ <sup>9</sup>Be(p,α)<sup>6</sup>Li*(3.563 МэВ) ИЗ ДОПЛЕРОВСКОГО УШИРЕНИЯ γ-ЛИНИИ. R-МАТРИЧНЫЙ АНАЛИЗ</b>	
Генералов Л.Н., Селянкина С.М., Романихин В.П. ....	141
<b>СПАРИВАНИЕ НЕЙТРОНОВ И ПРОТОНОВ В ЯДРАХ С N = Z</b>	
Ишханов Б.С. <sup>1,2</sup> ), Сидоров С.В. <sup>1</sup> ), Третьякова Т.Ю. <sup>2</sup> ) .....	142
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА <sup>156</sup>Gd → <sup>156</sup>Dy</b>	
Изосимов И.Н., Солнышкин А.А., Хушвактов Ж.Х. ....	143
<b>МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗРЕШЕНИЯ STRAW-ТРУБОК</b>	
Бердников Я.А., Бердников А.Я., Мосолова Е.О., Соловьёв В.Н. ....	144
<b>ОРИЕНТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЯДРА <sup>24</sup>Mg(2<sup>+</sup>, 1.37 МэВ) В РЕАКЦИИ <sup>27</sup>Al(p, α<sub>1</sub>)<sup>24</sup>Mg</b>	
Галанина Л. И., Зеленская Н. С., Лебедев В. М., Орлова Н. В., Спасский А. В. ....	145
<b>МНОГОЧАСТИЧНЫЕ ФОТОЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ НА ОБОЙДЕННЫХ ЯДРАХ В ОБЛАСТИ A=100-110 В Р-ПРОЦЕССЕ НУКЛЕОСИНТЕЗА</b>	
<sup>1</sup> Бельшев С.С., <sup>2</sup> Кузнецов А.А., <sup>2</sup> Стопани К.А., <sup>2</sup> Ханкин В.В. ....	146
<b>MANIFESTATION OF CLUSTERING IN LOW ENERGY FISSION: NEW RESULTS</b>	
Kamanin D.V. <sup>1</sup> , Pyatkov Yu.V. <sup>2,1</sup> , Strelakovsky A.O. <sup>1</sup> , Alexandrov A.A. <sup>1</sup> , Alexandrova I.A. <sup>1</sup> , Goryainova Z.I. <sup>1</sup> , Mkaza N. <sup>3</sup> , Kuznetsova E.A. <sup>1</sup> , Malaza V. <sup>3</sup> , Strelakovsky O.V. <sup>1</sup> , Zhuchko V.E. <sup>1</sup> , .....	146
<b>ОЦЕНЁННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СЕЧЕНИЙ РЕАКЦИИ <sup>3</sup>H(t,2n)<sup>4</sup>He В НИЗКОЭНЕРГЕТИЧНОЙ ОБЛАСТИ, ПОЛУЧЕННЫЕ С УЧЁТОМ ЭЛЕКТРОННОГО ЭКРАНИРОВАНИЯ</b>	
Таова С.М., Генералов Л.Н., Жеребцов В.А. ....	147
<b>NUCLEAR REACTION <sup>41</sup>K(α,n)<sup>44m</sup>Sc AND ISOMERIC CROSS SECTION RATIOS</b>	
Chuvil'skaya T.V. ....	147
<b>ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СЕМИНУКЛОННОЙ СИСТЕМЫ <sup>6</sup>Li + p С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ ВЕРСИИ МОДЕЛИ РЕЗОНИРУЮЩИХ ГРУПП</b>	
Соловьев А.С. <sup>1,2</sup> , Игашов С.Ю. <sup>1</sup> .....	148
<b>ИЗУЧЕНИЕ УГЛОВЫХ КОРРЕЛЯЦИЙ В ЭКСПЕРИМЕНТАХ С ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ КОСМИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ НА УСТАНОВКЕ «АДРОН-44»</b>	
<sup>1</sup> Буртебаев Н., <sup>2</sup> Новолодская О.А., <sup>2</sup> Садыков Т.Х., Таут Е.М. ....	148
<b>ПОИСК РЕДКИХ КАНАЛОВ РЕАКЦИИ С ИСПАРЕНИЕМ ПРОТОНОВ</b>	
Тезекбаева М.С., Еремин А.В. ....	149
<b>ОБРАЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСОВ В РЕАКЦИЯХ АНТИПРОТОН-ПРОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ И В РЕАКЦИЯХ ПЕРЕЗАРЯДКИ ПРОТОНОВ И АНТИПРОТОНОВ ПРИ ИМПУЛЬСЕ 22.4 ГЭВ/С</b>	
Боос Э.Г., Темиралиев Т. *, Избасаров М., Самойлов В.В., Турсунов Р.А. ....	150
<b>ANALYSIS OF THE ONE-NUCLEON TRANSFER REACTIONS ON <sup>16</sup>O NUCLEUS AND ANC FOR THE MIRROR CONFIGURATIONS <sup>17</sup>F → <sup>16</sup>O + p AND <sup>17</sup>O → <sup>16</sup>O + n</b>	
<sup>1</sup> Tojiboyev O.R., <sup>1</sup> Artemov S.V., <sup>1</sup> Kayumov M.A., <sup>1</sup> Karahodzhaev A.A., <sup>1</sup> Juraev O.Sh., <sup>1</sup> Ergashev F.Kh., <sup>2</sup> Burtabayev N. ....	150
<b>УГЛОВЫЕ КОРРЕЛЯЦИИ ВТОРИЧНЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В РЕАКЦИЯХ АНТИПРОТОН – ПРОТОННОЙ АННИГИЛЯЦИИ ПРИ 32 ГЭВ/С</b>	
<b>Боос Э.Г.</b> , Темиралиев Т. *, Избасаров М., Жаутыков Б.О., Самойлов В.В., Покровский Н.С., Турсунов Р.А. ....	151

<b>ВЛИЯНИЕ WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ ВЫСТРОЕННЫХ ЯДЕР НА УГЛОВЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ФРАГМЕНТОВ ИХ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕЛЕНИЯ</b>	
<i>Титова Л.В.<sup>1</sup>, Кадменский С.Г.<sup>1</sup>, Бунаков В.Е.<sup>2</sup></i> .....	152
<b>P-НЕЧЕТНЫЕ АСИММЕТРИИ В УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ФРАГМЕНТОВ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ДЕЛЕНИЯ ЯДЕР ПОЛЯРИЗОВАННЫМИ НЕЙТРОНАМИ С УЧЕТОМ WRIGGLING-КОЛЕБАНИЙ ДЕЛЯЩЕГОСЯ ЯДРА</b>	
<i>Кадменский С.Г., Титова Л.В., Кострюков П.В.</i> .....	153
<b>ALGEBRAIC METHODS FOR DESCRIBING THE ELASTIC SCATTERING PROCESSES WITH HIGH-SPIN STATES</b>	
<i>Burkova N.A.<sup>1</sup>, Tkachenko A.S.<sup>1,2</sup>, Beisenov B.U.<sup>1,2</sup>, Mukaeva A.R.<sup>1,2</sup></i> .....	154
<b>АСТРОФИЗИЧЕСКИЙ S-ФАКТОР РАДИАЦИОННОГО ЗАХВАТА <math>{}^3\text{He}(\alpha, \gamma){}^7\text{Be}</math> И <math>{}^3\text{H}(\alpha, \gamma){}^7\text{Li}</math> В ДВУХЧАСТИЧНОЙ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ МОДЕЛИ</b>	
<i>Турсунов Э.М., Туракулов С.А., Кудратов Х.Н.</i> .....	155
<b>ELASTIC d<sup>12</sup>CSCATTERING WITHIN THE COMBINED GLAUBER AND OPTICAL MODEL</b>	
<i>Ibraeva E.T.<sup>1</sup>, Uzikov Yu.N.<sup>2</sup></i> .....	157
<b>THE IMPACT OF THE ELECTRON SHELL UPON THE ALPHA DECAY OF IONIZED ATOM</b>	
<i>Igashov S.Yu.<sup>1</sup> and Tchuvil'sky Yu.M.<sup>1,2</sup></i> .....	157
<b>РАСЧЕТ НЕЙТРОННО-ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗМОЖНОЙ ТОПЛИВНОЙ ЗАГРУЗКИ ПРИ СОВМЕЩЕНИИ МОХ И REMIX-ТЕХНОЛОГИЙ В РЕАКТОРАХ НА ТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНАХ НА ПРИМЕРЕ ВВЭР-1200</b>	
<i>Алейников А.Н., Толстых В.С.</i> .....	158
<b>СТРУКТУРА ЛЕГКИХ НЕСТАБИЛЬНЫХ ЯДЕР В РАМКАХ СТАХОАТИЧЕСКОЙ ВАРИАЦИОННОЙ МОДЕЛИ</b>	
<i>Уразбеков Б.А.<sup>1,2</sup>, Деникин А.С.<sup>1,2</sup></i> .....	158
<b>ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ГАММА-КВАНТОВ В РЕАКЦИЯХ НЕУПРУГОГО РАССЕЯНИЯ НЕЙТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 14 МэВ НА ЯДРАХ УГЛЕРОДА И КИСЛОРОДА</b>	
<i><sup>1,2</sup> Федоров Н.А., <sup>3</sup> Третьякова Т.Ю., <sup>1</sup> Копач Ю.Н., <sup>1</sup> Быстрицкий В.М., <sup>1,4</sup> Грозданов Д.Н., <sup>1,5</sup> Алиев Ф.А., <sup>1,4</sup> Русков И.Н., <sup>1</sup> Ской В.Р., <sup>1,6</sup> Храшко К., <sup>7</sup> Боголюбов Е.П., <sup>7</sup> Бармаков Ю.Н. и коллаборация TANGRA</i> .....	159
<b>ОЦЕНКА РЕАКТИВНОСТИ БЫСТРО-ТЕПЛОВОЙ ПОДКРИТИЧЕСКОЙ СБОРКИ «ЯЛИНА-БУСТЕР» БЕЗ ТОПЛИВА В БЫСТРОЙ ЗОНЕ</b>	
<i>Фоков Ю.Г., Рутковская К.К., Бурнос В.В., Едчик И.А.</i> .....	159
<b>ОБРАЗОВАНИЕ ТЯЖЕЛОГО ИЗОТОПА ГЕЛИЯ <math>{}^5\text{He}</math> ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ ОСТАНОВИВШИХСЯ ПИОНОВ ЯДРАМИ <math>{}^{10,11}\text{B}</math></b>	
<i>Чернышев Б.А., Жан-Короткова Л.Ю., Гуров Ю.Б., Карпунин В.С., Лапушкин С.В., Леонова Т. И., Притула Р.В., Сандуковский В.Г.</i> .....	160
<b>ВОЗБУЖДЕНИЕ <math>{}^{180\text{m}}\text{Ta}</math> ПОЗИТРОНАМИ С ГРАНИЧНОЙ ЭНЕРГИЕЙ 0,65 МэВ</b>	
<i>Желтоножская М.В.<sup>1</sup>, Желтоножский В.А.<sup>2</sup>, Лыкова Е.Н.<sup>1</sup>, Черняев А.П.<sup>1</sup></i> .....	161
<b>POSSIBILITY OF FAST NEUTRON DETECTION WITH POSITION SENSITIVE PIXEL DETECTOR TIMEPIX</b>	
<i>Chuprakov I.<sup>1,4</sup>, Ahmadov G.<sup>1,2,3</sup>, Gledenov Yu. M.<sup>1</sup>, Nuruyev S.<sup>1,2</sup>, Berikov D.<sup>1,4</sup>, Kopatch Y.<sup>1</sup>, Sansarbayar E.<sup>1</sup>, Zolotaryova V.<sup>1,4</sup>, Akbarov R.<sup>1,3</sup></i> .....	161
<b>ПОИСК НОВЫХ МЕЖНУКЛОННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В РАССЕЯНИИ НЕЙТРОНОВ НА ЯДРЕ</b>	
<i>Воронин В.В.<sup>1,2,3</sup>, Кузнецов И.А.<sup>2</sup>, Шапиро Д.Д.<sup>1,2</sup></i> .....	162
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯДЕРНО-ФИЗИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ПУЧКАХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ</b>	
<i>Эргашев Ф.Х., Артемов С.В., Тожибоев О.Р., Игамов С.Б.</i> .....	163
<b>FISSION RATE OF EXCITED NUCLEI DEPENDING ON THE SADDLE-TO-SCISSION DISTANCE AND THE FRICTION STRENGTH</b>	
<i>Chushnyakova M. V.<sup>1,2</sup>, Gontchar I.I.<sup>1,3</sup></i> .....	164
<b>A FRESH LOOK AT TREATMENT OF RADIATIVE CAPTURE IN NUCLEAR REACTIONS: APPLICATIONS TO THE <math>\alpha - \alpha</math> BREMSSTRAHLUNG</b>	
<i>Arslanaliev A.<sup>1</sup>, Shebeko A.<sup>2</sup></i> .....	164
<b>ИЗОТОПНЫЙ АНАЛИЗ ВОДОРОДНО - ГЕЛИЕВОЙ СМЕСИ; ИОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ</b>	
<i><sup>1</sup> Галль Л.Н., <sup>2</sup> Галль Н.Р., <sup>3</sup> Назаренко Л.М., <sup>4</sup> Семенов А.А., <sup>3</sup> Якушев Е.М.</i> .....	165

<b>ASYMPTOTICAL THEORY OF THE PERIPHERAL SUB-BARRIER ONE PARTICLE TRANSFER REACTION FOR NUCLEAR ASTROPHYSICS</b>	
<i>Tursunmakhatov K.I. and Yarmukhamedov R.</i> .....	166
<b>РЕАКТОРНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ДВУХКОМПОНЕНТНЫХ ГАЗОВЫХ СРЕД, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ПРОДУКТАМИ ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ <math>{}^6\text{Li}(n,\alpha){}^3\text{H}</math></b>	
<i>Гордиенко Ю.Н.<sup>1</sup>, Самарханов К.К.<sup>1</sup>, Батырбеков Э.Г.<sup>2</sup>, Понкратов Ю.В.<sup>1</sup>, Кульсартов Т.В.<sup>1</sup>, Барсуков Н.И.<sup>1</sup>, Хасенов М.У.<sup>3</sup>, Заурбекова Ж.А.<sup>1</sup>, Тулубаев Е.Ю.<sup>1</sup></i> .....	167
<b>ANGULAR DISTRIBUTIONS AND ANISOTROPY OF FISSION FRAGMENTS FOR HEAVY NUCLEI INDUCED BY INTERMEDIATE ENERGY NEUTRONS (1- 200 MEV)</b>	
<i>Vorobyev A.S.</i> .....	167
<b>ASYMPTOTICS OF THREE-BODY BOUND STATE RADIAL WAVE FUNCTIONS OF HALO NUCLEI INVOLVING TWO CHARGED PARTICLES</b>	
<i>Yarmukhamedov R.</i> .....	168
<b>ELECTROMAGNETIC REACTIONS WITH THE DEUTERON IN THE BETHE-SALPETER APPROACH</b>	
<i>Bondarenko S., Burov V.</i> .....	168
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОГЕРЕНТНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАДИОАКТИВНЫЙ РАСПАД <math>{}^{152}\text{Eu}</math> И <math>{}^{239}\text{Pu}</math></b>	
<i>Бармина Е.В.<sup>1</sup>, Симакин А.В.<sup>1</sup>, Смирнов А.А.<sup>2</sup>, Седых С.Н.<sup>3</sup>, Каминский А.К.<sup>3</sup>, Стегайлов В.И.<sup>3</sup>, Тютюников С.И.<sup>3</sup>, Шафеев Г.А.<sup>1,4</sup>, Щербаков И.А.<sup>1</sup></i> .....	169
<b>РАСПАД НЕЧЕТНО-НЕЧЕТНЫХ ЯДЕР <math>\text{No}</math> (<math>Z=67</math>) С <math>A=156,158,160,162,164</math></b>	
<i>Ваганов Ю.А., Гонс З., Калинин В.Г., Сушков А.А., Стегайлов В.И., Юшкевич Ю.В.</i> .....	170
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ЯДЕР С ПОМОЩЬЮ МНОГО - ДЕТЕКТОРНОГО СПЕКТРОМЕТРА СОВПАДЕНИЙ ТИПА «ДОДЕКАЕДР»</b>	
<i>Чалон П., Адам И., Стегайлов В.И. Тютюников С.И.</i> .....	171
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПАДА ЯДЕР ОБРАЗУЮЩИХСЯ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МИШЕНЕЙ <math>{}^{237}\text{Np}</math>, <math>{}^{239}\text{Pu}</math> И <math>{}^{241}\text{Am}</math> В ПОЛЕ НЕЙТРОНОВ УСТАНОВКИ «КВИНТА» ФАЗОТРОНА ОИЯИ</b>	
<i>Тютюников С.И., Стегайлов В.И., Килим С., Шута М., Смирнов А.И., Далхажав О., Крячко И.А., Хушвактов Ж.Н.</i> .....	172
<b>DETAILED STUDY OF N-N CORRELATIONS IN THERMAL FISSION OF <math>{}^{233}\text{U}</math>, <math>{}^{235}\text{U}</math> AND <math>{}^{239}\text{Pu}</math></b>	
<i>Guseva I.S., Gagarski A.M., Sokolov V.E., Petrov G.A., Zavarukhina T.A.</i> .....	173
<b>DETECTORS FOR COMPLEX OF NON-CONTACT DIAGNOSTICS AND CONTROL OF FAST PROCESSES IN TRANSMUTATION ELECTRONUCLEAR INSTALLATION</b>	
<i>Malisev A., Maliseva M.</i> .....	173
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЯДЕРНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ</b>	
<i>Кожелякин В.А.</i> .....	174
<b>ANGULAR AND ENERGY DISTRIBUTIONS OF FISSION NEUTRONS FOR U-233, U-235, Pu-239 AND Cf -252</b>	
<i>Vorobyev A.S., Shcherbakov O.A., Gagarski A.M., Val'ski G.V., Petrov G.A.</i> .....	175
<b>НЕЙТРОННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНДЕНСИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ВЕЩЕСТВА: НЕЙТРОННАЯ РАДИОГРАФИЯ И ТОМОГРАФИЯ</b>	
<i>Мухаметулы Б.</i> .....	175
<b>ПОИСК СТРУКТУР В РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ ЧАСТИЦ УЗКОГО ПЕРЕДНЕГО КОНУСА ШИРОКИХ АТМОСФЕРНЫХ ЛИВНЕЙ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ</b>	
<i>Аргынова А.Х., Жуков В.В., Каратаева А.А., Квачкина Т.Н., Локтионов А.А., Пискаль В.В., Садыков Т.Х., Степанов А.</i> .....	176
<b>ПОЛЕ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ С ЭНЕРГИЯМИ ДО 10 МЭВ ДЛЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОЗИМЕТРИИ ПРИБОРОВ РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ</b>	
<i>Комар Д.И.<sup>1</sup>, Лукашевич Р.В.<sup>1</sup>, Гузов В.Д.<sup>1</sup>, Кожелякин В.А.<sup>1</sup>,</i> .....	177
<b>САМОСОГЛАСОВАННЫЕ РАСЧЕТЫ E1-ПЕРЕХОДОВ МЕЖДУ ОДНОФОННЫМИ СОСТОЯНИЯМИ В ПОЛУМАГИЧЕСКИХ ЯДРАХ</b>	
<i>Войтенков Д. А.<sup>1</sup>, Камерджицев С. П.<sup>2</sup>, Толоконников С. В.<sup>2,3</sup>, Шитов М. И.<sup>4</sup></i> .....	177
<b>2. SOLID STATE RADIATION PHYSICS AND ISSUES OF MATERIALS SCIENCE</b> .....	178
<b>КВАНТОВАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДВУХ СТРУКТУР ЛАВИННЫХ ФОТОДИОДОВ</b>	
<i>Ахмедов Ф.И.<sup>1,2</sup>, Садыгов А.З.<sup>1,2</sup>, Сулейманов С.С.<sup>2</sup>, Аббасов И.И.<sup>3</sup></i> .....	179

<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННОЙ МОДИФИКАЦИИ СТРУКТУРЫ СЛОИСТЫХ КРИСТАЛЛОВ СУЛЬФИДА ГАЛЛИЯ МЕТОДАМИ КОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ</b>	
<i>Мадатов Р.С., Гаджиева Н.Н., Гусейнов Н.И., Асадов Ф.Г.</i> .....	180
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНСТАНТ СКОРОСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПАРОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ С ТОПЛИВНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ РЕАКТОРА ВТГР</b>	
<i>Аскербеков С.К., Шестаков В.П., Чихрай Е.В., Кульсартов Т.В., Кенжина И.Е.</i> .....	181
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТНЫХ НАНОТРУБОК В АДРЕСНОЙ ДОСТАВКЕ ЛЕКАРСТВЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ</b>	
<i>Ибрагимова М.А.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	182
<b>СВОЙСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ НАНОСТРУКТУР</b>	
<i>Ибраева А.Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	182
<b>СИНТЕЗ НАНОЧАСТИЦ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА, ПОКРЫТЫХ ЗОЛОТОМ</b>	
<i>Тулбаева Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	183
<b>ВЛИЯНИЕ КИСЛОТНОСТИ НА СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА НАНОЧАСТИЦ НА ОСНОВЕ ОКСИДА ЖЕЛЕЗА Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	
<i>Ермекова А.<sup>1,2</sup>, Тулбаева Д.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	183
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА НАНОТРУБОК</b>	
<i>Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Боржеков Д.Б.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	184
<b>СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ РАДИАЦИОННО-СТОЙКИХ ТОНКИХ ПЛЕНОК</b>	
<i>Калиекперов М.Е.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	184
<b>ПОЛУЧЕНИЕ FeNi НАНОТРУБОК МЕТОДОМ ШАБЛОННОГО СИНТЕЗА</b>	
<i>Уразаева М.А.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	185
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ НА СВОЙСТВА Ni-НАНОТРУБОК</b>	
<i>Шлимас Д.И.<sup>1,2</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>1,2</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup></i> .....	185
<b>INFLUENCE OF THERMAL ANNEALING ON OPTICAL AND PHOTOELECTRICAL PROPERTIES OF GaS MONOCRYSTALS WERE IMPLANTED PROTONS WITH 70 KeV ENERGY</b>	
<i>Madatov R.S.<sup>1,2</sup>, Taghiyev T.B.<sup>1</sup>, Jahangirov M.M.<sup>1</sup>, Ahmadov F.I.<sup>1</sup>, Faradjova U.F.<sup>2</sup></i> .....	186
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ TlSe С TmSe И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ TlGaSe<sub>2</sub>-TlTmSe<sub>2</sub></b>	
<i>Керимова Э.М., Сеидов Ф.М., Гасанов Н.З., Мустафаева С.Н., Велиев Р.Г., Гасанов А.И., Заманова А.К.</i> ....	188
<b>ВЛИЯНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВТСП НАПОЛНИТЕЛЯ И РАДИОЦИОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ «ПОЛИИМИД- YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>6,7</sub>»</b>	
<i>Мурадов А.Д., Мукашев К.М., Яр-Мухамедова Г.Ш., Кырыкбаева А.А.</i> .....	189
<b>ВЛИЯНИЕ γ-ОБЛУЧЕНИЯ НА УДЕЛЬНОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ Sn<sub>1-x</sub>Tb<sub>x</sub>Se</b>	
<i>Джафаров Т.А., Гусейнов Дж.И., Мамедова Р.Ф., Адгезалова Х.А.</i> .....	190
<b>ВЛИЯНИЕ γ-ОБЛУЧЕНИЯ НА ТЕРМОЭДС И ТЕПЛОПРОВОДНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛОВ (SnSe)<sub>1-x</sub>(DySe)<sub>x</sub></b>	
<i>Гусейнов Дж.И.<sup>1</sup>, Мургузов М.И.<sup>1</sup>, Аббасов И.И.<sup>2</sup>, Джафаров Т.А.<sup>1</sup>, Гасанов О.М.<sup>1</sup></i> .....	191
<b>STRUCTURE AND PROPERTIES OF NITRILE-BUTADIENE RUBBER IN PRESENCE OF MODIFIED NANO ZINC OXIDE</b>	
<i><sup>1</sup>Khankishieva R.F., <sup>1</sup>Mammadov Sh.M., <sup>2</sup>Ramazanov M.A., <sup>1</sup>Akhundzada H.N., <sup>1</sup>Abbasli A.A.</i> .....	192
<b>IMPACT OF GAMMA-IRRADIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF Cd<sub>1-x</sub>MnxTe EPITAXIAL FILMS</b>	
<i>Mehrabova M.A.<sup>1</sup>, Nuriyev I.R.<sup>2</sup>, Hasanov N.H.<sup>3</sup>, Kerimova T.I.<sup>1</sup></i> .....	192
<b>РЕНТГЕНОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ МОНОКРИСТАЛЛА AgGaS<sub>2</sub>, ПОЛУЧЕННОГО МЕТОДОМ ХИМИЧЕСКИХ ГАЗОТРАНСПОРТНЫХ РЕАКЦИЙ</b>	
<i>Мустафаева С.Н.*, Асадов С.М.**, Гусейнов Д.Т.*</i> .....	193
<b>ВЛИЯНИЕ ГАММА- ИЗЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ GaS<sub>1-x</sub>S<sub>x</sub>&lt;Er&gt;(x=0,10)</b>	
<i>Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Халыгзаде А.Ш.</i> .....	194
<b>ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА – ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАДИЙ-СИЛИКАТА</b>	



<i>Агаев Т.Н., Мансимов З.А., Алиев С.М., Эюбов К.Т., Сабзалиев С.А., Велиев Э.Р.</i> .....	194
<b>ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГАММА ОБЛУЧЕННЫХ КОМПОЗИТОВ П(ВДФ-ТеФЭ)/нано-Si</b>	
<i>Магеррамов А.М., Нуруев И.М., Мехтиева Р.Н., Нуруев С.М.</i> .....	195
<b>РАДИАЦИОННОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ВОДЫ В СИСТЕМЕ нано-ZrO<sub>2</sub> + нано-SiO<sub>2</sub>+H<sub>2</sub>O</b>	
<i>Агаев Т.Н., Гаджиева Н.Н., Меликова С.З.</i> .....	196
<b>ВЛИЯНИЕ ГАММА ОБЛУЧЕНИЯ НА ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТОВ ПЭНП/CdS</b>	
<i>Нуриев М.А., Магеррамов А.М., Шукюрлы А.А., Гасьмова А.И.</i> .....	197
<b>РАЗРАБОТКА НОВОГО КРЕМНИЕВОГО ФОТОДИОДА С БЫСТРОМ ФОТООТКЛИКОМ</b>	
<i>Садыгов А.З.<sup>1,2</sup>, Ахмедов Ф.И.<sup>2</sup>, Сулейманов С.С.<sup>2</sup>, Аббасов И.И.<sup>3</sup></i> .....	198
<b>ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ОБЛУЧЕННОГО ЭЛЕКТРОНАМИ BaCe<sub>1-x</sub>Re<sub>x</sub>O<sub>3-δ</sub> (Re = Nd, Y и Gd)</b>	
<i>Хромушин И.В., Аксенова Т.И.</i> .....	199
<b>ЭФФЕКТЫ ОБЛУЧЕНИЯ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИХ ПОКРЫТИЙ</b>	
<i>Арутюнян В.В.<sup>1</sup>, Алексанян Е.М.<sup>1</sup>, Григорян Н.Е.<sup>1</sup>, Саакян А.А.<sup>1</sup>, Бадалян А.О.<sup>1</sup>, Баграмян В.В.<sup>2</sup>, Саргисян А.А.<sup>2</sup></i> .....	200
<b>ТЕПЛОВАЯ ЭРОЗИЯ ВОЛЬФРАМА ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ЭЛЕКТРОННОМ ОБЛУЧЕНИИ</b>	
<i>Алдабергенова Т.М., Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.</i> .....	201
<b>МЕССБАУЭРОВСКАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛИБДЕНА, ОБЛУЧЕННОГО ИОНАМИ <sup>57</sup>Fe<sub>2</sub></b>	
<i>Бедельбекова К.А., Озерной А.Н., Верещак М.Ф., Манакова И.А., Тлеубергенов Ж.К.</i> .....	202
<b>SYNTHESIS of Zn ON A NOCRYSTALS in SiO<sub>2</sub>/Si TRACK TEMPLATES by ELECTROCHEMICAL DEPOSITION of ZINC</b>	
<i>Dauletbekova A.<sup>1</sup>, Kozlovskii A.<sup>2</sup>, Baimukhanov Z.<sup>1</sup>, Usseinov A.<sup>1,2</sup>, Akilbekov A.<sup>1</sup>, Zdorovets M.<sup>2,3</sup>, Murzagaliev M.<sup>1</sup>, Zhurkin E.<sup>1</sup>, Nauryzbayeva R.<sup>1</sup></i> .....	202
<b>ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАТУРНОГО И ПРОТОТИПНОГО КОРИУМОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО РЕАКТОРАНА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ</b>	
<i><sup>1</sup> Скаков М.К., <sup>1</sup> Дерявко И.И., <sup>2</sup> Мухамедов Н.Е., <sup>1</sup> Барбатенков Р.К.</i> .....	203
<b>СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ НАНОКРИСТАЛЛОВ Ge И ZnSe В ЭПИТАКСИАЛЬНОЙ ПЛЕНКЕ (GaAs)<sub>0,69</sub>(Ge<sub>2</sub>)<sub>0,17</sub>(ZnSe)<sub>0,14</sub></b>	
<i>Бобоев А.И., Каланов М.У.</i> .....	204
<b>ДЕГРАДАЦИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ</b>	
<i>Ганеев Г.З., Кислицин С.Б.</i> .....	205
<b>ГЕТЕРОГЕННЫЙ ГАММА-РАДИОЛИЗ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНО-ЦИРКОНИЯ</b>	
<i>Агаев Т.Н., Гусейнов В.И., Алескеров А.М.</i> .....	206
<b>РАДИАЦИОННО-СТИМУЛИРОВАННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> И TiO<sub>2</sub> ВЫЗВАННЫЕ ОБЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ</b>	
<i>Скуратов В.<sup>1</sup>, Акилбеков А.<sup>2</sup>, Здоровец М.В.<sup>3,4</sup>, Даулетбекова А.<sup>2</sup>, Аралбаева Г.<sup>2</sup></i> .....	206
<b>СИНТЕЗ МОЩНЫМИ ЭЛЕКТРОННЫМИ ПУЧКАМИ КЕРАМИК MgF<sub>2</sub> АКТИВИРОВАННЫХ ВОЛЬФРАМОМ: ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ СВОЙСТВА</b>	
<i>Лисицын В.М.<sup>1</sup>, Карипбаев Ж.Т.<sup>2</sup>, Мусаханов Д.<sup>2</sup>, Козловский А.Л.<sup>3</sup>, Лисицына Л.А.<sup>4</sup>, Даулетбекова А.К.<sup>2</sup>, Акилбеков А.Т.<sup>2</sup>, Мархабаева А.А.<sup>4</sup></i> .....	207
<b>ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ТЕМПЕРАТУРЫ ИСПЫТАНИЙ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ 316NG И G-91</b>	
<i>Диков А.С.<sup>1,2</sup>, Кислицин С.Б.<sup>1,2</sup>, Максимкин О.П.<sup>1,2</sup>, Мережко М.С.<sup>1</sup>, Рофман О.В.<sup>1</sup>, Турубарова Л.Г.<sup>1</sup>, Сильнягина Н.С.<sup>1</sup>, Чернов И.И.<sup>2</sup></i> .....	208
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ЯГР СПЕКТРОВ ИНТЕРМЕТАЛЛИДОВ БИНАРНОЙ СИСТЕМЫ ЖЕЛЕЗО-ЦИРКОНИЙ</b>	
<i>Жубаев А.К.<sup>1</sup>, Кантарбай Е.А.<sup>2</sup>, Торемурат А.Х.<sup>1</sup></i> .....	209
<b>РАЗРАБОТКА СПЛАВОВ-ПРИПОЕВ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ТЕРМОСТОЙКИХ СОЕДИНЕНИЙ В ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ</b>	
<i>Калин Б.А., Севрюков О.Н., Сучков А.Н., Иванников А.А., Федотов И.В., Бачурина Д.М., Пенязь М.А.</i> .....	210
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАКТОРНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ОБЛУЧЕНИЮ СВИНЦОВО-ЛИТИЕВОЙ ЭВТЕКТИКИ Li<sub>17</sub>Pb<sub>83</sub></b>	

<i>Заурбекова Ж.А.<sup>1</sup>, Ситников А.А.<sup>2</sup> .....</i>	<i>211</i>
<b>ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В КВАРЦЕВЫХ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХ ПРИ <math>\gamma</math>-ОБЛУЧЕНИИ</b>	
<i>Амонов М.З., Ибрагимова Э.М., Есемуратов Б. ....</i>	<i>212</i>
<b>ЭВОЛЮЦИЯ ПРОФИЛЯ ШЕРОХОВАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ В ПРОЦЕССЕ ИОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МЕТАЛЛОВ</b>	
<i>Карпиков А.Н., Кислицин С.Б., Козырева М.С. ....</i>	<i>213</i>
<b>РОЛЬ ПРИМЕСЕЙ И СТРУКТУРНЫХ ДЕФЕКТОВ В ОБРАЗОВАНИИ РАДИАЦИОННЫХ ЦО В КРИСТАЛЛАХ ГРАНАТА</b>	
<i>Курбанов А.М., Нуритдинов И. ....</i>	<i>214</i>
<b>THE METAL-INSULATOR TRANSITIONS AND NANOSCALE PHASE SEPARATION AND THEIR MANIFESTATIONS IN ELECTRONIC PROPERTIES OF DOPED HIGH-T<sub>c</sub> CUPRATE SUPERCONDUCTORS</b>	
<i>Dzhumanov S., Kurbanov U.T. ....</i>	<i>215</i>
<b>РАДИАЦИОННЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПОКРЫТИИ TiMoN ПРИ ОБЛУЧЕНИИ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ИОНАМИ ГЕЛИЯ И КРИПТОНА</b>	
<i>Ларионов А.С., Диков А.С., Кислицин С.Б., Углов В.В. ....</i>	<i>216</i>
<b>СТРУКТУРА И СВЕТОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ТОНКОПЛЁНОЧНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ</b>	
<i>Лисицын В.Н., Жаканбаев Е.А. ....</i>	<i>217</i>
<b>ВЛИЯНИЕ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭПОКСИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ ЭД-20/НАНО-<math>\alpha</math>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	
<i>Байрамов М.Н., Магеррамов А.М., Алиев Н.Ш. ....</i>	<i>218</i>
<b>ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СТРУКТУРУ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НАНОКОМПОЗИТА ПОЛИСТИРОЛ /Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub></b>	
<i>Магеррамов А.М. *, Рустамова Д.Ф. *, Алиев Н.Ш. *, Байрамов М.Н. *, Сабзалиева З.Е. *, Аббасов И.И. **</i>	<i>219</i>
<b>«АНОМАЛЬНЫЕ» ИЗМЕНЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЧНОСТИ, ПЛАСТИЧНОСТИ И НАМАГНИЧЕННОСТИ СТАЛИ 12X18N10T В РЕЗУЛЬТАТЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И ПОСТРАДИАЦИОННЫХ ОТЖИГОВ</b>	
<i>Максимкин О.П. ....</i>	<i>220</i>
<b>ПРЕЦИЗИОННАЯ СТРУКТУРНАЯ ИНТРОСКОПИЯ СТРУКТУРЫ КРИСТАЛЛОВ</b>	
<i>Ласица М.В.<sup>1),2)</sup>, Семенихин С.Ю.<sup>1),2)</sup>, Воронин В.В.<sup>1),2)</sup>, Федоров В.В.<sup>1),2)</sup>, Кузнецов И.А.<sup>1)</sup> .....</i>	<i>220</i>
<b>ТЕРМО- И ФОТО ДАТЧИКИ НА ОСНОВЕ НЕЙТРОННО-КОМПЕНСИРОВАННОГО КРЕМНИЯ</b>	
<i>Ташметов М.Ю., Махкамов Ш., Махмудов Ш.А., Сулаймонов А.А., Рафииков А.К. ....</i>	<i>221</i>
<b>КАТАЛИЗАТОРЫ НА ОСНОВЕ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН И МЕТАЛЛОВ ПОДГРУППЫ МЕДИ</b>	
<i>Машенцева А.А., Корольков И.В., Есжанов А.Б., Горин Е.Г., Здоровец М.В. ....</i>	<i>222</i>
<b>К ВОПРОСУ ГИДРОФОБИЗАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ ПЭТФ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН</b>	
<i>Корольков И.В.<sup>1,2</sup>, Есжанов А.Б.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Горин Е.Г.<sup>1,2</sup>, Машенцева А.А.<sup>1,2</sup>, Гювен О.<sup>3</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup> .....</i>	<i>223</i>
<b>КИНЕТИКА МАРТЕНСИТНОГО ПРЕВРАЩЕНИЯ В ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ СТАЛЯХ 12X18N10T И AISI 304 В ПРОЦЕССЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ</b>	
<i>Мережко Д.А., Мережко М.С., Максимкин О.П. ....</i>	<i>224</i>
<b>ЯДЕРНЫЙ МИКРОЗОНД В ИССЛЕДОВАНИИ МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКОГО БЕРИЛЛИЯ</b>	
<i>Бузовера М.Э., Карпов И.А., Городнов А.А., Архипов А.Ю., Валекжанина Е.И., Кирейчева В.И. ....</i>	<i>224</i>
<b>МЕМБРАННАЯ ДИСТИЛЛЯЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ГИДРОФОБНЫХ ТРЕКОВЫХ МЕМБРАН</b>	
<i>Горин Е.Г.<sup>1,2</sup>, Корольков И.В.<sup>1,2</sup>, Есжанов А.Б.<sup>1</sup>, Козловский А.Л.<sup>1,2</sup>, Машенцева А.А.<sup>1,2</sup>, Загребова А.С.<sup>1</sup>, Здоровец М.В.<sup>1,2</sup>, Жанботин А. Ж.<sup>1,2</sup> .....</i>	<i>225</i>
<b>ИЗУЧЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БОРОСИЛИКАТОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ</b>	
<i>Меликова С.З., Исмаилов Ш.С. ....</i>	<i>226</i>
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАДИАЦИОННО-ПОВРЕЖДЕННОГО ВОЛЬФРАМА В РЕЗУЛЬТАТЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ОБЛУЧЕНИЯ В СРЕДЕ ВОДОРОДА И ГЕЛИЯ</b>	
<i>Миниязов А.Ж., Скаков М.К., Тажигаева И.Л., Ситников А.А., Коянбаев Е.Т., Кульсартов Т.В., Сапатаев Е.Е., Гордиенко Ю.Н. ....</i>	<i>227</i>

<b>ОБРАЗОВАНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ ДЕФЕКТОВ В НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ, ПОДВЕРГНУТОЙ ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ</b>	
<i><sup>1)</sup> Мукашев К.М., <sup>1)</sup> Мурадов А.Д., <sup>2)</sup> Умаров Ф.Ф., <sup>1)</sup> Яр-Мухамедова Г.Ш.</i>	228
<b>К ВОПРОСУ ОБОСНОВАНИЯ РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЙ АМПУЛЬНЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМ РЕАКТОРЕ</b>	
<i>Скаков М.К., Мухамедов Н.Е., Вурим А.Д., Пахниц А.В., Деряво И.И.</i>	229
<b>ЦЕНТРЫ ОКРАСКИ СИЛИКАТНОГО СТЕКЛА ПОСЛЕ ОБЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРОНАМИ</b>	
<i>Муссаева М.А., Ибрагимова Э.М., Бузриков Ш.Н.</i>	230
<b>ВОЗВРАТНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ В ПЛЕНОЧНОМ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНЕ, ОБЛУЧЕННОМ ЭЛЕКТРОНАМИ</b>	
<i>Воронова Н.А.<sup>1</sup>, Кунчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>, Лисицын В.М.<sup>3</sup>, Тлебаев К.Б.<sup>1</sup></i>	231
<b>ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛУЧЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ</b>	
<i>Кунчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup></i>	232
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ВЛИЯНИЮ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА АКТИВНЫЙ ИЛ</b>	
<i>Кунчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup>, Таипова Б.Г.<sup>1</sup></i>	233
<b>ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЕ В ОБЛУЧЕННЫХ ИОННО-МОЛЕКУЛЯРНЫХ КРИСТАЛЛАХ</b>	
<i>Нурахметов Т.Н., * Салиходжа Ж.М., Жунусбеков А.М., Кайнарбай А.Ж., Жанылысов К., Дауренбеков Д.Х., Кутербекоев К.А., Телмиркулова Н.И.</i>	234
<b>ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ВОДОРОДА С ПРИМЕСНЫМИ И СОБСТВЕННЫМИ ТОЧЕЧНЫМИ ДЕФЕКТАМИ В НАНОЧАСТИЦАХ КРЕМНИЯ</b>	
<i>Махкамов Ш.М., Нормуродов А.Б., Сулайманов Н.Т., Таиметов М.Ю.</i>	234
<b>НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ ПО СХЕМЕ «SHEAR PUNCH» ПРИ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ РЕАКТОРНЫХ СТАЛЕЙ</b>	
<i>Нұрғали Е.Е., Рубан С.В., Максимкин О.П.</i>	235
<b>ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ОБРАЗЦОВ ЛИТИЕВОЙ КПС НА ОСНОВЕ УГЛЕРОДНОЙ ТКАНИ, АРМИРОВАННОЙ УНТ</b>	
<i>Понкратов Ю.В.<sup>1</sup>, Абдуллин Х.А.<sup>2</sup>, Гордиенко Ю.В.<sup>1</sup>, Заурбекова Ж.А.<sup>1</sup>, Кульсартов Т.В.<sup>1</sup>, Бакланов В.В.<sup>1</sup>, Тулубаев Е.Ю.<sup>1</sup>, Чихрай Е.В.<sup>2</sup></i>	236
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ АЛЬФА-ЧАСТИЦАМИ НА СТРУКТУРУ ПОВЕРХНОСТИ ПОКРЫТИЙ TiCrN НА СТАЛИ И ВЫСОКОНИКЕЛЕВОГО СПЛАВА 03X20N45M4B4</b>	
<i>Сатпаев Д.А.<sup>1,2</sup>, Кислицын С.Б.<sup>1</sup></i>	237
<b>О СТРУКТУРЕ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ЦЕНТРОВ В КРИСТАЛЛАХ Lu<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>:Ce</b>	
<i>Нурутдинов И., Эсанов З.У., Саидахмедов К.Х.</i>	238
<b>ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ВЗРЫВА</b>	
<i>Олешко В.И.<sup>1</sup>, Плотников С.В.<sup>2</sup>, Тұрлыбекұлы А.<sup>2</sup></i>	239
<b>ФОРМИРОВАНИЕ МНОГОСЛОЙНОЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ НИКЕЛИДА ТИТАНА ПОСРЕДСТВОМ ОБЛУЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫМИ ИОНАМИ ИНЕРТНЫХ ГАЗОВ</b>	
<i>Полтавцева В.П.</i>	240
<b>ЭРОЗИЯ ПОВЕРХНОСТИ ВОЛЬФРАМА И БЕРИЛЛИЯ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СТАЦИОНАРНОГО ПЛАЗМЕННОГО ПОТОКА</b>	
<i>Рахадиллов Б.К., Скаков М.К.</i>	241
<b>МИКРОСТРУКТУРА И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛИ X16N11M3 – МАТЕРИАЛА ОТРАБОТАВШИХ ЧЕХЛОВ ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК РЕАКТОРА БН-350</b>	
<i>Цай К.В., Максимкин О.П., Рофман О.В., Тиванова О.В., Турубарова Л.Г.</i>	242
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ТОПЛИВНОЙ СМЕСИ В ТЕРМОЯДЕРНЫХ УСТАНОВКАХ С МАГНИТНЫМ УДЕРЖАНИЕМ</b>	
<i>Сексембаев Ж.Б., Сахиев С.К.</i>	242
<b>МЕССБАУЭРОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ Fe-Co И Fe-Ni НАНОТРУБОК В ПОЛИМЕРНЫХ ИОННО-ТРЕКОВЫХ МЕМБРАНАХ</b>	
<i>Русаков В.С.<sup>1</sup>, Кадыржанов К.К.<sup>2,3</sup>, Козловский А.Л.<sup>2,3</sup>, Здоровец М.В.<sup>2,3</sup>, Фадеев М.С.<sup>1</sup></i>	243
<b>ПАРАМЕТРЫ ТЕРМАЛИЗАЦИИ БЫСТРЫХ ИОНОВ В ПЛОТНОЙ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЕ</b>	

<i>Сексембаев Ж.Б., Баяхметов О.С., Азаматов А.А., Аманбек Н.Н., Сахиев С.К.</i> .....	244
<b>ИСПЫТАНИЯ МАКЕТА ЛИТИЕВОГО ДИВЕРТОРА МАТЕРИАЛОВЕДЧЕСКОГО ТОКАМАКА КТМ</b>	
<i>Тулубаев Е.Ю., Понкратов Ю.В., Гордиенко Ю.В., Заурбекова Ж.А., Кульсартов Т.В., Барсуков Н.И.</i> .....	244
<b>КОМПТОНОВСКИЙ ДЕТЕКТОР НЕЙТРОНОВ С ЭМИТТЕРОМ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ГАФНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ В АКТИВНОЙ ЗОНЕ РЕАКТОРА ВВЭР</b>	
<i>Улыбкин А.Л., Шиляев Б.А., Ковтун К.В., Кутний В.Е., Рыбка А.В.</i> .....	245
<b>КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ ПОВЕРХНОСТИ МОНОКРИСТАЛЛА ПРИ ИОННОЙ БОМБАРДИРОВКЕ ПОД СКОЛЬЗЯЩИМИ УГЛАМИ</b>	
<sup>1</sup> <i>Умаров Ф.Ф.,</i> <sup>2</sup> <i>Джурахалов А.А.,</i> <sup>3</sup> <i>Мукашев К.М.</i> .....	246
<b>НЕСТАБИЛЬНЫЕ ЦЕНТРЫ ОКРАСКИ В КВАРЦЕВЫХ СТЕКЛАХ ТИПА КИ, ИНДУЦИРОВАННЫЕ БЫСТРЫМИ НЕЙТРОНАМИ</b>	
<i>Файзуллаев Б.С., Исламов А.Х., Ибрагимова Э.М., Кудратов Х.Н.</i> .....	247
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И АРГОНА НА ПРОЦЕССЫ ДЕСОРБЦИИ ГАЗОВ ИЗ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИТТРИЕМ (YSZ)</b>	
<i>Хромушин И.В., Аксенова Т.И., Тусеев Т.Т.</i> .....	248
<b>К ВОПРОСУ О СМЕШАННОЙ ВАЛЕНТНОСТИ Ce(III/IV) В BaCeO<sub>3</sub></b>	
<i>Хромушин И.В., Рухин А.Б., Аксенова Т.И.</i> .....	249
<b>ОСОБЕННОСТИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ, ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ В РЕАКТОРАХ БН-350 И ВВР-К</b>	
<i>Цай К.В., Рофман О.В., Максимкин О.П., Рубан С.В., Нургалли Е.Е.</i> .....	249
<b>ВЛИЯНИЕ ИОНИЗИРУЮЩЕГО И РАЗРЯДНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ВАРИСТОРНЫЕ, ЭЛЕКТРЕТНЫЕ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ПОЛИМЕР-SiO<sub>2</sub>, BaTiO<sub>3</sub></b>	
<i>Фарадж-заде И.А.</i> .....	250
<b>STRUCTURE AND PROPERTIES OF NITRILE-BUTADIEN RUBBER IN PRESENCE OF MODIFIED NANO ZINC OXIDE</b>	
<i>Khankishieva R.F.<sup>1</sup>, Mammadov Sh.M.<sup>1</sup>, Ramazanov M.A.<sup>2</sup>, Akhundzada H.N.<sup>1</sup>, Abbasli A.A.<sup>1</sup></i> .....	251
<b>RADIATION HARDENING OF CARBIDE FUEL ELEMENTS</b>	
<i>Deryavko I.I.</i> .....	251
<b>EFFECT OF GAMMA RADIATION ON ELECTRICAL PROPERTIES OF Pb<sub>0.99</sub>Mn<sub>0.01</sub>Se EPTAXIAL FILM</b>	
<i>Madatov R.S., Nadjafov A.I., Nuriyev H.R., Mamedov M.A., Mamishova R.M.</i> .....	252
<b>ВОЛЬТ АМПЕРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАНО-SiO<sub>2</sub> ОБЛУЧЕННЫХ НЕЙТРОНАМИ</b>	
<i>Мехтиева Р.Н., Гусейнов Е.М.</i> .....	253
<b>ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА РАЗЛОЖЕНИЯ ВОДЫ НА ПОВЕРХНОСТИ НАНО- Zr O<sub>2</sub> МЕТОДОМ ЭПР</b>	
<i>Агаев Т.Н., Иманова Г.Т.</i> .....	253
<b>ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КРИСТАЛЛОВ TiGaSe<sub>2</sub> ОБЛУЧЕННЫХ g – КВАНТАМИ</b>	
<i>Самедов О.А.<sup>1</sup>, Алекперов О.З.<sup>2</sup>, Наджафов А.И.<sup>2</sup>, Самедов С.Ф.<sup>1</sup>, Габулов И.А.<sup>1</sup>, Мехтиев Н.<sup>3</sup>, Гусейнов Э.М.<sup>1</sup>, Надирова Х.Б.<sup>1</sup></i> .....	254
<b>СУПЕРИОННАЯ ПРОВОДИМОСТЬ В КРИСТАЛЛАХ TlInS<sub>2</sub>, TiGaSe<sub>2</sub>, TlS И TlSe ИНДУЦИРОВАННАЯ γ– ОБЛУЧЕНИЕМ</b>	
<i>Сардарлы Р.М., Самедов О.А., Абдуллаев А.П., Салманов Ф.Т., Алиева Н.А., Оруджева А.А., Гахраманова С.М., Мехтиева Р.Н.</i> .....	255
<b>СИНТЕЗ УГЛЕРОДНЫХ КОМПОЗИТОВ И НАНОКАТАЛИЗАТОРОВ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОСПИННИНГА</b>	
<i>Абдуллин Х.А.<sup>1</sup>, Чихрай Е.В.<sup>1</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>2</sup>, Исмаилов Д.В.<sup>2</sup>, Кенжина И.Е.<sup>1</sup></i> .....	256
<b>THE STUDY OF THE SILICON CARBIDE NANOPOWDER SIZES AND STRUCTURAL PARAMETERS AFTER ELECTRON IRRADIATION</b>	
<i>Abdurakhimov B.A., Tashmetov M. Yu.</i> .....	257
<b>ПОЛУЧЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТЕН МЕТОДОМ PECVD В ПЛАЗМЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО РАЗРЯДА</b>	
<i>Батрышев Д.Г.<sup>1,3</sup>, Ерланулы Е.<sup>1,3</sup>, Рамазанов Т.С.<sup>2</sup>, Досболаев М.К.<sup>2</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>3</sup></i> .....	258
<b>PHYSICAL AND MECHANICAL ASPECTS OF RADIATION DAMAGE COMPOSITES</b>	
<i>Tamuzs V.P., Kozhamkulov B.A., Tulendinov T.B., Bitibayeva Zh.M., Kyrykbayeva A.A.</i> .....	259

**РАДИАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ И НАНОКЕРАМИК НА ОСНОВЕ CaF<sub>2</sub>-****YbF<sub>3</sub>***Аиууров М.Х.<sup>1,2</sup>, Нурутдинов И.<sup>1</sup>, Бойбобоева С.Т.<sup>1</sup> ..... 260***МЕССБАУЭРОВСКИЕ, РЕНТГЕНОВСКИЕ И ЭЛЕКТРОННОМИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СПЛАВОВ, ПОЛУЧЕННЫХ ИМПЛАНТАЦИЕЙ ИОНОВ 57Fe В 181Ta***Верецка М.Ф.<sup>1</sup>, Бедельбекова К.А.<sup>1</sup>, Киреев А.В.<sup>1</sup>, Манакова И.А.<sup>1</sup>, Озерной А.Н.<sup>1</sup>, Тлеубергенов Ж.К.<sup>1</sup>, Яскевич В.И.<sup>1,2</sup> ..... 261***ПОЛУЧЕНИЕ НОВОЙ ФАЗЫ MoCd<sub>2</sub> В ПЛЕНОЧНЫХ ПОКРЫТИЯХ СИСТЕМЫ МОЛИБДЕН-КАДМИЙ***Володин В.Н., Тулеушев Ю.Ж., Жаканбаев Е.А., Цай К.В., Рофман О.В. .... 262***ПОЛУЧЕНИЕ НИЗКООМНЫХ ПРОЗРАЧНЫХ ПЛЕНОК ОКСИДА ЦИНКА МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ И P-N-ПЕРЕХОДОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДОВ ЦИНКА И МЕДИ***Исмаилов Д.В.<sup>1</sup>, Ильин А.П.<sup>2</sup>, Гриценко Л.В.<sup>1</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>1</sup>, Абдуллин Х.А.<sup>1</sup>, Ажимханова М.Б.<sup>3</sup> ..... 263***INFLUENCE OF RESIDUAL STRESSES ON THE THERMAL STRENGTH OF NRE FUEL ELEMENTS***Deryavko I.I.<sup>1</sup>, Lanin A.G.<sup>2</sup> ..... 264***ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА СПЕКТРЫ ПОГЛОЩЕНИЯ КРИСТАЛЛОВ VGO***Саидахмедов К.Х., Нурутдинов И. .... 264***РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ ПО РАЗДЕЛЕНИЮ ИЗОТОПОВ ВОДОРОДА НА ОСНОВЕ СОРБЕНТОВ ИЗ ВАНАДИЕВЫХ СПЛАВОВ***Кульсартов Т.В., Чихрай Е.В., Шестаков В.П., Кенжина И.Е., Аскербекоев С.К. .... 265***КАСКАДНО-ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД И ЕГО ПРИМЕНЕНИЕ В ЗАДАЧАХ ДЕФЕКТООБРАЗОВАНИЯ В ТВЕРДЫХ ТЕЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup> ..... 265***РАСЧЕТЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЙ ДЕФЕКТОВ ВАКАНСИОННОГО ТИПА ПО ГЛУБИНЕ В МАТЕРИАЛАХ, ОБЛУЧЕННЫХ ИОНАМИ***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Купчишин А.А.<sup>1</sup>, Шмыгалева Т.А.<sup>2</sup> ..... 266***ЭЛЕКТРОННО- И АТОМНО-СИЛОВЫЕ МИКРОСКОПИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТНЫХ КАТАЛИТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, ОБЛУЧЕННЫХ ЭЛЕКТРОНАМИ***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Емельянова В.С.<sup>2</sup>, Ниязов М.Н.<sup>1</sup> ..... 268***ВОЗДЕЙСТВИЕ МОЩНЫХ ПЛАЗМЕННЫХ СТРУЙ НА СТЕНКУ И МАТЕРИАЛЫ ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ***Добрынина А.О.<sup>1</sup>, Кузенов В.В.<sup>1,2,3</sup>, Рыжков С.В.<sup>1</sup> ..... 269***ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ПЛЕНОЧНОГО МАЙЛАРА***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Таипова Б.Г.<sup>2</sup> ..... 270***ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ И НАПОЛНИТЕЛЕЙ ЛАВСАНА И ИТТРИЕВОЙ КЕРАМИКИ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИИМИДА***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Таипова Б.Г.<sup>2</sup> ..... 271***ФОРМИРОВАНИЕ ПОР В ОБЛУЧЕННОМ ИОНАМИ КРЕМНИИ***Купчишин А.И.<sup>1,2</sup>, Комаров Ф.Ф.<sup>3</sup>, Лисицын В.М.<sup>4</sup>, Таипова Б.Г.<sup>2</sup> ..... 272***ВЛИЯНИЕ НЕЙТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕГИРОВАННЫХ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ СТРУКТУР***Махкамов Ш., Ташметов М.Ю., Саттиев А.Р., Эрдонов М.Н., Холмедов Х.М. .... 273***SURFACE AND STRUCTURE OF (ZrTi)(CN) NANOCOMPOSITE COATING***Tashmetov M.Yu., Yuldashova I.I., Abdurakhimov B.A. .... 274***РАДИАЦИОННОЕ РАСПУХАНИЕ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ АМГ-2 и САВ-1***Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Аликулов Ш.А., Ахмеджанов Ф.Р., Болтабаев А.Ф., Таджибаев Д.П. .... 275***ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОДА С ВЫСОКОЙ ЕМКОСТЬЮ ИЗ МАЛОСЛОЙНОГО ГРАФИТА***Чихрай Е.В.<sup>1</sup>, Абдуллин Х.А.<sup>2</sup>, Габдуллин М.Т.<sup>2</sup>, Исмаилов Д.В.<sup>2</sup>, Кенжина И.Е.<sup>1</sup> ..... 276***ПЕРВОПРИНЦИПНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОЙСТВ НИТРИДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ PU<sub>x</sub>U<sub>y</sub>N<sub>z</sub>***Лукоянов А.В. .... 276***РАСЧЕТНЫЕ ОЦЕНКИ СКОРОСТЕЙ НАРАБОТКИ <sup>3</sup>H, He В ЛИТНЕВОЙ КПС ПРИ ЕЕ ОБЛУЧЕНИИ НА РЕАКТОРЕ ИВГ.1М И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ТЕРМАЛИЗАЦИИ ИОНОВ***Прозорова И.В., Скаков М.К., Тажибаева И.Л., Кульсартов Т.В.)<sup>1</sup>, ..... 277*

<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ДЕТЕКТОРА ИЗ ОСОБО ЧИСТОГО ГЕРМАНИЯ</b> <i>Алейников Ю.В., Попов Ю.А., Прозорова И.В.</i> .....	278
<b>СТРУКТУРА, ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК CuOx, ПОЛУЧЕННЫХ ПИРОЛИЗОМ ГАЛОГЕНИДОВ МЕДИ</b> <i>Мигунова А.А., Антощенко В.С., Францев Ю.В.</i> .....	278
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ОБМЕНА ГАЗ-ТВЕРДОЕ ТЕЛО В ЦЕРАТАХ БАРИЯ И СТРОНЦИЯ</b> <i>Мунасбаева К.К.<sup>1</sup>, Ахьмет К.<sup>2</sup></i> .....	279
<b>REAL-TIME ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF MELTING IN REFRACTORY METALS INDUCED BY NANOSECOND PULSE LASER</b> <i>Utegulov Z.N., Abdullaev A., Muminov B., Rakhymzhanov A., Mynbayev N.</i> .....	280
<b>ULTRAFAST LASER OPTICAL STUDIES OF NEAR-SURFACE THERMAL CONDUCTIVITY IN INSULATORS IRRADIATED BY SWIFT AND HEAVY IONS</b> <i>Utegulov Z.N.<sup>1</sup>, Alimzhanov D.<sup>1</sup>, Muminov B.<sup>1</sup>, Abdullaev A.<sup>1</sup>, Koshkinbayeva A.<sup>1</sup>, Yakupov T.<sup>1</sup>, Tuigynbek A.<sup>1</sup>, Skuratov V.A.<sup>2,3,4</sup></i> .....	281
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ГАЗОВ С ГРАФИТОМ РЕАКТОРА ВТГР</b> <i>Кульсартов Т.В., Шестаков В.П., Чихрай Е.В., Кенжина И.Е., Аскербекев С.К.</i> .....	282
<b>ВЛИЯНИЕ ОБЛУЧЕНИЯ ИОНАМИ КИСЛОРОДА И АРГОНА НА ПРОВОДЯЩИЕ СВОЙСТВА ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННОГО ИТТРИЕМ (YSZ)</b> <i>Хромушин И.В., Аксенова Т.И.</i> .....	283
<b>3. RADIATION ECOLOGY AND METHODS OF ANALYSIS</b> .....	284
<b>URANIUM AND THORIUM DETERMINATION IN SEA SEDIMENT TAKEN FROM AZERBAIJAN SECTOR OF CASPIAN SEA</b> <i>Ahmadov M.M., Humberov F.Y. and Balayev V.S.</i> .....	285
<b>DETERMINATION OF RADIOACTIVITY LEVELS AND HAZARDS OF SOIL SAMPLES, TAKEN FROM OIL FIELD AREA NEAR TO BAKU</b> <i>Humberov F.Y., Ahmadov M.M., Balayev V.S. and Aslanova G.F.</i> .....	286
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЯНЫХ ТОПЛИВ</b> <i>Джаббарова Л.Ю., Мустафаев И. И.</i> .....	286
<b>DISTRIBUTION OF RADIONUCLIDES IN DIFFERENT ORGANS ZYGOPHYLLUM FABAGOO L.</b> <i>Aghayeva A.V., Qarayeva K.G., Jafarov E.S.</i> .....	287
<b>ВЛИЯНИЕ СОЛЕВОГО СТРЕССА НА ФЕРМЕНТНЫЕ КОМПОНЕНТЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ ЗАЩИТЫ КУКУРУЗЫ, СЕМЕНА КОТОРОЙ ПОДВЕРГЛИСЬ ПРЕДПОСЕВНОМУ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЮ ПРИ РАЗНЫХ ДОЗАХ</b> <i>Велиджанова М.З., Агаева А.В., Джафаров Э.С.</i> .....	289
<b>DEVELOPMENT OF Sr12(Eu)/MPPC/Raspberry-Pi—MODULE AS ANOTHER POTENTIAL BASIS FOR RADIATION MONITORING NETWORK</b> <i><sup>1</sup> Kimura Y., <sup>2</sup> Nagai S., <sup>3</sup> Kamakura Y., <sup>3</sup> Inoue Y., <sup>4</sup> Yoshii J., <sup>5</sup> Shimizu R. and <sup>6</sup> Gluchschenko V.N.</i> .....	290
<b>RADIOCARBON DATING OF FOSSIL WOOD AND CHARCOAL SAMPLES</b> <i>* Mammadov S.G., * Gurbanov M. A., * Dadashov Z.Kh., * Ahadov A.B.</i> .....	291
<b>LOW CARBON RADIATION-CHEMICAL TECHNOLOGY FOR HYDROGEN ENERGY</b> <i>Islam Mustafayev and Ayten Ahmedova</i> .....	292
<b>LONG-TERM MEASUREMENTS OF THE RADIATION EXPOSURE OF THE INHABITANTS OF RADIOACTIVELY CONTAMINATED REGIONS OF BELARUS. THE KORMA REPORT II (1998–2015)</b> <i>Petro Zoriy, Herbert. Dederichs, Jürgen Pillath, Peter Hill, Reinhard Lennartz, Burkhard Heuel-Fabianek</i> .....	292
<b>TESTING OF SR12(EU)/MPPC/CONTROLLER—MODULE AS A POTENTIAL BASIS FOR RADIATION MONITORING NETWORK</b> <i>Nagai S. (1), Kimura Y. (2), Yoshii J. (3), Shimizu R. (4), Ohta A. (5), Sato N. (5), and Gluchshenko V.N. (6)</i> .....	293
<b>RESULTS OF THE INTERNATIONAL REVIEWS ON THE STUDIES TO EXPLORE THE RADIOLOGICAL SITUATION IN VARIOUS PARTS OF THE FORMER NUCLEAR TEST SITE</b>	

Proehl G. <sup>1</sup>, S. Fesenko <sup>2</sup>, Joanne Brown <sup>3</sup>, Justin Brown <sup>4</sup>, V. Kashparov <sup>5</sup>, J.C. Mora Canadas <sup>6</sup>, P. McDonald <sup>7</sup>, Nielsen S.P. <sup>8</sup>, Sjoebloom K.L. <sup>9</sup> ..... 294

**РАЗРАБОТКА ПЕРСПЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ПОЧВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ И ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ**

Абдуллаев А.С., Шамилов Э.Н., Гасымова Г.Э. .... 295

**ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ В СИСТЕМЕ «ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ – ВОДА – РАСТЕНИЯ» ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Айдарханова А.К. <sup>1</sup>, Лукашенко С.Н. <sup>1</sup>, Ларионова Н.В. <sup>1</sup>, Полевик В.В. <sup>2</sup> ..... 296

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ УРАНА РАДИХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ АНАЛИЗА В ВОДАХ ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК КАЗАХСТАНА**

Аманова Г. Т. <sup>1,2</sup>, Кабирова Г.М. <sup>1</sup>, Солодухин В.П. <sup>1</sup>, Матвеева И.В. <sup>2</sup> ..... 297

**РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДНОГО И ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ОБРАЗЦОВ МХА АЛМАТИНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Амир Ж.А. <sup>1</sup>, Кабирова Г.М. <sup>1</sup>, Ленник С.Г. <sup>1</sup>, Ливенцова А.С. <sup>1</sup>, Павлов С.С. <sup>2</sup>, Силачев И.Ю. <sup>1</sup>, Солодухин В.П. <sup>1</sup>, Фронтасьева М.В. <sup>2</sup> ..... 297

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМА «КИШКЕНСОР» НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Актаев М.Р., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Айдарханов А.О., Пронин С.С. .... 298

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ВЕДЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ**

Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н. .... 299

**ПАРАМЕТРЫ ПЕРЕХОДА ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ <sup>137</sup>Cs, <sup>90</sup>Sr, <sup>241</sup>Am И <sup>239+240</sup>Pu В ОРГАНЫ И ТКАНИ КРУПНОРАГАТОГО СКОТА В УСЛОВИЯХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА**

Байгазы С.А., Байгазинов Ж.А., Паницкий А.В. .... 300

**ВЛИЯНИЕ ТЕПЛООВОГО РАЗБРОСА ПО СКОРОСТЯМ ИОНОВ НА АНАЛИТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ TOF MS НА БАЗЕ КЛИНОВИДНОГО ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ЗЕРКАЛА С 2D ПОЛЕМ**

Спивак-Лавров И.Ф. <sup>1</sup>, Байсанов О.А. <sup>2</sup>, Аманжол Е.А. <sup>1</sup> ..... 301

**ПРИНЦИПЫ И КРИТЕРИИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОАКТИВНЫХ АНОМАЛИЙ В ОБЪЕКТАХ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Бахур А.Е. .... 302

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ИЗ ГРУНТОВ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СИП**

Богатырёва Т.Ю., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н. .... 303

**STATISTIC METHODS FOR ASSESSMENTS OF RISKS AND DAMAGES AT NUCLEAR POWER PLANTS**

Alexander Valyaev <sup>1</sup>, Gurgun Aleksanyan <sup>2</sup>, Alexey Valyaev <sup>3</sup>, Oleg Arkhipkin <sup>4</sup> ..... 304

**МАСС-СПЕКТРОМЕТР МТИ-350ТМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УРАНА, ТРАНСУРАНОВ И МОКС ТОПЛИВА**

Кузьмин Д.Н. <sup>1</sup>, Савина Ж.А. <sup>1</sup>, Бородин А.В. <sup>1</sup>, Галль Л.Н. <sup>2</sup>, Галль Н.Р. <sup>1,2,3</sup> ..... 305

**ДОЗИМЕТРИЯ И МОНИТОРИНГ - ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ИНДУСТРИИ И ГРАЖДАН**

Бредихин Иван ..... 305

**РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ ПАУ НЕФТЯНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

<sup>1</sup> Гулиева Н.К., <sup>1</sup> Набизаде З.О., <sup>2</sup> Мустафаев И.И., <sup>2</sup> Сабзалиев С.А. .... 306

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СЕЛЕКТИВНЫХ СОРБЕНТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКИХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Егамедиев С.Х. .... 307

**ОЦЕНКА ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ЖИТЕЛЕЙ С. КАЛАЧИ ОТ ВНУТРЕННЕГО ПОСТУПЛЕНИЯ <sup>222</sup>Rn**

Жадыранова А.А., Шатров А.Н., Топорова А.В., Романенко Е.В. .... 308

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ТРИТИЯ В ГАЗОКОНДЕНСАТЕ ИЗ ПОЛОСТЕЙ ОБЪЕКТА "ЛИРА" МЕТОДОМ МОКРОГО СЖИГАНИЯ**

Желтов Д.А., Эдомская М.А., Быченко А.Н., Калиева А.К., Харкин П.В. .... 309

<b>РАЗВИТИЕ МЕТОДА УСКОРИТЕЛЬНОЙ МАСС СПЕКТРОМЕТРИИ НА УСКОРИТЕЛЕ УКП-2-1 ДЛЯ АНАЛИЗА УЛЬТРА НИЗКИХ СОДЕРЖАНИЙ ИЗОТОПА PU-239</b>	
<i>Горлачев И.Д., Глущенко Н.В., Киреев А.В., Платов А.В.</i>	310
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОЧВЕННЫХ МИКРОГРИБОВ ЧЕРНОБЫЛЬСКОГО ПРОИХОЖДЕНИЯ С ТОПЛИВОСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ</b>	
<i>Желтоножская М.В.<sup>1</sup>, Желтоножский В.А.<sup>2</sup>, Тугай А.В.<sup>3</sup>, Тугай Т.И.<sup>3</sup>, Черняев А.П.<sup>1</sup></i>	310
<b>ИДЕНТИФИКАЦИЯ РАДИОНУКЛИДНЫХ ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЗЪЯТЫХ ИЗ НЕЗАКОННОГО ОБОРОТА В ВОСТОЧНОМ РЕГИОНЕ УКРАИНЫ</b>	
<i>Кутний Д.В., Ванжа С.А., Медведев А.В., Белкин Ф.В., Зима Г.В.</i>	311
<b>ИНТЕГРАТИВНЫЙ ПОДХОД К ВОПРОСАМ РАДИОЭКОЛОГИИ И НЕРАСПРОСТРАНЕНИЯ</b>	
<i>Зима Г.В.</i>	312
<b>ИЗУЧЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ НЕЙТРОННО-АКТИВАЦИОННОГО АНАЛИЗА СОСТАВА НЕРАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПРОБАХ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И НАЗЕМНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ИЗ АТМОСФЕРЫ</b>	
<i>Андреев А.В.<sup>1</sup>, Бурмистров Ю.М.<sup>1</sup>, Зуев С.В.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Мордовской М.В.<sup>1</sup>, Плетников Е.В.<sup>2</sup></i>	313
<b>ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕДЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ВБЛИЗИ ОБЪЕКТА «УКРЫТИЕ» ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АЭС</b>	
<i>Бондарьков Д.М.<sup>1</sup>, Кулич Н.В.<sup>1</sup>, Желтоножская М.В.<sup>2</sup>, Черняев А.П.<sup>2</sup></i>	313
<b>LASER SPECTROSCOPY AND DETECTION OF ACTINIDES/LANTHANIDES IN BIOLOGICAL SAMPLES</b>	
<i>Izosimov I.N.</i>	314
<b>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВОДНОГО МОНИТОРИНГА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ СИП</b>	
<i>Искенов А.О., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Ляхова О.Н., Актаев М.Р.</i>	315
<b>РАДИАЦИОННЫЙ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПРОБ АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЕЙ И НАЗЕМНЫХ ВЫПАДЕНИЙ ИЗ АТМОСФЕРЫ</b>	
<i>Андреев А.В.<sup>1</sup>, Афонин А.А.<sup>1</sup>, Бурмистров Ю.М.<sup>1</sup>, Зуев С.В.<sup>1</sup>, Конобеевский Е.С.<sup>1</sup>, Плетников Е.В.<sup>2</sup></i>	315
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ПО ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИМ ФРАКЦИЯМ ПОЧВ В РАЙОНЕ ШТОЛЕН С ВОДОПРОЯВЛЕНИЯМИ НА ПЛОЩАДКЕ «ДЕГЕЛЕН» СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b>	
<i>Кабдыракова А.М., Меньдубаев А.Т. и Лукашенко С.Н.</i>	316
<b>РАДИОАКТИВНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ СОСНОВОГО БОРА ПРИИРТЫШЬЯ В ОТДАЛЕННЫЙ ПЕРИОД ПОСЛЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ НА СИП</b>	
<i>Каменова И.Н., Ларионова Н.В., Айдарханов А.О., Лукашенко С.Н.</i>	317
<b>СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ В ОРГАНЫ И ТКАНИ ДОМАШНИХ СВИНЕЙ И ДИКИХ КАБАНОВ</b>	318
<i>Каратаев С.С., Байгазинов Ж.А., Паницкий А.В.</i>	318
<b>ОЦЕНКА ВАРИАТИВНОСТИ ПЕРЕХОДА РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОДУКЦИЮ ОВЦЕВОДСТВА В УСЛОВИЯХ ШИРОКОГО СПЕКТРА РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СИП</b>	
<i>Кенесарин Б.А., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н.</i>	319
<b>ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ РАСТЕНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ГЛУБИННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ КОРНЕОБИТАЕМОГО СЛОЯ</b>	
<i>Ким В.С., Ларионова Н.В., Лукашенко С.Н.</i>	320
<b>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СУММАРНОЙ АЛЬФА И БЕТА-АКТИВНОСТЕЙ В ВОДНЫХ ПРОБАХ</b>	
<i><sup>1,2</sup> Ким В.И., <sup>2</sup> Матвеева И.В., <sup>1</sup> Мирхаджи Д.В., <sup>1</sup> Солодухин В.П.</i>	321
<b>РАДИАЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ И РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ</b>	
<i>Кадырова Э.М., Рустамова У.Н., Гаджиева Х.Ф., Рафиева Х.Л.</i>	321
<b>ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ ПЛОДОВЫМИ И ЯГОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ</b>	
<i>Кожаханов Т.Е., Лукашенко С.Н., Ларионова Н.В.</i>	322
<b>ХАРАКТЕР РАДИОНУКЛИДНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПЛОЩАДКИ «САРЫ УЗЕНЬ»</b>	
<i>Кривицкий П.Е., Лукашенко С.Н., Умаров М.А.</i>	323
<b>ХАРАКТЕР РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ НА СИП И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ</b>	
<i>Круглыхин А.А., Турченко Д.В., Ляхова О.Н.</i>	323



<b>ФОРМЫ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПОЧВАХ МЕСТА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСКАВАЦИОННОГО ВЗРЫВА НА СИП ("АТОМНОЕ" ОЗЕРО)</b> <i>Кундузбаева А.Е., Лукашенко С.Н.</i> .....	324
<b>RADIOECOLOGICAL LIMITS OF CHRONIC EXPOSURE</b> <i>Kudryashev V.A., Sokolenko E.K., Kosmytnina A.M.</i> .....	325
<b>ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ЕСТЕСТВЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b> <i>Ларионова Н.В., Ляхова О.Н., Сержанова З.Б., Тимонова Л.В., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.</i> .....	326
<b>ТРИТИЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ СИП: УРОВНИ, ИСТОЧНИКИ И МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ</b> <i>Ляхова О.Н., Лукашенко С.Н., Тимонова Л.В., Сержанова З.Б., Турченко Д.В., Ларионова Н.В.</i> .....	327
<b>ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ <sup>137</sup>Cs И <sup>241</sup>Am В ОРГАНИЗМЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПТИЦЫ</b> <i>Мамырбаева А.С., Байгазинов Ж.А., Лукашенко С.Н., Паницкий А.В., Каратаев С.С., Байгазы С.А.</i> .....	327
<b>RADIECOLOGICAL INVESTIGATION OF THERMAL WATER IN KUR-ARAZ LOWLAND</b> <i>Mikayilova A.C.</i> .....	328
<b>RADIOLOGICAL PROBLEMS OF TRITIUM: REASONS, NEEDS AND APPROACHES TO HARMONIZATION OF TRITIUM STANDARDS BETWEEN THE CIS COUNTRIES AND LEADING NUCLEAR STATES</b> <i>Synzynys B.I.<sup>1</sup>, Motot O.A.<sup>1</sup>, Katkova M.N.<sup>2</sup></i> .....	329
<b>АДАПТАЦИЯ АЛАНИНОВОЙ ЭПР-ДОЗИМЕТРИИ К УСЛОВИЯМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЛУЧЕНИЙ ЭЛЕКТРОНАМИ В ИЯФ РК</b> <i>Рухин А.Б., Середавина Т.А., Сушкова Н.С., Мукан Ж.Т.</i> .....	329
<b>ВЛИЯНИЕ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ В ЛУГОВЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА</b> <i><sup>1</sup> Плисак Р.П., <sup>2</sup> Полевик В.В.</i> .....	330
<b>ОТНОШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ РАДИОНУКЛИДОВ ДЛЯ ДИКИХ ЖИВОТНЫХ, ОБИТАЮЩИХ В МЕСТАХ ИСПЫТАНИЯ ЯДЕРНОГО ОРУЖИЯ</b> <i>Паницкий А.В., Лукашенко С.Н., Кадырова Н.Ж.</i> .....	331
<b>ИЗБИРАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ РАСТЕНИЙ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА К НАКОПЛЕНИЮ ДОЛГОЖИВУЩИХ РАДИОНУКЛИДОВ</b> <i>Плисак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Новикова Н.М.<sup>3</sup>, Вернер Д.<sup>4</sup></i> .....	332
<b>О ВЛИЯНИИ Am<sup>241</sup> И Eu<sup>152-154</sup> НА ФОРМИРОВАНИЕ ЗОНАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА</b> <i>Плисак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Полевик В.В.<sup>3</sup></i> .....	333
<b>О ФОРМИРОВАНИИ ПОДЗЕМНОЙ ЧАСТИ РАСТЕНИЙ-ДОМИНАНТОВ В ЗОНАЛЬНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА В УСЛОВИЯХ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ</b> <i>Плисак Р.П.<sup>1</sup>, Полевик В.В.<sup>2</sup>, Аралбай Н.К.<sup>3</sup></i> .....	334
<b>ОСОБЕННОСТИ РАЗВИТИЯ КОРНЕВЫХ СИСТЕМ РАСТЕНИЙ-ДОМИНАНТОВ В ГАЛОФИТНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА ПРИ НИЗКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ</b> <i>Плисак Р.П.</i> .....	335
<b>ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ Cs<sup>137</sup> И β - ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ СОСТАВА, СТРУКТУРЫ И НАДЗЕМНОЙ БИОМАССЫ ЛУГОВЫХ ЦЕНОЗОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА</b> <i>Плисак Р.П.<sup>1</sup>, Аралбай Н.К.<sup>2</sup>, Полевик В.В.<sup>3</sup></i> .....	336
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ПУТЕЙ ПОСТУПЛЕНИЯ ТРИТИЯ В РАСТЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ HELIANTHUS ANNUS</b> <i>Поливкина Е.Н., Ларионова Н.В., Ляхова, О.Н., Лукашенко С.Н.</i> .....	337
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА С. КАЛАЧИ</b> <i>Садыков Р.А., Субботин С.Б., Романенко В.В., Лукашенко С.Н.</i> .....	338
<b>РАСТЕНИЯ – ИНДИКАТОРЫ РАДИАЦИОННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ</b> <i>Аралбай Н.К.<sup>1</sup>, Плисак Р.П.<sup>2</sup>, Новикова Н.М.<sup>3</sup></i> .....	338
<b>РАЗРАБОТКА МЕТОДОЛОГИИ ИССЛЕДОВАНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД НА ПРИМЕРЕ ПЛОЩАДКИ «САРЫ-УЗЕНЬ»</b>	

<i>Пронин С.С., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Актаев М.Р., Субботин С.Б.</i> .....	339
<b>СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ КАЛАЧИ И ДОЛОНЬ</b>	
<i>Романенко В.В., Гарбуз Ю.В., Умаров М.А., Лукашенко С.Н., Айдарханов А.О., Субботин С.Б., Койгельдинова М., Турченко Д.В.</i> .....	340
<b>ОБ ИЗМЕРЕНИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ В- И У-ИЗЛУЧАТЕЛЕЙ В МОРСКОЙ ВОДЕ</b>	
<i>Сапожников Ю.А.<sup>1</sup>, Травкина А.В.<sup>2</sup></i> .....	341
<b>ОПТИМИЗАЦИЯ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ПРОБАХ ПОЧВ И ДОННЫХ ОСАДКОВ</b>	
<i>Сапожников Ю.А.<sup>1</sup>, Травкина А.В.<sup>2</sup>, Сапожникова Л.Д.<sup>1</sup></i> .....	342
<b>МОДЕЛИРОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫБРОСОВ РАДИОНУКЛИДОВ НА ПРИМЕРЕ РУ БН - 350</b>	
<i>Макарова В.А., Севериненко М.А., Полешко А.Н., Космынина А.М.</i> .....	343
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОМ ЭПР ПРИМЕСНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В УГЛЕВОДОРОДНЫХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ИСКОПАЕМЫХ РК</b>	
<i>Середавина Т.А., Рухин А.Б., Сушкова Н.С., Мукан Ж.К.</i> .....	343
<b>КОМПЛЕКСНОЕ РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА (2009-2016)</b>	
<i>Стрильчук Ю.Г., Лукашенко С.Н.</i> .....	344
<b>РАЗРАБОТКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «КАРАЖЫРА»</b>	
<i>Субботин С.Б.<sup>1</sup>, Лукашенко С.Н.<sup>1</sup>, Зеленский К.Л.<sup>1</sup>, Романенко В.В.<sup>1</sup>, Мельничук М.А.<sup>1</sup>, Супрунов В.И.<sup>1</sup>, Тюрин В.М.<sup>2</sup></i> .....	345
<b>МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТРИТИЯ В ПОЧВАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b>	
<i>Сержанова З.Б., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.</i> .....	345
<b>К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНЫХ ПРИЧИНАХ, ВЛИЯЮЩИХ НА ГАЗОВЫЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В СЕЛЕ КАЛАЧИ</b>	
<i>Супрунов В.И., Субботин С.Б.<sup>1</sup>, Зеленский К.Л., Романенко В.В., Мельничук М.А.</i> .....	346
<b>МЕТОДЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ АНАЛИЗАТОРОВ СТАТИЧЕСКИХ МАСС-СПЕКТРОМЕТРОВ</b>	
<i>Спивак-Лавров И.Ф.<sup>1</sup>, Байсанов О.А.<sup>2</sup>, Аманжол Е.А.<sup>1</sup></i> .....	347
<b>ОЦЕНКА ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ ИНКОРПОРИРОВАННЫМИ РАДИОНУКЛИДАМИ С ПОМОЩЬЮ УСТАНОВКИ СИЧ-Э</b>	
<i>Тарита В.А., Фирсанов В.Б.</i> .....	348
<b>ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТРИТИЯ В ПОЧВЕ НА РАДИАЦИОННО-ОПАСНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b>	
<i>Тимонова Л.В., Ляхова О.Н., Кабдыракова А.М., Лукашенко С.Н.</i> .....	349
<b>ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ИЗОТОПНОЙ ГИДРОЛОГИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЗМОВ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b>	
<i>Токтаганов Т.Ш., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н., Актаев М.Р.</i> .....	350
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФОРМ НАХОЖДЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ МЕМБРАННОЙ ФИЛЬТРАЦИИ</b>	
<i>Торопов А.С., Айдарханова А.К., Лукашенко С.Н.</i> .....	351
<b>РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД РАЗНОГО ГЕНЕЗИСА В РАЙОНЕ БЫВШЕГО УРАНОВОГО РУДНИКА КАДЖИСАЙ (КЫРГЫЗСКАЯ РЕСПУБЛИКА)</b>	
<i>Тузова Т.В.</i> .....	352
<b>ВЫЯВЛЕНИЕ УЧАСТКОВ ТРИТИЕВОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ТРИТИЕВОЙ СЪЕМКИ СНЕЖНОГО ПОКРОВА</b>	
<i>Турченко Д.В., Лукашенко С.Н., Ляхова О.Н.</i> .....	353
<b>ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТОВ ПО РАДИОЭКОЛОГИИ</b>	
<i>Филиппова Л.Н., Моренко В.С., Сляднева В.Н., Суздальцева Т.В.</i> .....	354

<b>МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЛЕЙ ФОТОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ПО МОЩНОСТИ ДОЗЫ ОТ 0,03 МКЗВ/Ч С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЛОКОВ-КОМПАРАТОРОВ</b>	
<i>Лукашевич Р.В., Гузов В.Д., Верхуша Ю.А., Кожемякин В.А.</i> .....	355
<b>РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb В ОТДЕЛЬНЫХ ПРОБАХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ</b>	
<sup>1,2</sup> <i>Хусаинов Д.К., <sup>1,2</sup> Аманова Г.Т., <sup>1</sup> Солодухин В.П., <sup>2</sup> Матвеева И.В.</i> .....	356
<b>УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ <sup>210</sup>Po, <sup>210</sup>Pb В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ АЛЬФА-БЕТА-РАДИОХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ РАДИОХИМИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКОЙ</b>	
<sup>1,2</sup> <i>Хусаинов Д.К., <sup>1,2</sup> Аманова Г.Т., <sup>1</sup> Солодухин В.П., <sup>2</sup> Матвеева И.В.</i> .....	357
<b>ОЦЕНКА РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖИТЕЛЕЙ П. ДОЛОНЬ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ДОЗИМЕТРИИ С УЧЕТОМ ИХ РАДИОЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ</b>	
<i>Чередниченко О.Г., Пилюгина А.Л.</i> .....	358
<b>ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ ИСКУССТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ НЕКОТОРЫМИ ВИДАМИ ГРИБОВ В СОСНОВОМ БОРУ ПРИИРТЫШЬЯ</b>	
<i>Шевченко Ю.С. <sup>1</sup>, Ларионова Н.В. <sup>1</sup>, Полевик В.В. <sup>2</sup>, Айдарханов А.О. <sup>1</sup>, Лукашенко С.Н. <sup>1</sup></i> .....	359
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ АНАТОМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАСТЕНИЙ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ИСПЫТАТЕЛЬНОМ ПОЛИГОНЕ</b>	
<i>Янкаускас А.Б., Ларионова Н.В., Шатров А.Н.</i> .....	360
<b>IMPACT OF BN-350 DISCHARGES ON CONTAMINATION OF THE CASPIAN SEA</b>	
<sup>1</sup> <i>Gluchshenko V., <sup>3</sup> DeMuth S., <sup>1</sup> Poleshko A., <sup>2</sup> Ivanov A., <sup>2</sup> Yakovlev I., <sup>1</sup> Kharkin P., <sup>1</sup> Gluchshenko G., <sup>1</sup> Matiyenko L.</i> .....	361
<b>RADIO-ECOLOGICAL SITUATION IN THE REGION OF THE REACTOR BN-350</b>	
<sup>1</sup> <i>Gluchshenko V., <sup>1</sup> Chakrov P., <sup>2</sup> Yakovlev I., <sup>3</sup> DeMuth S., <sup>1</sup> Morenko V., <sup>1</sup> Kharkin P., <sup>1</sup> Gluchshenko G., <sup>1</sup> Matiyenko L.</i> .....	361
<b>STUDY OF RADIOACTIVE CONTAMINATION OF THE AIR ENVIRONMENT RESULTED FROM OPERATION OF THE REACTOR BN-350</b>	
<sup>1</sup> <i>Gluchshenko V., <sup>1</sup> Serikbayeva Z., <sup>3</sup> DeMuth S., <sup>1</sup> Poleshko A., <sup>1</sup> Morenko V., <sup>2</sup> Ivanov A., <sup>2</sup> Yakovlev I., <sup>1</sup> Gluchshenko G., <sup>1</sup> Matiyenko L.</i> .....	362
<b>HALLENGES IN THE DEVELOPMENT OF NOVEL PERSONAL DOSEMETERS</b>	
<i>Koguchi Y. <sup>1*</sup>, Shinozaki W. <sup>1</sup>, Negishi K. <sup>1</sup>, Takeuchi N. <sup>1</sup>, Yamaguchi K. <sup>1</sup>, Usseinov A. <sup>2</sup>, Chakrov P. <sup>2</sup>, Gluchshenko V. <sup>2</sup>, Sidorenko S. <sup>2</sup>, Kenzhin Y. <sup>2</sup></i> .....	363
<b>ДАТЧИКИ РАДИАЦИИ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СОСТАВЕ БЕСПИЛОТНЫХ СИСТЕМ АЭРОГАММА-СЪЕМКИ</b>	
<i>Кожемякин В.А. <sup>1</sup>, Полищук В.П. <sup>2</sup></i> .....	364
<b>ORTEC SPECIALTY AND CUSTOMIZED SOLUTIONS FOR NUCLEAR PHYSICS</b>	
<i>Geurkov G.</i> .....	364
<b>АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ПОВЕРОЧНЫЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ МЕТРОЛОГИИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ</b>	
<i>Гузов В.Д., Кожемякин В.А., Николаев В.А., Раскоша В.Л., Сеньковский К.Г., Храмов В.В.</i> .....	365
<b>НЕЗАВИСИМАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА РАДИАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ</b>	
<i>Новик А.Н. <sup>1</sup>, Кучинский П.В. <sup>1</sup>, Кожемякин В.А. <sup>2</sup>, Быстров Е.В. <sup>2</sup></i> .....	366
<b>ОБСЛЕДОВАНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ ОБЪЕКТОВ «ЛИРА» НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ</b>	
<i>Тиванова О.В., Ермаков Е.Л., Акылбек Н.М., Урманов Р.Р.</i> .....	366
<b>НОВЫЕ СЕРИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ДЕТЕКТОРОВ НА ОЧГ ОТ ФИРМЫ ORTEC</b>	
<i>Покровский И.В.</i> .....	367
<b>СОВРЕМЕННЫЕ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ CANBERRA</b>	
<i>Ртищев В.</i> .....	368
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЯ <sup>90</sup>Sr/<sup>137</sup>Cs НА ОБЪЕКТАХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ «ОПЫТНОЕ ПОЛЕ»</b>	
<i>Бакланова Ю.В., Лукашенко С.Н., Каширский В.В.</i> .....	368

<b>РЕЗУЛЬТАТЫ МЕЖЛАБОРАТОРНОГО СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ОБРАЗЦОВ КОНЦЕНТРАТА УРАНОВОЙ РУДЫ СУР-2 ДЛЯ ЯДЕРНОЙ КРИМИНАЛИСТИКИ</b>	
<i>Кипс Р. <sup>1</sup>, Линдвэлл Р. <sup>1</sup>, Эпих Г. <sup>1</sup>, Кристо М. <sup>1</sup>, Глуценко В. <sup>2</sup>, Чакиров П. <sup>2</sup>, Окубо А. <sup>3</sup>, Оуджос К. <sup>4</sup></i>	369
<b>THE PROBLEM OF RADIOECOLOGY IN THE TERRITORY OF FORMER URANIUM PRODUCTION (KYRGYZ REPUBLIC)</b>	
<i>Djenbaev B.M., Zholboldiev B.T., Kaldibaev B.K., Karmisheve Y.</i>	370
<b>4. NUCLEAR AND RADIATION METHODS IN MEDICINE AND INDUSTRY</b>	371
<b>DEVELOPMENT OF QUALITY CONTROL OF THE DO3A-NBI-56418 LABELED BY <sup>177</sup>Lu FOR THERANOSTIC GOALS OF TRIPLE NEGATIVE CANCER WITH USING PAPER CHROMATOGRAPHY</b>	
<i>Gurin A.N. <sup>2,3</sup>, Patrick J Riss <sup>1</sup>, Chakrova E.T. <sup>2</sup>, Uralbekov B.M. <sup>3</sup></i>	372
<b>SILICON BASED MICROPIXEL AVALANCHE PHOTODIODES FOR IONIZATION PARTICLES</b>	
<i>Ahmadov G.S. <sup>a,b,c</sup>, Ahmadov F.I. <sup>b,c</sup>, Kopatch Yu.N. <sup>a</sup>, Berikova D., Nuriyev S.M. <sup>a,b</sup>, Akbarov R. <sup>a,c</sup>, Sadigov A.Z. <sup>b,c</sup>, Sadygov Z.Y. <sup>a,c</sup>, Suleymanov S.S. <sup>b</sup>, Heydarov N. <sup>b</sup>, Valiyev R. <sup>b</sup>, Nazarov M. <sup>b</sup>, Madatov R. <sup>b</sup>, Garibov A.A. <sup>c</sup></i>	372
<b>APPLICATION OF DIFFUSION OF CESIUM ATOMS ON RHENIUM (10<sup>-10</sup>)-C COATED BY GRAPHITE MONOLAYER TO RADIATION TECHNOLOGIES</b>	
<i>Orudjov A.K., Rahimzade S.Q. *</i>	373
<b>NEUTRON ACTIVATION ANALYSIS OF HIGH PURITY NANOCRYSTALLINE SILICON CARBIDE (3C-SiC) PARTICLES</b>	
<i>Elchin M. Huseynov</i>	374
<b>NEW CHALLENGE FOR INDUSTRIAL DEVELOPMENT AND SCIENCE/TECHNOLOGY CREATION WITH WWR-K REACTOR</b>	
<i>Kanazawa H. <sup>*1</sup>, Shaimerdenov A. <sup>*2</sup>, Yoshida K. <sup>*1</sup>, Chakrov P. <sup>*2</sup>, Ishii T. <sup>*1</sup>, Gizatulin S. <sup>*2</sup>, Nitta H. <sup>*1</sup>, Romanova N. <sup>*2</sup>, Kawachi Y. <sup>*1</sup>, Maksimkin O. <sup>*2</sup>, Kawamura H. <sup>*1</sup>, Yamaguchi K. <sup>*1</sup>, Kenzhin Y. <sup>*2</sup></i>	375
<b>ВАЛИДАЦИЯ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕАКТИВНЫХ ПРИМЕСЕЙ В РАДИОФАРМПРЕПАРАТАХ МЕТОДОМ АТОМНО-ЭМИССИОННОЙ СПЕКТРОМЕТРИИ НА ПРИБОРЕ «SPECTRO GENESIS»</b>	
<i>Медведева З.В., Чакурова Е.Т., Афанасьева Н.Н., Вишнякова И.Г., Быстряков Ю.К., Солонинкина С.Г., Гурин А.Н.</i>	375
<b>ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО КУЛОНОВСКОГО РАССЕЯНИЯ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ БИОЛОГИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРАПИИ ТЯЖЕЛЫХ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ</b>	
<i>Долгополов М.А. <sup>1</sup>, Забелин М.В. <sup>2</sup>, Щелухина Е.В. <sup>3</sup></i>	376
<b>ВЛИЯНИЕ НАЧАЛЬНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПОЛИХЛОРБИФЕНИЛОВ НА ИХ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ В РАСТВОРЕ С ГЕКСАНОМ</b>	
<i>Абдуллаев Э.Т., Джамалов П.Дж., М.А. Курбанов М.А.</i>	377
<b>ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КИНЕТИКУ ПРОРАСТАНИЯ КЛУБНЕЙ КАРТОФЕЛЯ</b>	
© 2017 <i>Авдюхина В.М., Близнюк У.А., Борщоговская П.Ю., Бусленко А.В., Еланский С.Н., Илюшин А.С., Кондратьева Е.Г., Левин И.С., Синицын А.П., Студеникин Ф.Р., Черняев А.П.</i>	378
<b>ДЕЙСТВИЕ РАДИАЦИИ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ СТОЙКОСТЬ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, СОЗДАННЫХ НА ОСНОВЕ ПЛЕНОК СПЛАВОВ Si</b>	
<i>Наджафов Б.А., Абдуллаев Х.Ш., Исмаилова С.М.</i>	378
<b>ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ РАДИОНУКЛИДА КОБАЛЬТ-57 НА СУЛЬФИДНЫХ СОРБЕНТАХ</b>	
<i>Егамедиев С.Х., Нурбаева Д.А., Мухамедов М.М.</i>	380
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ IN-SITU ГАММА-СПЕКТРОМЕТРИИ ПРИ ТЕСТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ <sup>99m</sup>Tc</b>	
<i>Карнаухо И.М., Михайлов В.А., Борц Б.В., Ушаков И.В., Кутный Д.В., Ванжа С.А., Гриво А.Г., Стомин В.Л., Белкин Ф.В., Зима Г.В., Медведев А.В.</i>	381
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АННИГИЛЯЦИОННЫХ ФОТОНОВ ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДОЗЫ В ЛУЧЕВОЙ ТЕРАПИИ</b>	
<i>Варзарь С.М., Лыкова Е.Н., Морозова Е.П., Синельников А.Г., Черняев А.П.</i>	382
<b>ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЯДЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ СЛИТКОВ КРЕМНИЯ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА РЕАКТОРЕ ИВВ-2М</b>	
<i>Дьяков А.А., Козлов А.В., Марков Д.В., Толстоухов И.И., Хвостов С.С.</i>	382
<b>МОДЕРНИЗАЦИЯ РАДИАЦИОННЫХ МЕТОДОВ СТЕРИЛИЗАЦИИ БИОИМПЛАНТАТОВ</b>	

Розанов В.В. <sup>1,2</sup>, Матвейчук И.В. <sup>2</sup>, Черняев А.П. <sup>1</sup>, Никитина З.К. <sup>2</sup>, Гордонова И.К. <sup>2</sup>, Литвинов Ю.Ю. <sup>2</sup>, Лыкова Е.Н. <sup>1</sup> ..... 383

**МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ, ПОЛУЧАЕМОЙ КОСТНЫМ ИМПЛАНТАТОМ ПРИ РАДИАЦИОННОЙ СТЕРИЛИЗАЦИИ**

Розанов В.В. <sup>1,2</sup>, Николаева А.А. <sup>1</sup>, Черняев А.П. <sup>1</sup>, Матвейчук И.В. <sup>2</sup>, Белоусов А.В. <sup>1</sup>, Юров Д.С. <sup>1</sup> ..... 384

**INFLUENCE OF THE IRRADIATION TEMPERATURE ON THE CHARACTER OF RADIATION STRUCTURING OF BUTADIENE-NITRILIC RUBBER SKN-26**

Akhundzada H.N., Mammadov Sh.M., Samadov O.A. .... 384

**ФОРМИРОВАНИЕ ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КАЧЕСТВА В СООТВЕТСТВИИ С ТРЕБОВАНИЯМИ GMP ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА РФП**

Зелинская Е.В. .... 385

**КВАЛИФИКАЦИЯ ОБОРУДОВАНИЯ**

Зелинская Е.В. .... 386

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛИЧЕСТВА ВОДОРОДА В ПЛЕНКАХ СПЛАВОВ Si**

Наджафов Б.А., Абдуллаев Х.Ш., Сафарова В.М. .... 387

**ПРИМЕНЕНИЕ РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЕЛ ОТ ХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ**

Искендерова З.И., Джаваниширова А.А., Курбанов М.А. .... 388

**PRECISION INFRARED HEAT DISSIPATION MONITOR FOR TRANSPORTATION OF RADIOACTIVE MATERIALS**

Maltsev A. <sup>1</sup>, Golubev V. <sup>2</sup>, Maltseva M. <sup>2</sup> ..... 388

**ПРОГРАММА РАСЧЕТА АКТИВНОСТЕЙ И РАДИОИЗОТОПНЫХ ПРИМЕСЕЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЦИКЛОТРОННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ**

Артемов С.В. <sup>1,2</sup>, Умеров Р.А. <sup>2</sup>, Ходиев А.Х. <sup>2</sup> ..... 389

**ПРОИЗВОДСТВО СВОБОДНОГО ИТТЕРБИЯ-175 ФОТОЯДЕРНЫМ МЕТОДОМ**

<sup>1</sup> Дикий Н.П., <sup>1</sup> Довбня А.Н., <sup>1</sup> Ляшко Ю.В., <sup>1</sup> Медведева Е.П., <sup>1</sup> Медведев Д.В., <sup>1</sup> Уваров В.Л., <sup>2</sup> Федорец И.Д. .... 389

**РАДИАЦИОННАЯ ВУЛКАНИЗАЦИЯ ГИДРИРОВАННОГО БУТАДИЕН-НИТРИЛЬНОГО КАУЧУКА**

Годжаева Т.Ф., Ханкишиева Р.Ф., Ахунзаде Г.Н., Аббаслы А.А., Мамедов Ш.М. .... 390

**РАДИАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС НА БАЗЕ УСКОРИТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНОВ "ЭЛЕКТРОНИКА У-003"**

Таиметов М.Ю., Исмаатов Н.Б. .... 391

**RADIATION-CHEMICAL MODIFICATION OF ETHYLENE-PROPYLENE ELASTOMERS WITH LOW-MOLECULAR REACTIVE COMPOUNDS**

Rzaeva S.V. <sup>1</sup>, Akhmadov E.N. <sup>1</sup>, Mammadov Sh.M. <sup>2</sup>, Akhundzada H.N. <sup>2</sup>, Mammadova R.R. <sup>2</sup> ..... 392

**РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЦВЕТОВОГО ИНДИКАТОРА ПОГЛОЩЕННОЙ ДОЗЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ЭПИТЕПЛОВЫХ НЕЙТРОНОВ**

Кулабдуллаев Г.А., Ким А.А., Небесный А.Ф., Абдуллаева Г.А., Джураева Г.Т., Сайтджанов Ш.Н. .... 392

**ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ МОДУЛЯ СИНТЕЗА «SYNTHRA RN PLUS» В ПРОИЗВОДСТВЕ РФП НА ОСНОВЕ <sup>18</sup>F**

Кулаков А.В., Чакрова Е.Т. .... 393

**РАДИАЦИОННО-ХИМИЧЕСКИЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ НИЗКОМОЛЕКУЛЯРНЫХ ОРГАНИЧЕСКИХ КИСЛОТ В ВОДНОЙ СРЕДЕ**

Кулиева У.А., Курбанов М.А., Абдуллаев Э.Т. .... 394

**РЕВЕРСНО-ТАНДЕМНЫЕ СХЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАДИОНУКЛИДНЫХ ГЕНЕРАТОРОВ**

Философов Д.В. .... 395

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ ОРГАНЕЛЛ БИОЛОГИЧЕСКОЙ КЛЕТКИ И РАДИОГЕННЫХ ХРОМОСОМНЫХ АБЕРРАЦИЙ**

Бияшева З.М. <sup>1</sup>, Нуркасова А.Е. <sup>2</sup>, Дьячков В.В. <sup>2</sup>, Зарипова Ю.А. <sup>2</sup>, Юшков А.В. <sup>2</sup>, Шакиров А.Л. <sup>2</sup> ..... 395

**TECHNOLOGICAL ASPECTS OF RADIATION PURPOSE OF THE NEOPRENE W**

Asadova A.A., Mammadov Sh.M., Khankisiyeva R.F., Akhundzada H.N., Aslanli Z.A. .... 396

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА <sup>123</sup>I И <sup>124</sup>I НА ЦИКЛОТРОНЕ ТПУ**

<i>Большаков А.М., Гаранацкий А.А., Головков В.М., Салодкин С.С., Семенов А.С. ....</i>	<i>397</i>
<b>РАЗРАБОТКА РАДИОФАРМПРЕПАРАТОВ В ТОМСКЕ ДЛЯ МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКИ В ОНКОЛОГИИ</b>	
<i>Нестеров Е.А.<sup>1,2</sup>, Скуридин В.С.<sup>1</sup>, Ильина Е.А.<sup>1</sup>, Стасюк Е.С.<sup>1</sup>, Варламова Н.В.<sup>1</sup>, Садкин В.Л.<sup>1</sup>, Рогов А.С.<sup>1</sup>, Ларионова Л.А.<sup>1</sup>, Чернов В.И.<sup>3</sup> .....</i>	<i>398</i>
<b>СИНТЕЗ ПРОТОНООБМЕННОЙ МЕМБРАНЫ ИЗ ПОЛИВИНИЛИДЕНФТОРИДА ДЛЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ</b>	
<i>Сохорева В.В.<sup>1</sup>, Дюсембекова А.А.<sup>1,2</sup>, Головков В.М.<sup>1</sup> .....</i>	<i>399</i>
<b>СОРБЕНТЫ ДЛЯ РАДИОХИМИЧЕСКОГО ВЫДЕЛЕНИЯ И ПОЛУЧЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ГЕРМАНИЙ-68 И ГАЛЛИЙ-68</b>	
<i>Егамедиев С.Х., Хужаев С. ....</i>	<i>400</i>
<b>СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА В ЯДЕРНОЙ МЕДИЦИНЕ</b>	
<i>Толстоухов С.С. ....</i>	<i>400</i>
<b>СХЕМА РАЗДЕЛЕНИЯ <sup>225</sup>Ac ИЗ ОБЛУЧЕННЫХ ТОРИЕВЫХ МИШЕНЕЙ</b>	
<i>Баймуханова А.Е.<sup>1,2</sup>, Радченко В.И.<sup>3</sup>, Философов Д.В.<sup>2</sup> .....</i>	<i>401</i>
<b>ФОТОЯДЕРНЫЙ МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ F-18</b>	
<i><sup>1</sup> Дикий Н.П., <sup>1</sup> Довбня А.Н., <sup>1</sup> Ляшко Ю.В., <sup>1</sup> Медведева Е.П., <sup>1</sup> Медведев Д.В., <sup>1</sup> Уваров В.Л., <sup>2</sup> Федорец И.Д. ....</i>	<i>401</i>
<b>ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИИ ГАДОЛИНИЯ НА СОРБЕНТЕ ДЛЯ РАЗРАБОТКИ МИШЕНИ ДЕТЕКТОРА ЭЛЕКТРОННЫХ АНТИНЕЙТРИНО</b>	
<i>Зиновьев В.Г., Митропольский И.А., Шуляк Г.И., Сушков П.А., Малютенков Э.И., Тюкавина Т.М., Тихонова А.Е., Сахаров С.Л., Окунев И.С. ....</i>	<i>402</i>
<b>ROUND TABLE «RESEARCH REACTORS: SAFETY, UTILIZATION, AGING MANAGEMENT»</b>	
<i>dedicated to the 50<sup>th</sup> anniversary of the .....</i>	<i>403</i>
<b>ОПЫТ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И ЗАЩИТЫ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РЕАКТОРОВ</b>	
<i>Заикин А.А., Локанцева А.А., Садов И.В. ....</i>	<i>404</i>
<b>50 ЛЕТ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОМУ РЕАКТОРУ ВВР-К</b>	
<i>Шаймерденов А.А., Накипов Д.А., Аринкин Ф.М., Гизатулин Ш.Х., Чаков П.В., Кенжин Е.А. ....</i>	<i>405</i>
<b>ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОРГАНОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ И КОМПЕНСАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ИВГ.1М</b>	
<i>Гныря В.С., Азимханов А.С., <span style="border: 1px solid black; padding: 0 2px;">Алейников Ю.В.</span>, Попов Ю.А., Дербышев И.К. * .....</i>	<i>405</i>
<b>45 ЛЕТ КРИТИЧЕСКОМУ СТЕНДУ</b>	
<i>Гизатулин Ш.Х., Батырбеков Г.А., Аринкин Ф.М., Шаймерденов А.А., Бейсебаев А.О., Колточник С.Н., Чекушина Л.В., Романова Н.К., Дюсамбаев Д.С., Накипов Д.А., Чаков П.В., Кенжин Е.А. ....</i>	<i>406</i>
<b>ОБРАЩЕНИЕ С ОТРАБОТАВШИМ ТОПЛИВОМ РЕАКТОРА ВВР-К</b>	
<i>Гизатулин Ш.Х., Кенжин Е.А., Накипов Д.А., Нугуманов Д.К., Тулегенов М.Ш., Чаков П.В., Шаймерденов А.А. ....</i>	<i>406</i>
<b>ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА НЕЙТРОННОЙ РАДИОГРАФИИ И ТОМОГРАФИИ NRT НА ИМПУЛЬСНОМ РЕАКТОРЕ ИБР-2</b>	
<i>Назаров К.М., Кичанов С.Е., Козленко Д.П., Лукин Е.В., Руткаускас А.Н., Савенко Б.Н. ....</i>	<i>407</i>
<b>ФИЗИЧЕСКИЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПУСКИ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО РЕАКТОРА ИБР – 2 ( ИБР – 2М)</b>	
<i>Ананьев В.Д., Виноградов А.В., Долгих А.В., Едунов Л.В., Пепельшев Ю.Н., Рогов А.Д., Царенков С.А., Заикин А.А. *, Локанцева А.А. * .....</i>	<i>407</i>
<b>КОНТРОЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИХ СБОРОК ТИПА ИРТ-4М</b>	
<i>Байтелесов С.А., Кунгуров Ф.Р., Кудиратов С. ....</i>	<i>408</i>
<b>ПЛАН РАБОТ ПО РАЗРАБОТКЕ НОВОГО НЕЙТРОННОГО ИСТОЧНИКА ОИЯИ</b>	
<i>Виноградов А.В. ....</i>	<i>409</i>
<b>МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО РЕАКТОРА ВВР-К</b>	
<i>Тиванова О.В., Ермаков Е.Л., Акылбек Н.М., Урманов Р.Р. ....</i>	<i>409</i>

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Abbaslı A.A.*, 192, 251  
*Abdullaev A.*, 280, 281  
*Abdurakhimov B.A.*, 257, 274  
*Abramov B.M.*, 101  
*Afanasyeva N.V.*, 39, 40  
*Aghayeva A.V.*, 287  
*Ahadov A.B.*, 291  
*Ahmadov F.I.*, 372  
*Ahmadov F.İ.*, 186  
*Ahmadov G.*, 161  
*Ahmadov G.S.*, 27, 372  
*Ahmadov M.M.*, 285, 286  
*Akbarov R.*, 27, 161, 372  
*Akhmadov E.N.*, 392  
*Akhundzada H.N.*, 192, 251, 384, 392, 396  
*Akilbekov A.*, 202  
*Alexander Valyaev*, 304  
*Alexandrov A.A.*, 55, 128, 146  
*Alexandrova I.A.*, 55, 128, 146  
*Alexeev P.N.*, 101  
*Alexey Valyaev*, 304  
*Aliiev M.K.*, 81  
*Alimov D.K.*, 119  
*Alimzhanov D.*, 281  
*Arsenyev N.N.*, 38  
*Arslanaliiev A.*, 164  
*Artemov S.V.*, 81, 150, 151  
*Asker Ali Abiyev*, 25  
*Aslanova G.F.*, 286  
*Avdeyev S.P.*, 34  
*Ayten Ahmedova*, 292  
*Aznabayev D.T.*, 36, 43  
*Baimukhanov Z.*, 202  
*Baimukhanova A.*, 85  
*Balayev V.S.*, 285, 286  
*Barabanov A.L.*, 167  
*Barbaryan V.A.*, 26  
*Beisenov B.U.*, 42, 118, 154  
*Bekbaev A.K.*, 36, 43  
*Belyshev S.S.*, 105  
*Berikov D.*, 161  
*Berikov D.B.*, 27  
*Berikova D.*, 372  
*Bitibayeva Zh.M.*, 259  
*Bondarenko S.*, 168  
*Borodin Yu.A.*, 101  
*Botvina A.S.*, 34  
*Briscoe W.J.*, 113  
*Brudanin V.B.*, 131  
*Bulychjov S.A.*, 101, 113  
*Burkhard Heuel-Fabianek*, 292  
*Burkova N.A.*, 39, 40, 42, 118, 154  
*Burov V.*, 168  
*Burov V.V.*, 100  
*Burtebayev N.*, 3, 119, 150  
*Burtebayev N.T.*, 123, 132  
*Burtebayeva J.*, 119  
*Bystritskiy V.M.*, 68  
*Bystritskiy V.M.*, 67  
*Chakrov P.*, 361, 363, 375  
*Chakrova E.T.*, 372  
*Cherubini S.*, 22  
*Chuluunbaatar O.*, 21, 53, 63  
*Chuprakov I.A.*, 27  
*Chuprakov I.*, 161  
*Chushnyakova M. V.*, 164  
*Chuvil'skaya T.V.*, 147  
*Cognata M. La.*, 22  
*Covalchuk K.V.*, 123  
*Cvetinovic A.*, 22  
*Сайтджанов Ш.Н.*, 33, 392  
*Dadashov Z.Kh.*, 291  
*Dauletbekova A.*, 202  
*Davydov A.I.*, 29  
*DeMuth S.*, 361, 362  
*Deryavko I.I.*, 251, 264  
*Djenbaev B.M.*, 370  
*Dubovichenko S.B.*, 40, 42, 118  
*Dudkin G.N.*, 67, 68  
*Dukhovskoy I.A.*, 101  
*Dzhumanov S.*, 215  
*Efimov A.D.*, 71  
*Elchin M. Huseynov*, 374  
*Ergashev F.Kh.*, 81, 150  
*Ergashev Feruzjon*, 24  
*Eshkobilov Sh.Kh.*, 81  
*Faradjova U.F.*, 186  
*Filipowicz M.*, 67, 68  
*Filippov A.V.*, 67, 68  
*Filosofov D.V.*, 84, 85  
*Gagarski A.M.*, 167, 173, 175  
*Galanina L.I.*, 119  
*Garibov A.A.*, 372  
*Geurkov G.*, 364  
*Gikal K.B.*, 54, 123  
*Gizatulin S.*, 375  
*Gledenov Yu. M.*, 161  
*Gluchschenko V.N.*, 290  
*Gluchshenko G.*, 361, 362  
*Gluchshenko V.*, 361, 362, 363  
*Gluchshenko V.N.*, 293  
*Goldberg V.Z.*, 121  
*Golovkov M.S.*, 121  
*Golubev V.*, 388  
*Gontchar I.I.*, 164  
*Goryainova Z.I.*, 55, 128, 146  
*Guardo G.L.*, 22  
*Gudima K.K.*, 101  
*Gulino M.*, 22  
*Gurbanov M. A.*, 291  
*Gurgen Aleksanyan*, 304  
*Gurin A.N.*, 372  
*Gusev A.A.*, 21, 53, 63  
*Guseva I.S.*, 173  
*Hasanov N.H.*, 192  
*Herbert. Dederichs*, 292  
*Heydarov N.*, 372  
*Hosoda T.*, 3, 11  
*Humbatov F.Y.*, 285, 286  
*Ibraeva E.T.*, 157  
*Igamov S.B.*, 81  
*Igashov S.Yu.*, 157

*Inoyatov A.Kh.*, 84, 85  
*Ishii T.*, 375  
*Ishkhanov A.A.*, 32  
*Islam Mustafayev*, 292  
*Itkis I.M.*, 54, 88, 123  
*Itkis M. G.*, 54, 123  
*Ivanov A.*, 361, 362  
*Ivanov I.*, 121  
*Izosimov I.N.*, 82, 314  
*J.C. Mora Canadas*, 294  
*Jafarov E.S.*, 287  
*Jahangirov M.M.*, 186  
*Joanne Brown*, 294  
*Juraev O.Sh.*, 150  
*Jürgen Pillath*, 292  
*Justin Brown*, 294  
*Kaikanov M.*, 121  
*Kaldibaev B.K.*, 370  
*Kalikulov O.A.*, 132  
*Kamanin D.V.*, 55, 91, 128, 146  
*Kanazawa H.*, 375  
*Karahodzhaev A.A.*, 150  
*Karakhodjaev A.A.*, 81  
*Karcz W.*, 34  
*Karmisheve Y.*, 370  
*Karpeshin F. F.*, 92  
*Karpov A.V.*, 132  
*Katkova M.N.*, 329  
*Kawamura H.*, 3, 375  
*Kawauchi Y.*, 375  
*Kaydarova V.D.*, 28  
*Kayumov M.A.*, 150  
*Kenzhebeyev Nurzat*, 24  
*Kenzhin Y.*, 11, 363, 375  
*Kenzhina I.E.*, 132  
*Kerimkulov Zh.K.*, 119  
*Kerimova T.I.*, 192  
*Khalikov R.I.*, 81  
*Khankin V.V.*, 105  
*Khankishieva R.F.*, 192, 251  
*Khankisiyeva R.F.*, 396  
*Khanov A.I.*, 101  
*Kharkin P.*, 361  
*Khojayev R.A.*, 119  
*Kholbaev I.*, 81  
*Khushvaktov J.H.*, 82  
*Kimura Y.*, 290, 293  
*Kirakosyan V.V.*, 34  
*Klimenko A.A.*, 131  
*Knyazheva G.N.*, 54, 88, 123  
*Koguchi Y.*, 363  
*Kolganova E.A.*, 99  
*Koloberdin M.*, 121  
*Koltsov V.V.*, 97  
*Kopatch Y.*, 161  
*Kopatch Yu.N.*, 27, 159, 372  
*Korobitsin A.A.*, 99  
*Korobov V.I.*, 36, 43  
*Koshkinbayeva A.*, 281  
*Kosmylina A.M.*, 325  
*Kovalik A.*, 84, 85  
*Kozhamkulov B.A.*, 259, 270, 271  
*Kozin S.*, 121  
*Kozlovskii A.*, 202  
*Kozulin E. M.*, 54  
*Kozulin E.M.*, 88, 123  
*Krassovitskiy P.M.*, 21, 53, 63  
*Krassovitskiy P.M.*, 103  
*Krutenkova A.P.*, 101  
*Krylov A.R.*, 68  
*Kudryashev V.A.*, 325  
*Kudryavtsev A.E.*, 113  
*Kulikov V.V.*, 101, 113  
*Kurbanov U.T.*, 215  
*Kuznetsov A.A.*, 105  
*Kuznetsova E.A.*, 55, 128, 146  
*Kvochkina T.N.*, 123  
*Kyrykbayeva A.A.*, 259  
*Lamia L.*, 22  
*Lanin A.G.*, 264  
*Lebedev I.A.*, 26, 108  
*Lizunova M.A.*, 113  
*Madatov R.*, 372  
*Madatov R.S.*, 186, 252  
*Maksimkin O.*, 375  
*Malaza V.*, 55, 91, 128, 146  
*Maltsev A.*, 173, 388  
*Maltseva M.*, 173, 388  
*Mamedov M.A.*, 252  
*Mamishova R.M.*, 252  
*Mammadov S.G.*, 291  
*Mammadov Sh.M.*, 192, 251, 384, 392, 396  
*Mammadova R.R.*, 392  
*Martemianov M.A.*, 101, 113  
*Matiyenko L.*, 361, 362  
*Matsyuk M.A.*, 101  
*McDonald*, 294  
*Mehrabova M.A.*, 192  
*Mikayilova A.C.*, 328  
*Mikhajlov V.M.*, 55, 56, 71  
*Mkaza N.*, 55, 91, 128, 146  
*Momot O.A.*, 329  
*Morenko V.*, 361, 362  
*Mukaeva A.R.*, 42, 118, 154  
*Mukhamejanov Y.S.*, 119  
*Mukhamejanov Ye.S.*, 132  
*Muminov B.*, 280, 281  
*Muminov T.M.*, 84  
*Murzagaliev M.*, 202  
*Mynbayev N.*, 280  
*Myrzabekova E.B.*, 100  
*Nadjafov A.I.*, 252  
*Nagai S.*, 290, 293  
*Naohiko Otsuka*, 24  
*Nassurlla Maulen*, 119  
*Naumenko M.A.*, 136  
*Naumov P.Yu.*, 55  
*Nauruzbayev D.K.*, 121  
*Nauruzbayeva R.*, 202  
*Nazarov M.*, 372  
*Nechaev B.A.*, 67, 68  
*Negishi K.*, 363  
*Nguyen Van Giai<sup>3)</sup>*, 38  
*Nielsen S.P.*, 294  
*Nitta H.*, 375  
*Novikov K.V.*, 54, 123  
*Nurbakova G.S.*, 43  
*Nuriyev H.R.*, 252



Nuriyev I.R., 192  
 Nuriyev S.M., 372  
 Nurkin A., 67, 68  
 Nurmukhanbetova A.K., 121  
 Nuruyev S.M., 27  
 Nuruyev S., 161  
 Oeschler H., 34  
 Ohta A., 293  
 Oleg Arkhipkin, 304  
 Orlin V.N., 31, 32  
 Orudjov A.K., 373  
 Oskomov V.V., 132  
 Padalko V.N., 67, 68  
 Palvanov S.R., 127  
 Pan A.N., 54, 123  
 Patrick J Riss, 372  
 Pen'kov F.M., 67, 68, 103  
 Penionzhkevich Yu.E., 136  
 Perevoshchikov L.L., 84, 85  
 Peskov N.N., 26, 28, 29, 31  
 Peter Hill, 292  
 Petro Zoriy, 292  
 Petrov G.A., 173, 175  
 Piquemal F., 131  
 Poleshko A., 361, 362  
 Proehl G., 294  
 Puglia S.M.R., 22  
 Pyatkov Yu.V., 55, 91, 146  
 Pyatkov Yu.V., 55, 128  
 Qarayeva K.G., 287  
 Rachkov V.A., 132  
 Radyuk G.A., 81  
 Rahimzade S.Q., 373  
 Rakhymzhanov A., 280  
 Ramazanov M.A., 192, 251  
 Rapisarda G.G., 22  
 Reinhard Lennartz, 292  
 Rodkin D.M., 129  
 Rogachev G.V., 121  
 Romano S., 22  
 Romanov A.I., 113  
 Romanov Yu.I., 129  
 Romanova N., 375  
 Rukhadze E., 131  
 Rukhadze N.I., 131  
 Rukoyatkin P.A., 34  
 Rumi R.F., 81  
 Rustamova X., 127  
 Rzaeva S.V., 392  
 S. Fesenko, 294  
 Sadigov A.Z., 372  
 Saduyev N.O., 119, 132  
 Sadygov Z.Y., 372  
 Safin M. Ya., 138  
 Sagimbaeva N.B., 100  
 Saiko V.V., 132  
 Sakuta S.B., 3, 119  
 Samadov O.A., 384  
 Samarina V.V., 136  
 Sansarbayar E., 161  
 Sato N., 293  
 Sedov A.N., 132  
 Sergi M.L., 22  
 Severyukhin A.P., 38  
 Shaimerdenov A., 375  
 Sharafutdinova D.N., 39  
 Shcherbakov O.A., 167, 175  
 Shebeko A., 164, 165  
 Shimizu R., 290, 293  
 Shinbulatov S.K., 132  
 Shinozaki W., 363  
 Shitov Yu.A., 131  
 Sidorenko S., 363  
 Sjoebloom K.L., 294  
 Skobelev N.K., 136  
 Skuratov V.A., 281  
 Sokolenko E.K., 325  
 Sokolov V.E., 173  
 Solnyshkin A.A., 82  
 Sparta R., 22  
 Spitaleri C., 3, 22, 147  
 Stegaylov V.I., 34  
 Štekl I., 131  
 Stopani K. A., 105  
 Strakovsky I.I., 113  
 Strekalovsky A.O., 55, 91, 128, 146  
 Strekalovsky O.V., 55, 128, 146  
 Suleymanov S.S., 372  
 Synzynys B.I., 329  
 T. Suzuki, 30  
 Taghiyev T.B., 186  
 Takeuchi N., 363  
 Talpakova K.A., 119  
 Tamuzs V.P., 259  
 Tarasov V.E., 113  
 Tashmetov M.Yu., 257, 274  
 Tchuvil'sky Yu.M., 129  
 Tchuvil'sky Yu.M., 157  
 Telezhnikov S.A., 27  
 Temiraliev A.T., 26, 108  
 Tikhonov A., 121  
 Tkachenko A.S., 42, 118, 154  
 Tojiboyev O.R., 81  
 Tojiboyev O.R., 81, 150  
 Torilov S.Yu., 121  
 Trzhaskovskaya M.B., 92  
 Tuigynbek A., 281  
 Tulendinov T.B., 259  
 Tuleushev Yu. Zh., 67, 68  
 Turdakina E.N., 101  
 Tursunmakhatov K.I., 166  
 Uralbekov B.M., 372  
 Usseinov A., 202, 363  
 Utegulov Z.N., 280, 281  
 Utey Sh.B., 132  
 Uzikov Yu.N., 157  
 V. Kashparov, 294  
 Vaishnene L.A., 167  
 Val'ski G.V., 175  
 Valiyev R., 372  
 Varlachev V.A., 67  
 Varlamov V.V., 26, 28, 29, 31, 32  
 Vénos D., 84, 85  
 Vinitsky S.I., 21, 53, 63  
 Vitushkin L.F., 92  
 Vlasnikov A.K., 55, 56  
 Volya A., 121  
 Vorobyev A.S., 167, 175

Voronov V.V., 38  
 Warot G., 131  
 Yakovlev I., 361, 362  
 Yakupov T., 281  
 Yamaguchi K., 363, 375  
 Yarmukhamedov R., 15, 166, 168  
 Yoshida K., 375  
 Yoshii J., 290, 293  
 Yuldashova I.I., 274  
 Zavarukhina T.A., 173  
 Zdorovets M., 202  
 Zherebchevsky V.I., 3, 121  
 Zholboldiev B.T., 370  
 Zholdybayev Timur, 24  
 Zhuchko V.E., 55, 128, 146  
 Zhumabaev A.I., 132  
 Zhurkin E., 202  
 Zippa A.I., 55, 56  
 Zolotaryova V., 161  
 Asadova A.A., 396  
 Aslanli Z.A., 396  
 Аббаслы А.А., 390  
 Аббасов И.И., 179, 191, 198, 219  
 Абдуллаев А.П., 255  
 Абдуллаев Х.Ш., 378, 387  
 Абдуллаев Э.Т., 377, 394  
 Абдуллаева Г.А., 33, 392  
 Абдуллайэв А.С., 295  
 Абдуллин Х.А., 236  
 Абдуллин Х.А., 256, 263, 276  
 Абишев М., 93  
 Абрамович С.Н., 60, 63, 64, 141, 147  
 Авдюхина В.М., 378  
 Агаев Т.Н., 194, 196, 206, 253  
 Агаева А.В., 289  
 Адам И., 171  
 Адгезалова Х.А., 190  
 Ажимханова М.Б., 263  
 Азаматов А.А., 35, 244  
 Азнабаев Д., 76  
 Айдарханов А.О., 298, 315, 317, 340, 350, 359  
 Айдарханова А.К., 296  
 Айдарханова А.К., 303, 326, 345, 351  
 Акилбеков А., 206  
 Акилбеков А.Т., 207  
 Акиндинова Е.В., 49, 50  
 Аксенова Т.И., 199, 248, 249, 283  
 Актаев М.Р., 298, 315, 339, 350  
 Акылбек Н.М., 366, 409  
 Алдабергенова Т.М., 201  
 Алейников А.Н., 158  
 Алейников Ю.В., 114, 278, 405  
 Алекперов О.З., 254  
 Алексанян Е.М., 200  
 Алескеров А.М., 206  
 Алиев Н.Ш., 218  
 Алиев Н.Ш., 218, 219  
 Алиев С.М., 194  
 Алиев Ф.А., 159  
 Алиева Н.А., 255  
 Аликулов Ш.А., 275  
 Алимов Д.К., 37, 94  
 Алимов Д.К., 65, 94  
 Аманбек Н.Н., 35, 244  
 Аманжол Е.А., 301, 347  
 Аманова Г. Т., 297  
 Амир Ж.А., 297  
 Амонов М.З., 212  
 Ананьев В.Д., 120, 407  
 Ананьев В.Д., 120  
 Андреев А.В., 139, 313, 315  
 Антощенко В.С., 278  
 Аралбаева Г., 206  
 Аралбай Н.К., 332, 333, 334, 336, 338  
 Аргынова А.Х., 110, 176  
 Аринкин Ф.М., 405, 406  
 Артемов С.В., 163, 389  
 Арутюнян В.В., 200  
 Архипов А.Ю., 224  
 Асадов С.М., 193  
 Асадов Ф.Г., 180  
 Аскербеков С.К., 181, 265, 282  
 Афанасьева Н.В., 40  
 Афанасьева Н.Н., 375  
 Афонин А.А., 77, 315  
 Ахмеджанов Ф.Р., 275  
 Ахмедов Ф.И., 179, 198  
 Ахундзаде Г.Н., 390  
 Ахьмет К., 279  
 Ачаковский О. И., 114  
 Ашуров М.Х., 260  
 Бабенко А.Г., 50  
 Баграмян В.В., 200  
 Бадалян А.О., 200  
 Байгазинов Ж.А., 299, 300, 318, 319, 327  
 Байгазы С.А., 300, 327  
 Баймуханова А.Е., 401  
 Байрамов М.Н., 218, 219  
 Байсанов О.А., 301, 347  
 Байтелесов С.А., 275, 408  
 Бакланов В.В., 236  
 Бакланова Ю.В., 368  
 Барбатенков Р.К., 203  
 Бармаков Ю.Н., 159  
 Бармина Е.В., 169  
 Барсуков Н.И., 167, 244  
 Батрышев Д.Г., 258  
 Батырбеков Г.А., 406  
 Батырбеков Э.Г., 16, 167  
 Бахур А.Е., 302  
 Бачурина Д.М., 210  
 Баяхметов О.С., 35, 41, 244  
 Бедельбекова К.А., 202, 261  
 Бейсебаев А.О., 406  
 Бекк В.В., 54  
 Белкин Ф.В., 311, 381  
 Белоусов А.В., 384  
 Бельшев С.С., 47, 104, 125, 146  
 Беляева Т.Л., 64, 65  
 Бердников А.Я., 44, 104, 130, 144  
 Бердников Я.А., 44, 72, 104, 130, 144  
 Береснева В.А., 45  
 Беспалова О. В., 96  
 Беспалова О.В., 46, 95, 96  
 Бияшева З.М., 395, 396  
 Близнюк У.А., 378  
 Бобоев А.Й., 204  
 Богатырёва Т.Ю., 303

Боголюбов Е.П., 159  
 Бозтосун И., 37  
 Бойбобоева С.Т., 260  
 Болтабаев А.Ф., 275  
 Большаков А.М., 397  
 Бондарьков Д.М., 313  
 Боос Э.Г., 150, 151  
 Боргеков Д.Б., 184  
 Борисов Ю.В., 104  
 Бородин А.В., 305  
 Борц Б.В., 381  
 Борщеговская П.Ю., 378  
 Брагинец Ю.П., 104  
 Бредихин Иван, 45, 305  
 Бувина Ю.А., 104  
 Бузоверя М.Э., 224  
 Бузриков Ш.Н., 230  
 Булавин М.В., 47  
 Булычёв А. О., 89  
 Бунаков В.Е., 10, 152  
 Буркова Н.А., 40  
 Бурмистров Ю. М., 91  
 Бурмистров Ю.М., 56, 88, 116, 127, 313, 315  
 Бурнос В.В., 159  
 Буртебаев Н., 2, 37, 65, 94, 134, 148  
 Буртебаев Н.Т., 74, 80  
 Буртебаева Д.Т., 134  
 Буртебаева Д.Т., 37  
 Бусленко А.В., 378  
 Быстрицкий В.М., 147, 159  
 Быстров Е.В., 366  
 Быстрыakov Ю.К., 375  
 Быхало Г.И., 47  
 Быченко А.Н., 309  
 Ваганов Ю.А., 170  
 Валежжанина Е.И., 224  
 Валиев Ф.Ф., 48  
 Ванжа С.А., 311, 381  
 Варзарь С.М., 382  
 Варламова Н.В., 398  
 Вахтель В.М., 49, 50, 51, 52  
 Велиджанова М.З., 289  
 Велиев Р.Г., 188  
 Велиев Э.Р., 194  
 Верещак М.Ф., 202, 237, 261  
 Вернер Д., 332  
 Верхуша Ю.А., 355  
 Весна В.А., 140  
 Виноградов А.В., 407, 409  
 Вишневский И.Н., 22, 130  
 Вишнякова И.Г., 375  
 Владимирова Е.В., 57  
 Войтенков Д. А., 177  
 Волков Б.А., 54  
 Володин В.Н., 262  
 Воронин В.В., 104, 162, 220  
 Воронова Н.А., 231  
 Вурим А.Д., 229  
 Габдуллин М.Т., 256, 258, 263, 276  
 Габулов И.А., 254  
 Гаджиева Н.Н., 180, 196  
 Гаджиева Х.Ф., 321  
 Гайтинов А. Ш., 110  
 Галанина Л. И., 75, 145  
 Галанина Л.И., 58, 107  
 Галль Л.Н., 165, 305  
 Галль Н.Р., 165, 305  
 Ганеев Г.З., 201, 205  
 Гарапацкий А.А., 397  
 Гарбуз Ю.В., 340  
 Гарибов А.А., 13  
 Гасанов А.И., 188  
 Гасанов Н.З., 188  
 Гасанов О.М., 191  
 Гасьмова А.И., 197  
 Гасьмова Г.Э., 295  
 Гахраманова С.М., 255  
 Генералов Л.Н., 59, 60, 63, 64, 141, 147  
 Гизатулин Ш.Х., 405, 406  
 Гледенов Ю.М., 140  
 Глуценко В., 369  
 Глуценко Н.В., 54, 310  
 Гньря В.С., 405  
 Годжаева Т.Ф., 390  
 Голованов А.А., 61  
 Голованова Н.Ф., 61  
 Головков В.М., 397, 399  
 Гонс З., 169, 170  
 Гончаров С.А., 64, 65  
 Гончарова Н.Г., 62  
 Горбаченко А.Н., 130  
 Гордиенко Ю.В., 236, 244  
 Гордиенко Ю.Н., 167, 227  
 Гордонова И.К., 383  
 Горин Е.Г., 222, 223, 225  
 Горлачев И.Д., 54, 310  
 Городнов А.А., 224  
 Гриво А.Г., 381  
 Григорян Н.Е., 200  
 Гриднев Д.К., 74  
 Грикоренко Л.В., 86  
 Гриценко Л.В., 263  
 Грозданов Д.Н., 159  
 Грушевская Е.А., 108  
 Гузов В.Д., 177, 355, 365  
 Гулиева Н.К., 306  
 Гурин А.Н., 375  
 Гуров Ю.Б., 109, 128, 160  
 Гусева Л.Ю., 17  
 Гусейнов В.И., 206  
 Гусейнов Д.Т., 193  
 Гусейнов Дж.И., 190, 191  
 Гусейнов Е.М., 253  
 Гусейнов Н.И., 180  
 Гусейнов Э.М., 254  
 Давидовская О.И., 130  
 Далхажав О., 172  
 Данилов А.Н., 64  
 Данилов А.Н., 65  
 Даулетбекова А., 206  
 Даулетбекова А.К., 207  
 Дауренбеков Д.Х., 234  
 Демьянова А.С., 15, 64, 65  
 Деникин А.С., 158  
 Дербышев И.К., 405  
 Дерявко И.И., 203, 229  
 Джаббарова Л.Ю., 286  
 Джаваниширова А.А., 388

Джамалов П.Дж., 377  
 Джанибеков А., 93  
 Жансейтов Д., 64  
 Жансейтов Д.М., 65  
 Джафаров Т.А., 190, 191  
 Джафаров Э.С., 289  
 Джураева Г.Т., 392  
 Джурахалов А.А., 246  
 Дикий Н.П., 389, 401  
 Диков А.С., 208, 216  
 Добрынина А.О., 269  
 Довбня А.Н., 389  
 Довбня А.Н., 401  
 Долгих А.В., 407  
 Долгополов М.А., 51, 52, 376  
 Досболаев М.К., 258  
 Драчев А. И., 91  
 Дроздов Ю.М., 124  
 Дуйсебаев А., 134  
 Дуйсебаев Б.А., 134  
 Дуйсебаев Б.А., 73, 133  
 Дьяков А.А., 382  
 Дьяченко А.Т., 66  
 Дьячков В.В., 69, 70, 74, 395, 396, 413, 414  
 Дюсамбаев Д.С., 406  
 Дюсембекова А.А., 399  
 Егамедиев С.Х., 400  
 Егамедиев С.Х., 307, 380  
 Едунов Л.В., 407  
 Едчик И.А., 159  
 Еланский С.Н., 378  
 Еремин А.В., 139, 149  
 Ерланулы Е., 258  
 Ермаков Е.Л., 366, 409  
 Ермакова Т.А., 95  
 Ермакова А., 183  
 Есемуратов Б., 212  
 Есжанов А.Б., 222, 223, 225  
 Жадыранова А.А., 308  
 Жаканбаев Е.А., 217, 262  
 Жанылысов К., 234  
 Жарко С.В., 44, 72, 130  
 Жаутыков Б.О., 151  
 Жеан Короткова Л.Ю., 109  
 Жеан-Короткова Л.Ю., 128, 160  
 Желтов А.А., 54  
 Желтов Д.А., 309  
 Желтоножская М.В., 161, 310, 313  
 Желтоножская М.В., 161, 310  
 Желтоножский В.А., 22, 130, 131, 161, 310  
 Жеребцов В.А., 59, 60, 147  
 Жолдыбаев Т.К., 73, 74, 133  
 Жубаев А.К., 209  
 Жуков В.В., 176  
 Жунусбеков А.М., 234  
 Жусупов М.А., 40, 79  
 Забелин М.В., 376  
 Загребова А.С., 225  
 Зазулин Д.М., 94  
 Заикин А.А., 404, 407  
 Заманова А.К., 188  
 Зарипова Ю.А., 69, 70, 74, 395, 396, 413, 414  
 Заурбекова Ж.А., 167, 211, 236, 244  
 Здоровец М.В., 182, 183, 184, 185, 206, 222, 223,  
 225, 243  
 Зеленская Н.С., 58  
 Зеленская Н.С., 75, 145  
 Зеленская Н.С., 107  
 Зеленский К.Л., 345, 346  
 Зелинская Е.В., 385, 386  
 Зернышкин В.А., 76  
 Зима Г.В., 311, 312, 381  
 Зиновьев В.Г., 402  
 Зуев С.В., 18, 56, 76, 77, 88, 93, 99, 116, 120, 127,  
 313, 315  
 Ибрагимова М.А., 182  
 Ибрагимова Э.М., 212, 230, 247  
 Ибраева А.Д., 182  
 Ибраева Е.Т., 40, 78, 79, 80  
 Иванков Ю. В., 89  
 Иванков Ю.В., 87  
 Иванников А.А., 210  
 Иванов М.А., 82  
 Иванов М.П., 76  
 Игамов С.Б., 163  
 Игашов С.Ю., 148  
 Избасаров М., 150, 151  
 Изосимов И.Н., 143  
 Ильин А.П., 263  
 Ильина Е.А., 398  
 Илюшин А.С., 378  
 Имамбеков О., 40, 78  
 Иманова Г.Т., 253  
 Имашева Л.Т., 83  
 Исадыков А., 82  
 Исаев А.В., 139  
 Искендерова З.И., 388  
 Искенов А.О., 315  
 Исламов А.Х., 247  
 Исмаилов Д.В., 256, 263, 276  
 Исмаилов Д.В., 256  
 Исмаилов К.М., 73, 133  
 Исмаилов Ш.С., 226  
 Исмаилова А.Н., 86  
 Исмаилова С.М., 378  
 Исматов Н.Б., 391  
 Ишиханов Б.С., 57, 83, 125, 142  
 Ишиханов Б.С., 57, 83, 104, 125, 142  
 Кабатаева Р., 79  
 Кабдыракова А.М., 316, 349  
 Кабина Л.П., 115  
 Кабина Л.П., 115  
 Кабирова Г.М., 297  
 Кадменский С.Г., 10, 87, 89, 152, 153  
 Кадыржанов К.К., 185, 243  
 Кадырова Э.М., 321  
 Кайнарбай А.Ж., 234  
 Каланов М.У., 204  
 Калиева А.К., 309  
 Калиекперов М.Е., 184  
 Калинин Б.А., 17, 210  
 Калининников В.Г., 169, 170  
 Каменова И.Н., 317  
 Камерджигов С. П., 114, 177  
 Каминский А.К., 169  
 Кантарбай Е.А., 209  
 Караевский С. Х., 91

Караевский С.Х., 116, 127  
 Караоч М., 37  
 Карасев В.В., 98  
 Каратаев С.С., 318, 327  
 Каратаева А.А., 176  
 Карипбаев Ж.Т., 207  
 Карнаухо И.М., 381  
 Карпиков А.Н., 213  
 Карпов А.В., 135  
 Карпов И.А., 224  
 Каспаров А.А., 18, 93, 99, 116  
 Качан А.С., 106  
 Каширский В.В., 368  
 Квочкина Т.Н., 110, 176  
 Кенесарин Б.А., 319  
 Кенжебаев Н., 93  
 Кенжин Е.А., 2, 9, 405, 406  
 Кенжина И.Е., 181, 256, 265, 276, 282  
 Керимкулов Ж.К., 37  
 Керимкулов Ж.К., 65, 94  
 Керимова Э.М., 188  
 Килим С., 172  
 Ким А.А., 392, 393  
 Ким В.И., 321  
 Кипс Р., 369  
 Киреев А.В., 54, 261, 310  
 Кирейчева В.И., 224  
 Кириллов М.И., 137  
 Кислицин С.Б., 201, 205, 208, 213, 216, 237, 240  
 Кичанов С.Е., 407  
 Климочкина А.А., 46, 95, 96  
 Ковтун К.В., 245  
 Кожыханов Т.Е., 322  
 Кожемякин В.А., 174, 177, 355, 364, 365, 366  
 Козленко Д.П., 407  
 Козлов А.В., 275, 382  
 Козловский А.Л., 182, 183, 184, 185, 207, 223, 225, 243  
 Козырева М.С., 213  
 Койгельдинова М., 340  
 Колточник С.Н., 406  
 Кольцов В.В., 98  
 Комар Д.И., 177  
 Комаров В., 106, 113  
 Комаров Ф.Ф., 267, 272  
 Кондратьева Е.Г., 378  
 Конобеевский Е.С., 18, 76, 77, 88, 93, 99, 120, 127, 313, 315  
 Копач Ю.Н., 159  
 Корбут Т. Н., 45  
 Корбут Т.Н., 101, 123  
 Корнеев С.В., 45  
 Корольков И.В., 222, 223, 225  
 Космынина А.М., 343  
 Кострюков П.В., 89, 153  
 Котов Д.О., 44, 72, 130  
 Кошелев А.С., 124  
 Коянбаев Е.Т., 227  
 Кравченко М.О., 102  
 Кривицкий П.Е., 323  
 Кристо М., 369  
 Круглыхин А.А., 323  
 Крупко С.А., 76  
 Крячко И.А., 172  
 Куглер А., 76  
 Кудиратов С., 408  
 Кудратов Х.Н., 155, 247  
 Кузенов В.В., 269  
 Кузнецов А.А., 104, 125, 146  
 Кузнецов И.А., 104, 162, 220  
 Кузнецов С.П., 116  
 Кузьмин А.В., 102  
 Кузьмин Д.Н., 305  
 Кукулин В.И., 18, 35, 41, 133  
 Кулабдуллаев Г.А., 33, 392  
 Кулаков А.В., 393  
 Кулиева У.А., 394  
 Куликов С.А., 47  
 Кулич Н.В., 313  
 Кульсартов Т.В., 167, 181, 227, 236, 244, 265, 277, 282  
 Кунгуров Ф.Р., 275, 408  
 Кундузбаева А.Е., 324  
 Кунсафина А., 106, 113  
 Куприков В.И., 23  
 Купчишин А.А., 266, 267  
 Купчишин А.И., 231, 232, 233, 265, 266, 267, 268, 270, 271, 272  
 Курахмедов А.Е., 37  
 Курбанов А.М., 214  
 Курбанов М.А., 377, 388, 394  
 Кургуз И.В., 106  
 Курманалиев Ж., 106, 113  
 Кутербекоев К.А., 234  
 Кутний В.Е., 245  
 Кутний Д.В., 311, 381  
 Кучинский П.В., 366  
 Кырыкбаева А.А., 189  
 Лапушкин С.В., 109, 128, 160  
 Ларионов А.С., 216  
 Ларионова Л.А., 398  
 Ларионова Н.В., 296, 317, 320, 322, 326, 327, 337, 359, 360  
 Ласица М.В., 104, 220  
 Лашманов Н.А., 76  
 Лебедев В., 145  
 Лебедев В.М., 18, 107  
 Лебедев И.А., 108  
 Левин И.С., 378  
 Ленник С.Г., 297  
 Леонова Т. И., 160  
 Леонова Т.И., 109, 128  
 Ливенцова А.С., 297  
 Лигуз Н.С., 54  
 Линдвэлл Р., 369  
 Лисин С.С., 115  
 Лисицын В.М., 207, 231, 267, 272  
 Лисицын В.Н., 217  
 Лисицына Л.А., 207  
 Литвинов Ю.Ю., 383  
 Лифанов М.Н., 56  
 Локанцев А.А., 404, 407  
 Локтионов А.А., 110, 176  
 Лукашевич Р.В., 177, 355  
 Лукашенко С.Н., 296, 298, 299, 303, 315, 316, 317, 319, 320, 322, 323, 324, 326, 327, 331, 337, 338, 339, 340, 344, 345, 349, 350, 351, 353, 359, 368  
 Лукин Е.В., 407

- Лукоянов А.В., 276  
 Лыкова Е.Н., 161, 382, 383  
 Лычагин Е.В., 111, 117  
 Любашевский Д.Е., 10, 87, 90, 152, 153  
 Лютрович Н. А., 114  
 Ляхова О.Н., 298, 315, 323, 326, 327, 339, 349, 350, 353  
 Ляшко Ю.В., 389, 401  
 Магеррамов А.М., 195, 197, 218, 219  
 Мадатов Р.С., 180, 188, 194  
 Май А., 76  
 Макарова В.А., 343  
 Максимкин О.П., 208, 220, 224, 235, 242, 249  
 Мальшев О.Н., 139  
 Малютенков Э.И., 402  
 Мамедов Ш.М., 390  
 Мамедова Р.Ф., 190  
 Мамырбаева А.С., 327  
 Манакова И.А., 202, 237, 261  
 Мансимов З.А., 194  
 Марков Д.В., 382  
 Маркова М.Л., 112  
 Мархабаева А.А., 207  
 Маслов В. А., 64  
 Маслов В.А., 76  
 Матвеева И.В., 297, 321  
 Матвейчук И.В., 383, 384  
 Махкамов Ш., 221, 273  
 Махкамов Ш.М., 234  
 Махмудов Ш.А., 221  
 Машенцева А.А., 222, 223, 225  
 Медведев А.В., 311, 381  
 Медведев Д.В., 389, 401  
 Медведева Е.П., 389, 401  
 Медведева З.В., 375  
 Медетбеков Б.С., 114  
 Меликова С.З., 196, 226  
 Мельничук М.А., 345, 346  
 Мендибаев К., 76  
 Меньдубаев А.Т., 316  
 Мережко Д.А., 224  
 Мережко М.С., 208, 224  
 Мехтиев Н., 254  
 Мехтиева Р.Н., 195, 253, 255  
 Мешков И.В., 116, 127  
 Мигунова А.А., 278  
 Миниязов А.Ж., 227  
 Мирхаджи Д.В., 321  
 Митропольский И.А., 66, 115, 402  
 Михайлов В.А., 381  
 Мицук В.В., 18, 99, 116, 120  
 Мищенко В.М., 106  
 Молдагалиева А.А., 117  
 Мордовской М.В., 18, 116, 120  
 Моренко В.С., 354  
 Морозова Е.П., 382  
 Мосолова Е.О., 144  
 Мукан Ж.К., 343  
 Мукан Ж.Т., 329  
 Мукашев К.М., 189, 228, 246  
 Мунасбаева К.К., 279  
 Мурадов А.Д., 189, 228  
 Мургузов М.И., 191  
 Мусаханов Д., 207  
 Муссаева М.А., 230  
 Мустафаев И.И., 306  
 Мустафаева С.Н., 188, 193  
 Мухамеджанов Е., 64  
 Мухамеджанов Е.С., 65, 94  
 Мухамедов М.М., 380  
 Мухамедов Н.Е., 203, 229  
 Мухаметулы Б., 175  
 Мухин К.А., 120  
 Набизаде З.О., 306  
 Наджафов А.И., 254  
 Наджафов Б.А., 378, 387  
 Надилова Х.Б., 254  
 Назаренко Л.М., 165  
 Назаров К.М., 407  
 Накипов Д.А., 405, 406  
 Насурлла М., 133  
 Насурлла М., 37, 73, 94  
 Насуррла М., 134  
 Небесный А.Ф., 392  
 Недорезов В.Г., 76, 77, 88  
 Несвижевский В.В., 140  
 Нестеров Е.А., 398  
 Никитин А.С., 137  
 Никитина З.К., 383  
 Николаев В.А., 365  
 Николаева А.А., 384  
 Ниязов М.Н., 231, 232, 233  
 Новацкий Б.Г., 134  
 Новик А.Н., 366  
 Новикова Н.М., 332, 338  
 Новолодская О.А., 148  
 Нормуродов А.Б., 234  
 Нугуманов Д.К., 406  
 Нурахметов Т.Н., 234  
 Нурбаева Д.А., 380  
 Нургали Е.Е., 249  
 Нуриев М.А., 197  
 Нуритдинов И., 214, 238, 247, 260, 264  
 Нуркасова А.Е., 395  
 Нуруев И.М., 195  
 Нуруев С.М., 195  
 Нургали Е.Е., 235  
 Овчинников М.А., 124  
 Оглоблин А.А., 64, 65  
 Озерной А.Н., 202, 237, 261  
 Окубо А., 369  
 Окунев И.С., 402  
 Олешко В.И., 239  
 Орлин В.Н., 104, 125  
 Орлова Н., 145  
 Орлова Н.В., 107  
 Оруджева А.А., 255  
 Оуджо К., 369  
 Павлов С.С., 297  
 Паницкий А.В., 300, 318, 327, 331  
 Парпиев А.С., 122  
 Пахниц А.В., 229  
 Пенионжскевич Ю.Э., 76  
 Пенязь М.А., 210  
 Пепельшев Ю.Н., 407  
 Петровский А.М., 101, 123  
 Петухов А.К., 140  
 Пикулина Г.Н., 124

Пилипенко В.В., 23  
 Пилюгина А.Л., 358  
 Пискаль В.В., 176  
 Пискорский И.М., 124  
 Платов А.В., 54, 310  
 Плетников Е.В., 313, 315  
 Плисак Р.П., 330, 332, 333, 334, 335, 336, 338  
 Плотников С.В., 239  
 Плюйко В.А., 130  
 Покровский И.В., 367  
 Покровский Н.С., 151  
 Полевик В.В., 296, 330, 333, 334, 336, 359  
 Полешко А.Н., 343  
 Полищук В.П., 364  
 Полтавцева В.П., 240  
 Померанцев В.Н., 18  
 Понкратов Ю.В., 167, 236, 244  
 Пономарев В.Н., 76, 77, 88  
 Попеко А.Г., 139  
 Попов Ю.А., 114, 139, 278, 405  
 Попова М.В., 125  
 Поподько А.И., 126  
 Поташев С. И., 91  
 Поташев С.И., 76, 77, 88, 116, 127  
 Притула Р.В., 109, 128, 160  
 Прозорова И.В., 278  
 Прозорова И.В., 277  
 Пронин С.С., 298, 339  
 Работкин В.А., 49, 50  
 Работкин В.А., 50  
 Радзевич П.В., 44, 72, 130  
 Радченко В.И., 401  
 Рамазанов Т.С., 258  
 Раскоша В.Л., 365  
 Распопов Н.В., 124  
 Рафиева Х.Л., 321  
 Рафиков А.К., 221  
 Рахадиллов Б.К., 241  
 Рахманов С.Дж., 122  
 Рахмонов Т.Т., 33  
 Римский-Корсаков А.А., 98  
 Рогов А.Д., 120, 407  
 Рогов А.С., 398  
 Розанов В.В., 383, 384  
 Романенко В.В., 338, 340, 345, 346  
 Романенко Е.В., 308  
 Романихин В.П., 141  
 Романова Н.К., 406  
 Рофман О.В., 208, 242, 249, 262  
 Ртищев В., 368  
 Рубан С.В., 235, 249  
 Рубцова О.А., 133  
 Рудак Э.А., 101, 123  
 Русаков В.С., 52, 209, 243  
 Русков И.Н., 159  
 Рустамова Д.Ф., 218, 219  
 Рустамова У.Н., 321  
 Руткаускас А.Н., 407  
 Рутковская К.К., 159  
 Рухин А.Б., 249, 329, 343  
 Рыбка А.В., 245  
 Рыжков С.В., 269  
 Саакян А.А., 200  
 Сабзалиев С.А., 194, 306  
 Сабзалиева З.Е., 219  
 Савенко Б.Н., 407  
 Савина Ж.А., 305  
 Саврасов А.Н., 130, 131  
 Садкин В.Л., 398  
 Садуев Н., 134  
 Садыгов А.З., 179, 198  
 Садыков Б.М., 73, 133  
 Садыков Р.А., 338  
 Садыков Т.Х., 134, 148, 176  
 Саидахмедов К.Х., 238, 264  
 Сайко В.В., 135  
 Сайлаубек Д.А., 133  
 Сакута С.Б., 134  
 Салиходжа Ж.М., 234  
 Салманов Ф.Т., 255  
 Салодкин С.С., 397  
 Самарханов К.К., 167  
 Самедов В.В., 138  
 Самедов О.А., 254, 255  
 Самедов С.Ф., 254  
 Самойлов В.В., 150, 151  
 Сандуковский В.Г., 109, 160  
 Сапатаев Е.Е., 227  
 Сапожников Ю.А., 341, 342  
 Сапожникова Л.Д., 342  
 Саргисян А.А., 200  
 Сардарлы Р.М., 255  
 Сатпаев Д.А., 237  
 Саттиев А.Р., 273  
 Сафарова В.М., 387  
 Сахаров С.Л., 402  
 Сахиев С.К., 35, 40, 242, 244  
 Свирихин А.И., 139  
 Севериненко М.А., 343  
 Севрюков О.Н., 210  
 Седых С.Н., 169  
 Седышев П. В., 140  
 Сеидов Ф.М., 188  
 Сейтқали А.Ә., 41  
 Сексембаев Ж.Б., 35, 242, 244  
 Селянкина С.М., 141  
 Селянкина С.М., 60, 64  
 Семенихин С.Ю., 104, 220  
 Семенов А.А., 165  
 Семенов А.С., 397  
 Сёмов Ю.Г., 51, 52  
 Сеньковский К.Г., 365  
 Середавина Т.А., 329, 343  
 Сержанова З.Б., 326, 327, 345  
 Сидоров С.В., 142  
 Силачев И.Ю., 297  
 Сильнягина Н.С., 208  
 Симакин А.В., 169  
 Синельников А.Г., 382  
 Синицын А.П., 378  
 Ситдииков А.С., 137  
 Ситников А.А., 211  
 Ситников А.А., 227  
 Скаков М.К., 203, 227, 229, 241, 277  
 Скобелев Н.К., 19, 76  
 Ской В.Р., 159  
 Скоркин В.М., 56, 120  
 Скуратов В., 206

Скуридин В.С., 398  
 Слепнев Р.С., 76  
 Сляднева В.Н., 354  
 Смирнов А.А., 169  
 Смирнов А.И., 172  
 Соболев Ю.Г., 64  
 Соболев Ю.Г., 76  
 Сокол Е.А., 139  
 Солднер Т., 140  
 Солнышкин А.А., 143  
 Соловьев А.С., 148  
 Соловьёв В.Н., 144  
 Солодовник Е.Н., 130  
 Солодухин В.П., 12, 297, 321  
 Солодухов Г.В., 76, 77, 88, 116  
 Солонинкина С.Г., 375  
 Сохорева В.В., 399  
 Спасская Т.И., 95  
 Спасский А., 145  
 Спасский А.В., 18, 107  
 Спивак-Лавров И.Ф., 301, 347  
 Стальцов М.С., 17  
 Стасюк Е.С., 398  
 Стегайлов В.И., 169, 170, 171, 172  
 Степанов А., 176  
 Степанов Д.Н., 134  
 Степанов М.Е., 83  
 Стомин В.Л., 381  
 Стопани К.А., 47, 104, 125, 146  
 Стрильчук Н.В., 131  
 Стрильчук Ю.Г., 344  
 Студеникин Ф.Р., 378  
 Субботин С.Б., 338, 339, 340, 345, 346, 349  
 Суздальцева Т.В., 354  
 Сулайманов Н.Т., 234  
 Сулаймонов А.А., 221  
 Сулейманов С.С., 179, 198  
 Супрунов В.И., 345, 346  
 Супрунов В.И., 346  
 Суркова И.В., 120  
 Сучков А.Н., 210  
 Сушков А.А., 170  
 Сушков П.А., 402  
 Сушкова Н.С., 329, 343  
 Тагиев Т.Б., 194  
 Таджибаев Д.П., 275  
 Тажибаева И.Л., 227, 277  
 Таипова Б.Г., 233, 270, 271, 272  
 Таова С.М., 59, 60, 124, 147  
 Тарасов В.Н., 23  
 Тарасов Д.В., 23  
 Тарита В.А., 348  
 Таут Е.М., 148  
 Ташметов М.Ю., 221, 234, 273, 391  
 Тезекбаева М.С., 149  
 Темиралиев А.Т., 26, 108  
 Темиралиев Т., 150, 151  
 Темиркулова Н.И., 234  
 Тиванова О.В., 2, 242, 366, 409  
 Титова Л.В., 152, 153  
 Тихонова А.Е., 402  
 Тлебаев К.Б., 231  
 Тлеубергенов Ж.К., 202, 261  
 Тожибоев О.Р., 163  
 Токсаба Ж. А., 78  
 Токтаганов Т.Ш., 350  
 Толстоухов И.И., 382  
 Толстоухов С.С., 400  
 Толстых В.С., 158  
 Топорова А.В., 308  
 Торемурат А.Х., 209  
 Торопов А.С., 351  
 Травкина А.В., 341, 342  
 Третьякова Т.Ю., 57, 83, 112, 142, 159  
 Трзаска В., 64  
 Тугай А.В., 310  
 Тугай Т.И., 310  
 Тузова Т.В., 352  
 Тулебаева Д., 183  
 Тулегенов М.Ш., 406  
 Тулеушев Ю.Ж., 237, 262  
 Тулубаев Е.Ю., 167, 236, 244  
 Туракулов С.А., 155  
 Туринге А.А., 88  
 Турсунов Р.А., 150, 151  
 Турсунов Э.М., 155  
 Турубарова Л.Г., 208  
 Турубарова Л.Г., 208, 242  
 Турченко Д.В., 323, 327, 340, 353  
 Тусеев Т.Т., 248  
 Тўрлыбекұлы А. <sup>2</sup>, 239  
 Тюкавина Т.М., 402  
 Тюрин В.М., 345  
 Тюрин Г.П., 64  
 Тютюнников С.И., 169, 171, 172  
 Уваров В.Л., 389, 401  
 Углов В.В., 216  
 Узиков Ю.Н., 78, 80  
 Улыбкин А.Л., 245  
 Умаров М.А., 340  
 Умаров Ф.Ф., 228, 246  
 Умеров Р.А., 389  
 Уразаева М.А., 185  
 Уразбеков Б.А., 158  
 Урманов Р.Р., 366, 409  
 Утенков С.Н., 106  
 Ушаков И.В., 381  
 Фадеев М.С., 243  
 Файзуллаев Б.С., 247  
 Фарадж-заде И.А., 250  
 Федорец И.Д., 389, 401  
 Федоров В.В., 104, 220  
 Федоров Н.А., 159  
 Федосимова А.И., 108  
 Федотов И.В., 210  
 Филиппова Л.Н., 354  
 Философов Д.В., 395, 401  
 Фирсанов В.Б., 348  
 Фоков Ю.Г., 159  
 Фомичев А.С., 76  
 Францев Ю.В., 278  
 Фронтасьева М.В., 297  
 Халыгзаде А.Ш., 194  
 Ханкин В.В., 47, 104, 125, 146  
 Ханкишиева Р.Ф., 390  
 Харитонова Д.Д., 50  
 Харкин П.В., 309  
 Харчевников П.Б., 108



Хасанов М, 93  
Хасенов М.У., 167  
Хвостов С.С., 382  
Хлебников С.В., 64  
Ходжаев Р.А., 94  
Ходжаев Р.А., 37  
Ходиев А.Х., 389  
Холмедов Х.М., 273  
Хоменков В.П., 131  
Храмко К., 159  
Храмов В.В., 365  
Хромушин И.В., 199, 248, 249, 283  
Хужаев С., 400  
Хушвактов Ж.Н., 172  
Хушвактов Ж.Х., 143  
Цай К.В., 242, 249, 262  
Царенков С.А., 407  
Целяев В. И., 114  
Циммер О., 140  
Цирков Д., 106, 113  
Чакров П., 369  
Чакров П.В., 405, 406  
Чакрова Е.Т., 375, 393  
Чалоун П., 171  
Чекушина Л.В., 406  
Челноков М.Л., 139  
Чепигин В.И., 139  
Чередниченко О.Г., 358  
Чернов В.И., 398  
Чернов И.И., 17, 208  
Чернышев Б.А., 109, 128, 160  
Черняев А.П., 126, 161, 310, 313, 378, 382, 383, 384  
Чихрай Е.В., 181, 236, 256, 265, 276, 282  
Шаймерденов А.А., 405, 406  
Шакиров А.Л., 395  
Шаланьский П., 140

Шамилов Э.Н., 295  
Шапиро Д.Д., 162  
Шарапов Э.И., 117  
Шарафутдинова Д.Н., 40  
Шаров П.Г., 86  
Шатров А.Н., 308, 360  
Шафеев Г.А., 169  
Швецов В.Н., 11  
Шевченко Ю.С., 359  
Шестаков В.П., 181, 265, 282  
Шиляев Б.А., 245  
Шитов М. И., 177  
Шлимас Д.И., 185  
Шмыгалева Т.А., 266, 267, 272  
Шнейдман Т.М., 139  
Шукюрлы А.А., 197  
Шульгина Е.В., 140  
Шуляк Г.И., 402  
Шута М., 172  
Шелухина Е.В., 376  
Щербаков И.А. <sup>1</sup>, 169  
Щуренкова Т.Д., 109, 128  
Эдомская М.А., 309  
Эпих Г., 369  
Эргашев Ф.Х., 163  
Эрдонов М.Н., 273  
Эсанов З.У., 238, 247  
Эюбов К.Т., 194  
Юров Д.С., 384  
Юхневич В.А., 124  
Юшкевич Ю.В., 170  
Юшков А.В., 69, 70, 74, 395, 396, 413, 414  
Якушев Е.М., 165  
Янкаускас А.Б., 360  
Яр-Мухамедова Г.Ш., 189, 228  
Яскевич В.И., 261

**УДК 621.039:539.104(063)**  
**ББК 22.383:22.386**

**ISBN 978-601-06-4394-9**

Международный научный форум «Ядерная наука и технологии», посвященный 60-летию Института ядерной физики (11-я Международная конференция «Ядерная и радиационная физика»; Международная конференция «Ядро-2017» (67-е Совещание по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра); 8-я Евразийская конференция «Ядерная наука и ее применение»). Тезисы докладов. – Алматы: РГП ИЯФ, 12-15 сентября 2017г. – 450 с.

International Scientific Forum «Nuclear Science and Technologies», dedicated to the 60<sup>th</sup> anniversary of the Institute of Nuclear Physics (11<sup>th</sup> International Conference «Nuclear And Radiation Physics», International Conference «Nucleus-2017» (67<sup>th</sup> Meeting on Nuclear Spectroscopy and Atomic Nucleus Structure), 8<sup>th</sup> Eurasian Conference «Nuclear Science and its Application»). Abstracts. – Almaty: RSE INP, September 12-15, 2017. – 450 p.

**РГП «Институт ядерной физики»  
Министерства энергетики Республики Казахстан  
050032, г. Алматы, ул. Ибрагимова, 1  
Тел. +7(727)3866800, факс +7(727)3865260  
[info@inp.kz](mailto:info@inp.kz)  
[www.inp.kz](http://www.inp.kz)**

**The Institute of Nuclear Physics  
of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan  
050032, Almaty, Ibragimova street, 1  
Tel. +7(727)3866800, fax +7(727)3865260  
[info@inp.kz](mailto:info@inp.kz)  
[www.inp.kz](http://www.inp.kz)**