

# ***РАЗВИТИЕ ЯДЕРНО- ФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ЭЛЕМЕНТНОГО И ИЗОТОПНОГО АНАЛИЗА***

---

***И.А.Митропольский***

Лаборатория ядерной спектроскопии  
Петербургский институт ядерной физики  
им.Б.П.Константинова  
НИЦ «Курчатовский институт»



Контур промежуточного охлаждения реактора



Насосная аварийного охлаждения



Бак реактора



Зал горизонтальных экспериментальных каналов



Зал агрегатов спецвентиляции



Реакторный комплекс ПИК (сейчас)



Зал наклонных экспериментальных каналов



Зал легководной очистки



Шахта реактора



Технологический зал

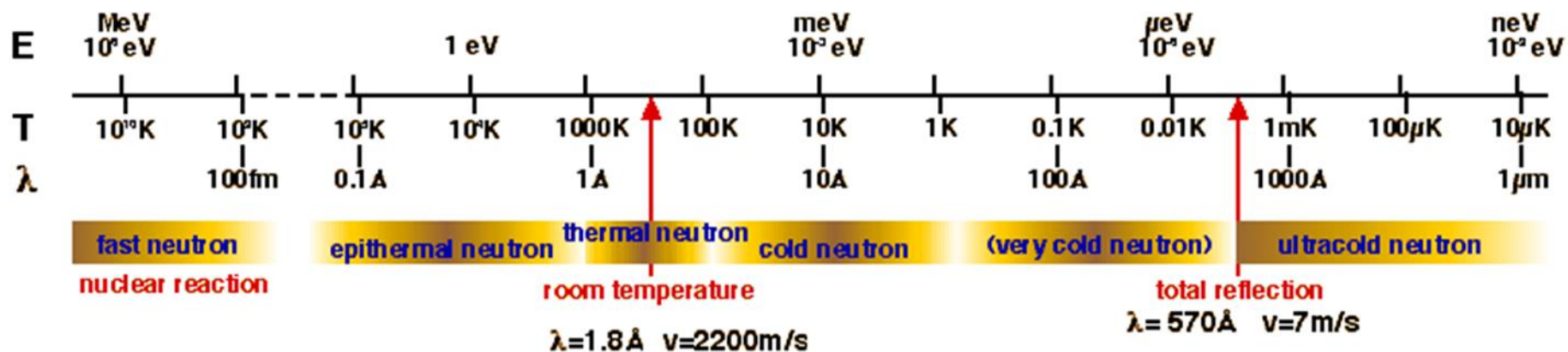


Главный щит реактора



Технологический зал

# Нейтронный спектр



- Фундаментальные свойства нейтрона
- Нейтронное рассеяние
- Материаловедение (наноструктуры)
- Ядерная спектроскопия и структура ядра
- Анализ состава вещества

# *Нейтронные методы исследования вещества*

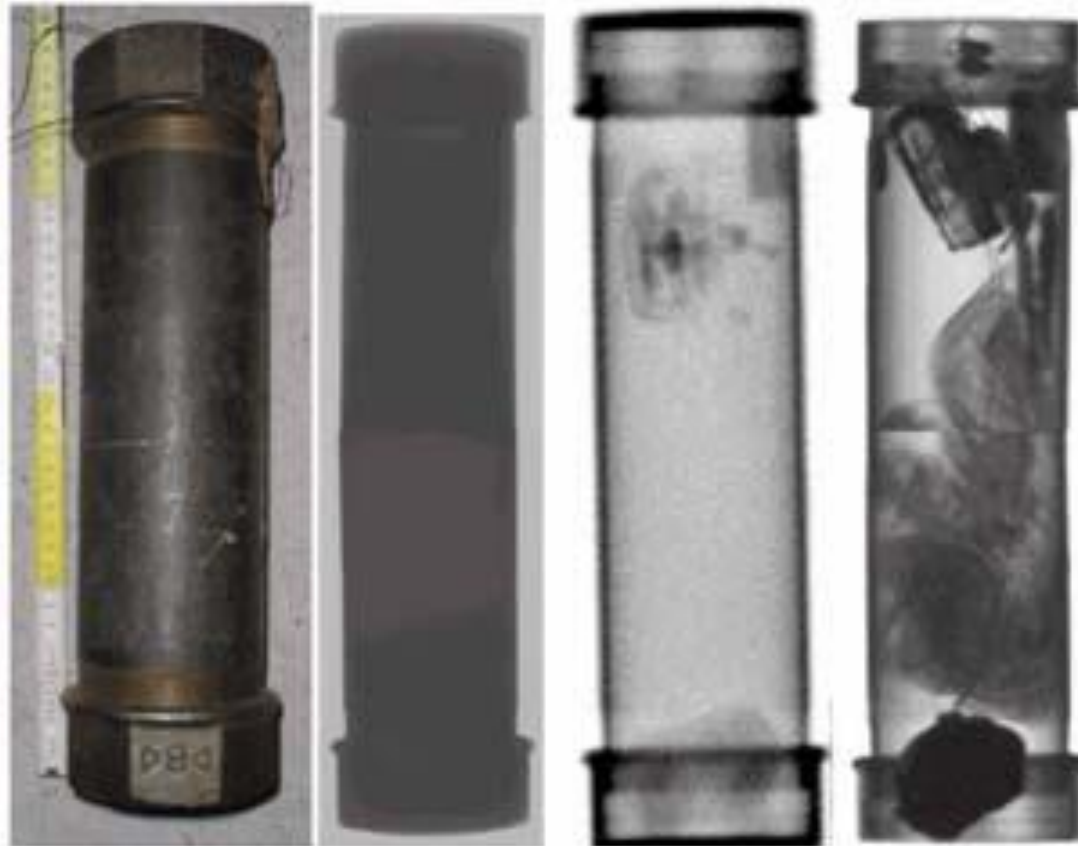


---

- Исследование неоднородностей плотности – нейтронная радиография.
- Исследование структуры вещества – рассеяние нейтронов.
- Исследование состава вещества – ядерные реакции.

*Переход к регистрации ядерного излучения – возможность определения изотопного состава.*

# Нейтронография

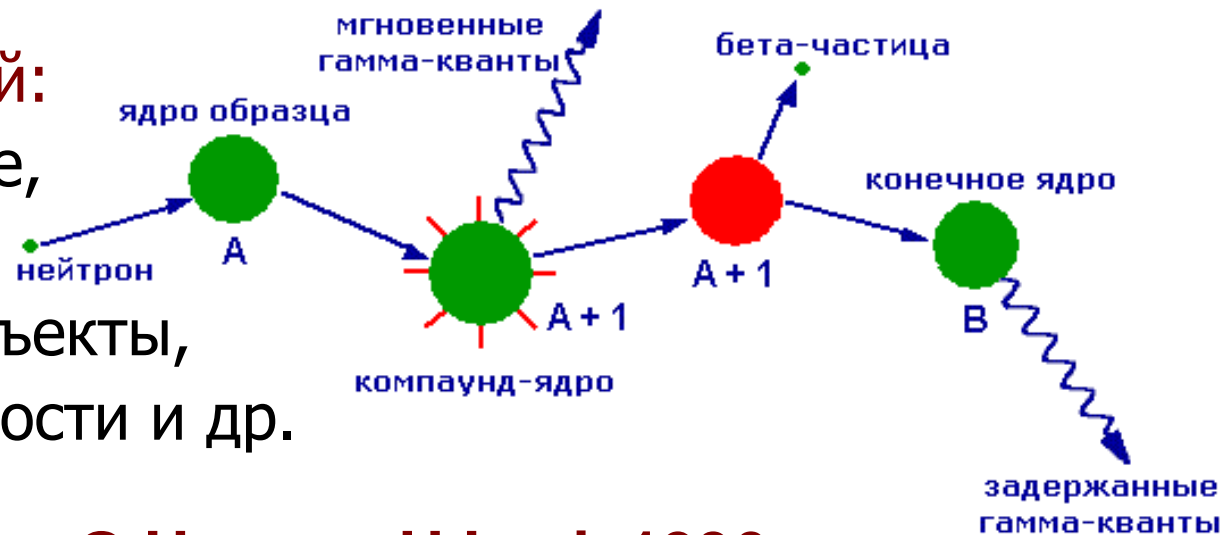


Муляж бомбы: обычное фото (а) и изображения в рентгеновских лучах (150 keV) (б), в гамма-лучах (1.3 MeV) (в) и с помощью тепловых нейтронов (г).

# Нейтронно-активационный анализ

## Области приложений:

- материаловедение,
- геология,
- биологические объекты,
- системы безопасности и др.



**G.Hevesy, H.Levi, 1936.**

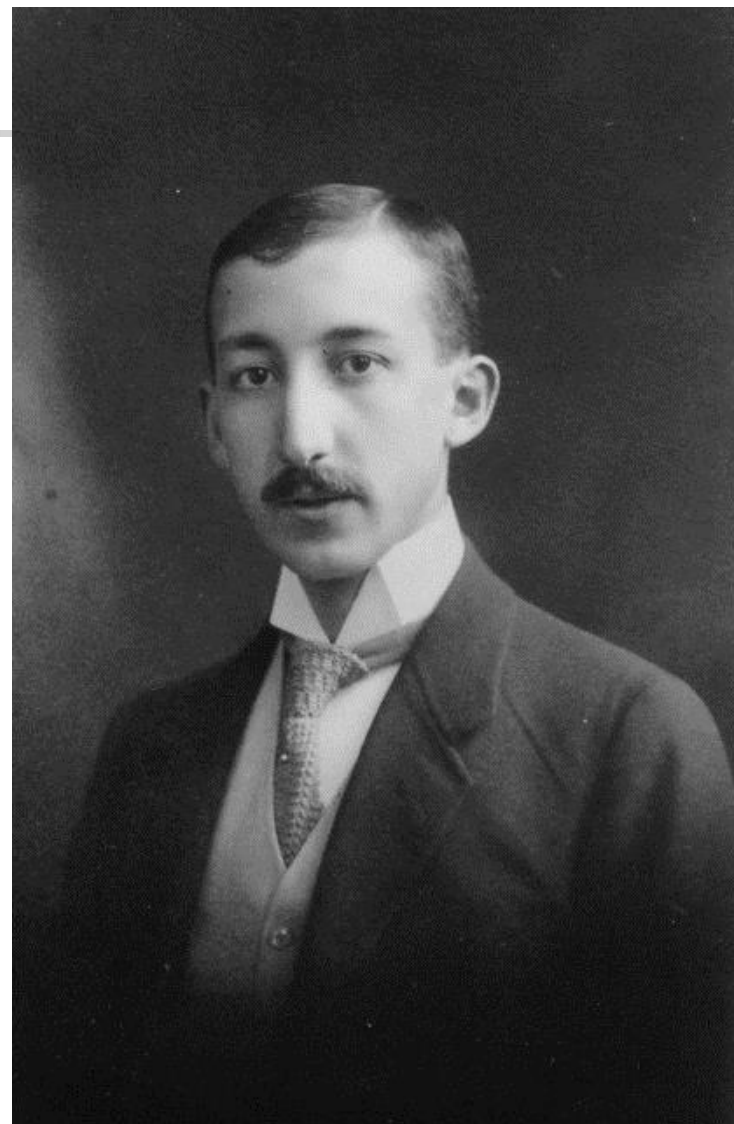
## Элементы методики, определяющие новизну:

- пробоподготовка,
- облучение и детектирование,
- обработка спектров.

# Дьёрдь Хевеши

1885-1966

- 1913 — предложен метод изотопных индикаторов (меченых атомов), применение его для биологических исследований совместно с Ф.Панетом.
- 1922 — открытие гафния совместно с Д.Костером.
- 1936 — первое применение активационного анализа совместно с венгерским химиком Г. Леви.
- Нобелевская премия по химии (1943) «За работу по использованию изотопов в качестве меченых атомов при изучении химических процессов»



# *Астроблема – ударный кратер*



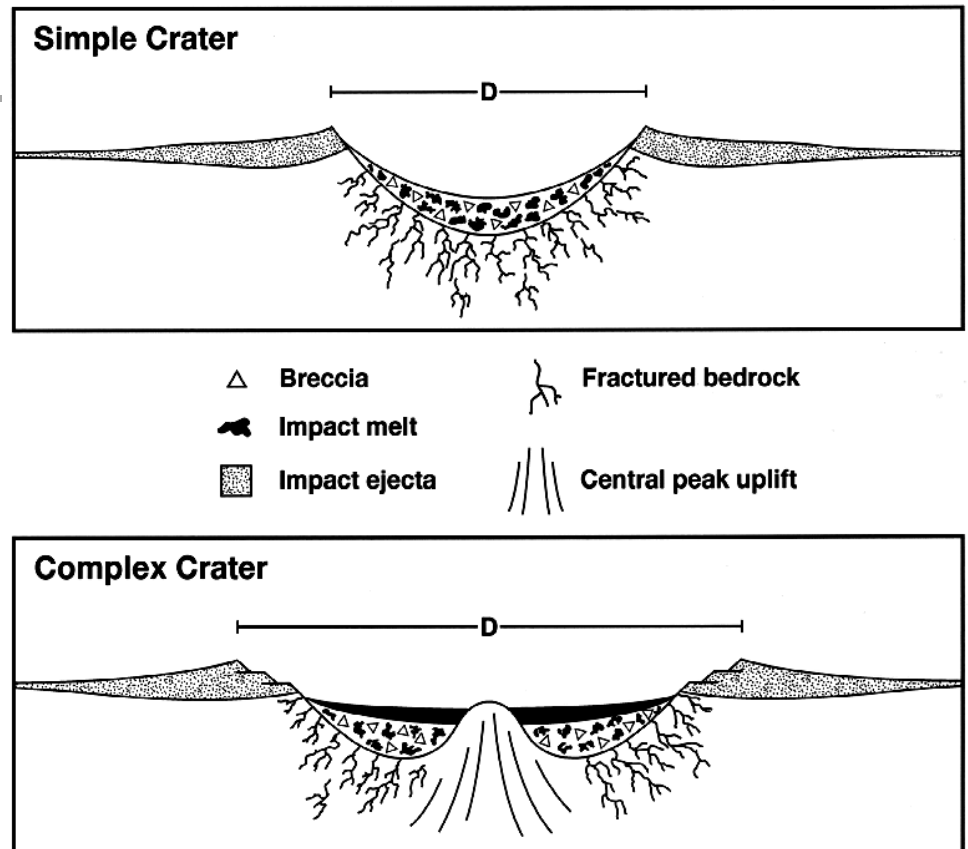
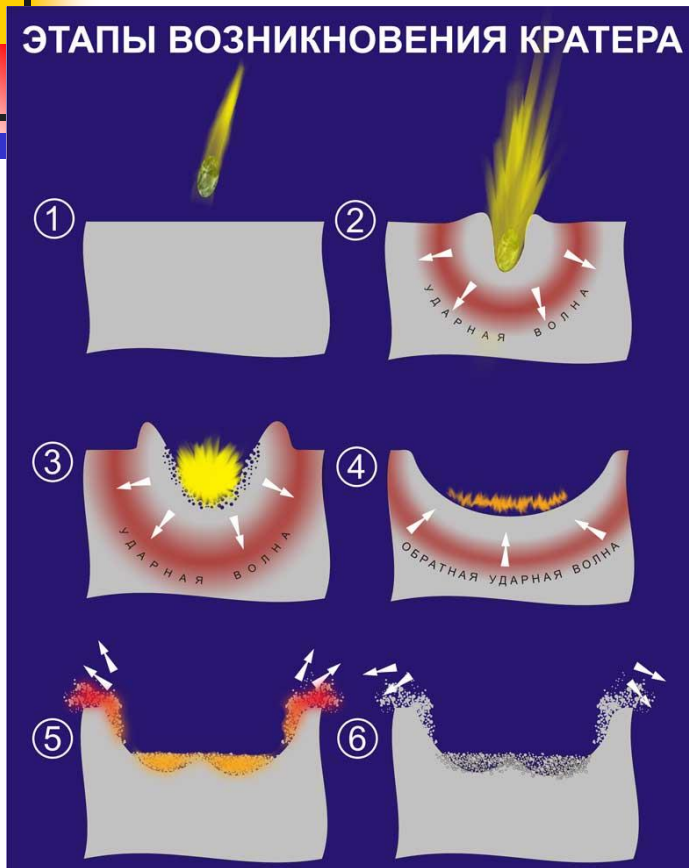
Аризонский кратер Берринджера

Кратер Manicouagan, Канада.





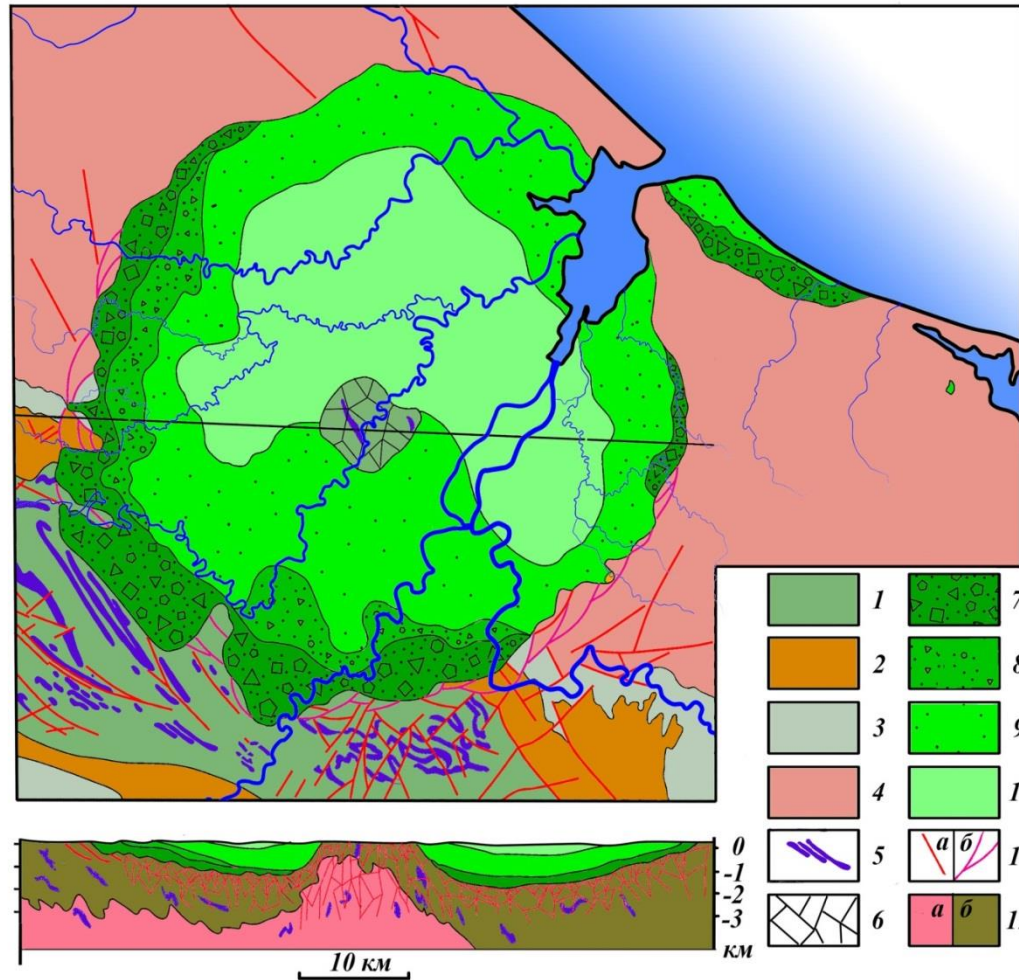
# Формирование кратера



После остывания и затвердевания на днище кратера образуется слой импактита — горной породы с весьма необычными геохимическими свойствами. В частности, она весьма сильно обогащена крайне редкими на Земле, но более характерными для метеоритов химическими элементами — иридием, осмием, платиной, палладием.

# Карская астроблема, Югорский полуостров

По предварительным данным циркон в тагомитовых жилах содержит  $ZrO_2$  до 65%,  $HfO$  до 2.5%. Монацит и апатит из жильных тагамитов содержит  $La_2O_3$  до 21%,  $Ce_2O_3$  до 35.5%,  $Pr_2O_3$  до 4.3%,  $Nd_2O_3$  до 13.6%,  $Sm_2O_3$  до 1.7%. Купроауриды Карской астроблемы содержат 6 – 9% серебра.



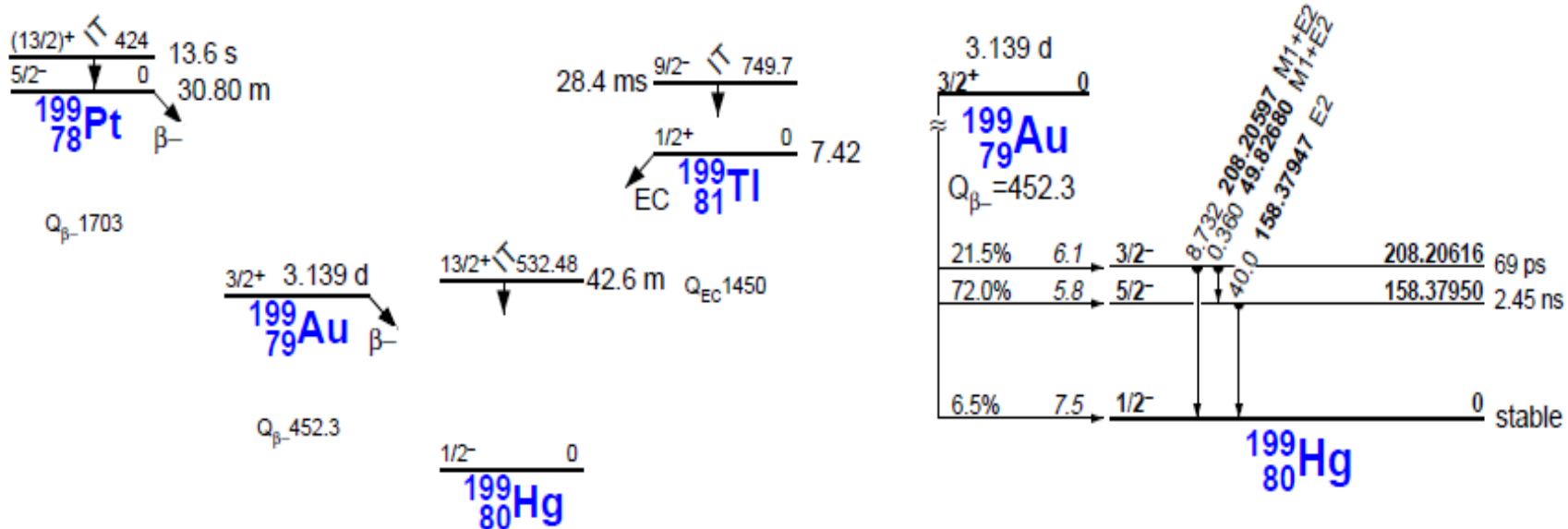
**Определено содержание 31 элемента в исследуемых образцах с пределами обнаружения на уровне  $10^{-4}$  –  $10^{-9}$  %.**

Нуклид	$E_\gamma$ , кэВ	$\gamma$ -абн, %	$T_{1/2}$ , сут	C, % масс	ПО, % масс
$^{59}\text{Fe}$	1099.25	56.50	44.50	$7.55(18) \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-8}$
$^{60}\text{Co}$	1173.23	99.85	1925	$6.02(8) \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-8}$
$^{58}\text{Co}$	810.80	68.27	70.80	$2.0(7) \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-5}$
$^{134}\text{Cs}$	604.72	97.62	754.2	$1.22(15) \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-5}$
$^{140}\text{La}$	1596.21	95.40	1.68	$1.37(4) \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-7}$
$^{141}\text{Ce}$	145.44	48.29	32.50	$2.85(2) \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-7}$
$^{154}\text{Eu}$	344.28	26.56	4944	$6.7(4) \cdot 10^{-5}$	$7 \cdot 10^{-7}$
$^{233}\text{Th}$	311.90	38.50	26.97	$3.2(3) \cdot 10^{-4}$	$4 \cdot 10^{-6}$
$^{239}\text{U}$	106.12	26.30	2.36	$1.56(14) \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-6}$

# Определение содержания платины

Природная платина содержит 6 изотопов: четыре стабильных,  $^{194}\text{Pt}$  (32,9%),  $^{195}\text{Pt}$  (33,8%),  $^{196}\text{Pt}$  (25,2%),  $^{198}\text{Pt}$  (7,2%), и два радиоактивных -  $^{190}\text{Pt}$  (0,013%,  $6,9 \cdot 10^{11}$  лет),  $^{192}\text{Pt}$  (0,78%, 1015 лет). Сечение активации сравнительно невелико - 8,8 барн; периоды полураспада малы.

Для определения содержания платины лучше всего подходит распад изотопа  $^{199}\text{Pt}$  от нейтронного захвата на изотопе  $^{198}\text{Pt}$  по цепочке  $^{199}\text{Pt} - ^{199}\text{Au} - ^{199}\text{Hg}$ , с периодом полураспада – 3.14 дня:



# Открытие рения

- Существование рения было предсказано Д.И.Менделеевым («тримарганец») в 1871 г.
- Элемент открыли в 1925 г. немецкие химики Ида и Вальтер Ноддак, исследуя минерал колумбит спектральным анализом в лаборатории компании Siemens & Halske. В следующем году группа учёных выделила из молибденита первые 2 мг рения. Относительно чистый рений удалось получить только в 1928 г. Для получения 1 г рения требовалось переработать более 600 кг норвежского молибденита.
- Рений стал последним открытым элементом, у которого известен стабильный изотоп. Все элементы, которые были открыты позднее рения (в том числе и полученные искусственно), не имели стабильных изотопов.



# Свойства рения

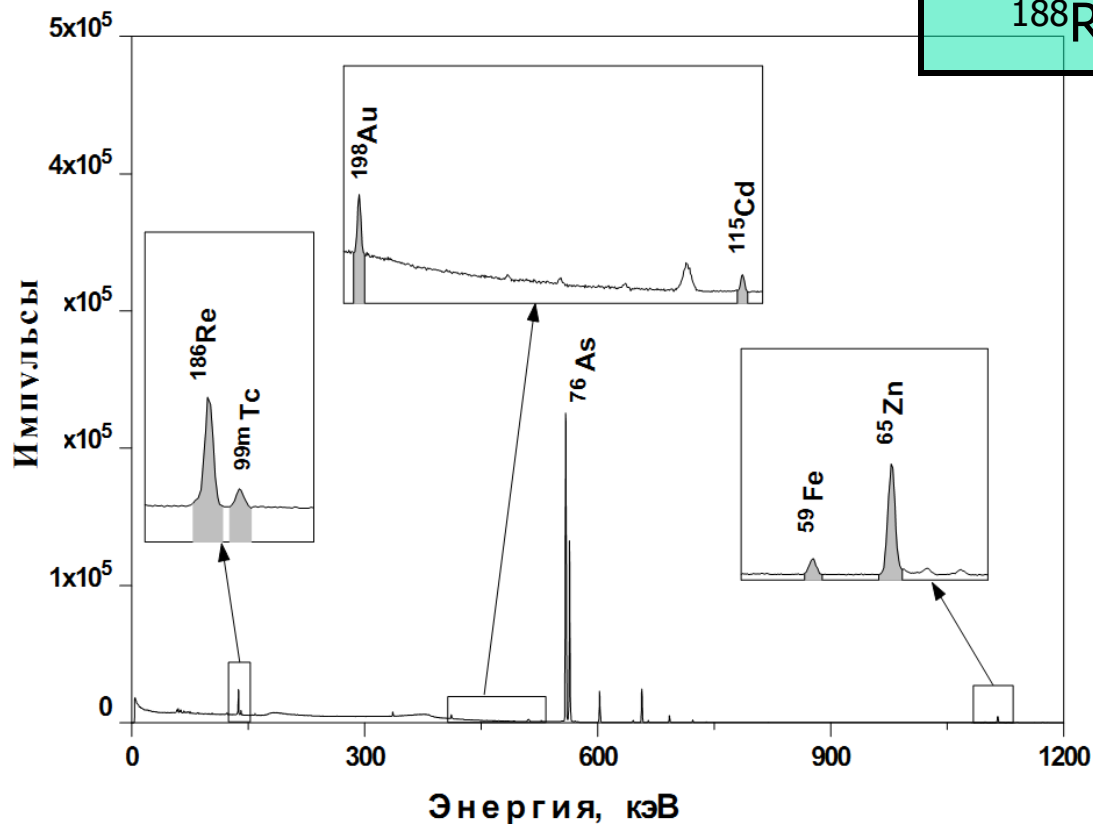
---

- Самый редкий элемент в Земной коре – 0.0007 г/т.
- Мировая добыча рения в 2006 году составила около 40 тонн. По природным запасам рения на первом месте в мире стоит Чили, на втором месте — США, а на третьем — Россия (запасы рения в виде реннита на острове Итуруп оцениваются в 10—15 тонн, в виде вулканических газов — до 20 тонн в год).
- Общие мировые запасы рения составляют около 13 000 тонн, в том числе 3500 тонн в молибденовом сырье и 9500 тонн — в медном.
- Природный рений состоит из двух изотопов:  $^{185}\text{Re}$  (37,07 %) и  $^{187}\text{Re}$  (62,93 %). Первый из них стабилен, а второй испытывает бета-распад с периодом полураспада 43,5 млрд лет. Этот распад используется для датировки древних руд и метеоритов по накоплению в минералах, содержащих рений, стабильного изотопа  $^{187}\text{Os}$ . Распад  $^{187}\text{Re}$  интересен также тем, что его энергия является наименьшей (всего 2,6 кэВ) среди всех изотопов, испытывающих бета-распад.

# Определение рения

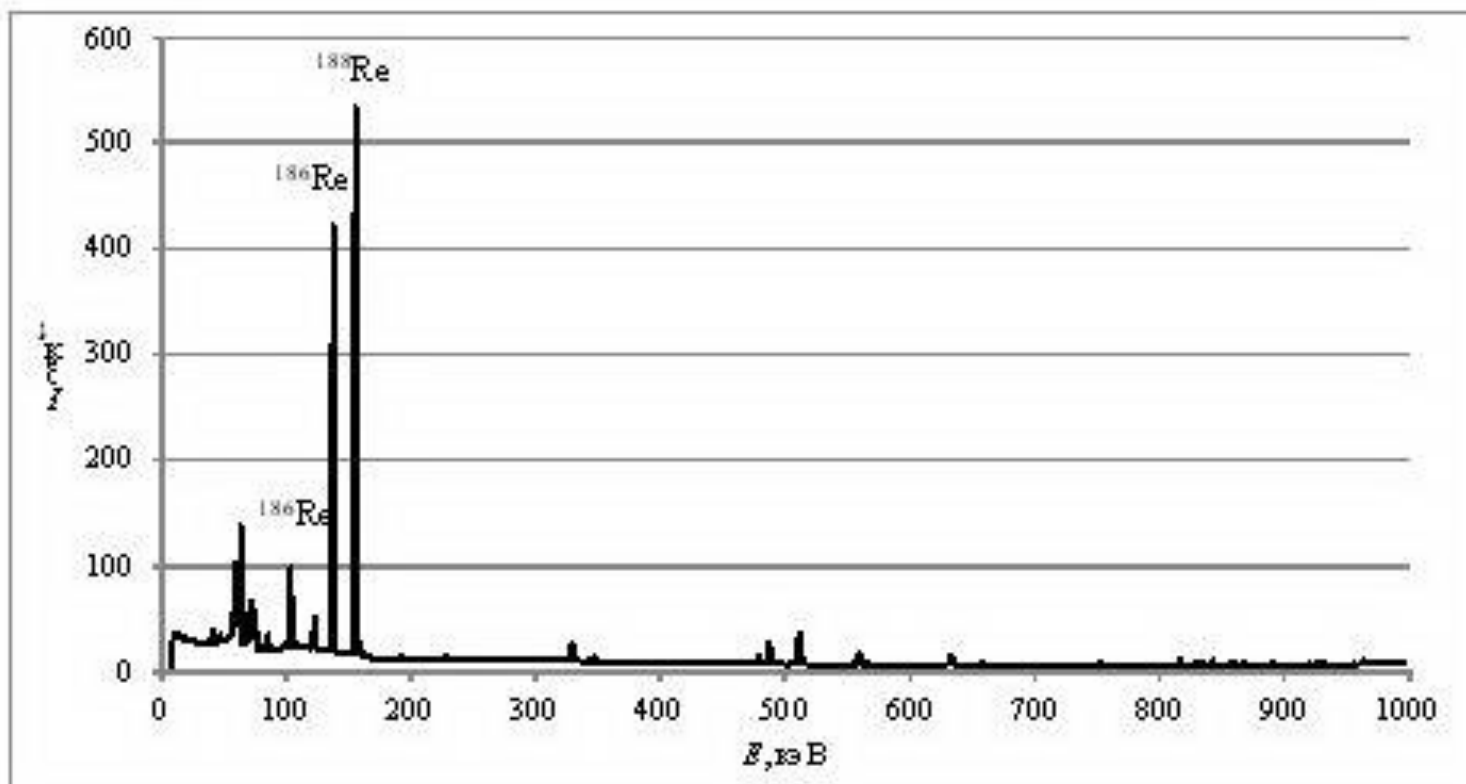
Аналитические линии Re:

Изотоп	$E_{\gamma}$ , кэВ	$T_{1/2}$
$^{186}\text{Re}$	122.3	3.78 д
$^{186}\text{Re}$	137.2	3.78 д
$^{188}\text{Re}$	155.0	16.8 ч



Гамма-спектр образца  
облучение - 3 часа,  
выдержка - 3 дня,  
измерение - 10 мин.

# Гамма-спектр в ионнообменной хроматографической системе







# Содержание Au, Pt, Re, Ir и Ag (% масс) в образцах Милоградовского золотосеребряного месторождения

Образец	Au	Pt	Re	Ag	Ir
582 28-12	6.8(8) 10 <sup>-5</sup>	4.6(4) 10 <sup>-4</sup>	7(2) 10 <sup>-7</sup>	3.9(2) 10 <sup>-3</sup>	5.2(3) 10 <sup>-5</sup>
583 15-12	2.3(4) 10 <sup>-6</sup>	1.0(1) 10 <sup>-3</sup>	1.3(4) 10 <sup>-6</sup>	2.4(2) 10 <sup>-4</sup>	1.3(8) 10 <sup>-4</sup>
583 16-12	2.8(6) 10 <sup>-6</sup>	4.2(3) 10 <sup>-4</sup>	6(2) 10 <sup>-7</sup>	1.7(1) 10 <sup>-4</sup>	7.4(3) 10 <sup>-5</sup>
583 66-13	3.2(2) 10 <sup>-4</sup>	4.5(3) 10 <sup>-4</sup>	1.3(1) 10 <sup>-6</sup>	1.6(1) 10 <sup>-2</sup>	8(2) 10 <sup>-5</sup>
583 80-13	8.7(9) 10 <sup>-4</sup>	1.1(1) 10 <sup>-3</sup>	2.8(3) 10 <sup>-6</sup>	4.0(2) 10 <sup>-2</sup>	2.5(8) 10 <sup>-4</sup>

Подтверждено существование Re в золотосодержащих рудах.

# Результаты определения *Re* в диктионемовых сланцах (г/т)

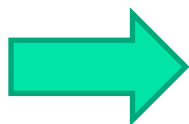
Проба	ВСЕГЕИ*	ДВГИ*	ПИЯФ
30797	0.12	0.14	0.15
30822	0.09	0.11	0.10
24566	0.10	0.12	0.12
23784	0.22	0.22	0.19
30808	0.23	0.27	0.26

\*) Масс-спектрометрический метод с индуктивно связанной плазмой

# Нейтронно-активационный анализ образцов нефти

Определены концентрации элементов в образцах восточно-сибирской нефти в пределах от  $10^{-9}$  до 0.5 %.

Пределы  
определения  
*DL*, ppm



Элемент	<i>DL</i>	Элемент	<i>DL</i>	Элемент	<i>DL</i>
Na	0.1	Zn	0.2	Sm	0.0002
K	2	Ga	0.0003	Yb	0.0001
Ca	10	As	0.0001	W	0.0007
Sc	0.0001	Sr	0.1	Pt	0.007
Cr	0.006	Ag	0.001	Au	0.00008
Fe	0.6	Sn	0.007	Hg	0.0002
Co	0.0005	Ba	0.02	U	0.001



---

***Спасибо за внимание!***

***Mitropolsky\_IA @pnpi.nrcki.ru***