

Санкт-Петербургский государственный университет

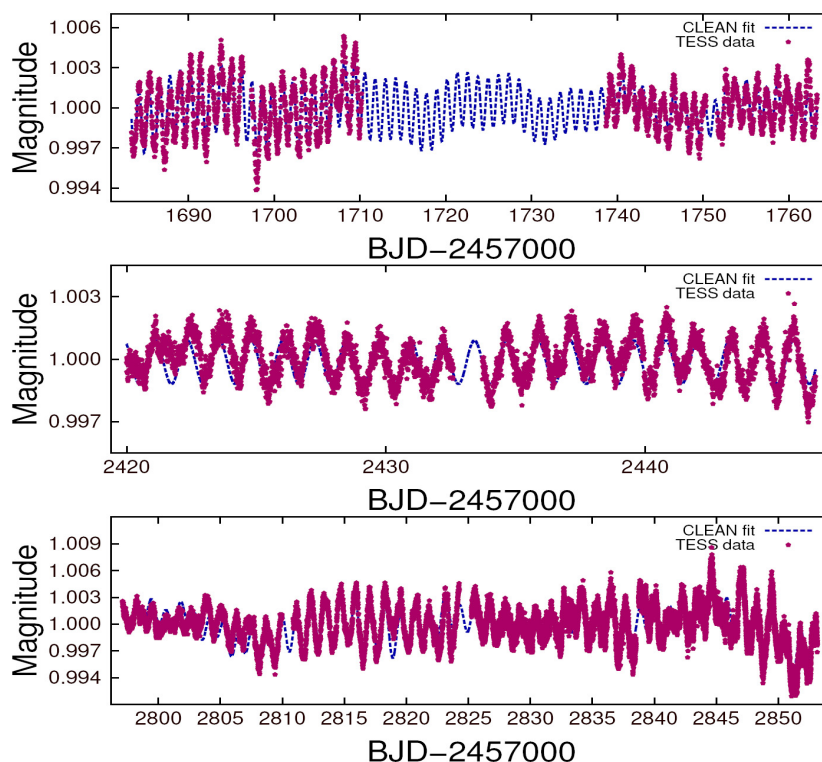
Международная конференция

Физика звёзд

В ЭПОХУ МНОГОВОЛНОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

(Звёзды–2025)

Тезисы докладов



Санкт-Петербург  
22–26 сентября 2025

Тезисы докладов Международной конференции «Физика звёзд в эпоху многоволновых наблюдений (Звёзды–2025)». 22–26 сентября 2025 г. Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия, 143 стр.

Редакторы: А. Ф. Холтыгин, А. В. Дементьев

При поддержке гранта РФФИ 23-22-00090

# Содержание

<b>1 Методы наблюдательной астрофизики. Атомные и молекулярные данные в физике звёзд</b>	<b>11</b>
Теоретические исследования неупругих процессов при атомных столкновениях Андрей К. Беляев . . . . .	12
Применение упрощённой модели для оценки констант скорости процессов взаимной нейтрализации при столкновениях $B^+ + A^-$ Ярослав В. Воронов, Светлана А. Яковлева, Андрей К. Беляев . . . . .	14
Новые возможности для поисков кандидатов в магнитные звезды Иосиф И. Романюк, Илья А. Якунин, Елена П. Корчагина, Анастасия В. Моисеева, Виталий Н. Аитов . . . . .	16
Атомные данные для астроспектроскопии Татьяна А. Рябчикова . . . . .	17
Запыленный ветер — поляриметрические наблюдения с высоким угловым разрешением Борис С. Сафонов, Анастасия Е. Федотова, Сергей Г. Желтоухов, Андрей М. Татарников, Виктор И. Шенаврин, Иван А. Страхов . . . . .	18
Исследования неупругих процессов при литий-водородных столкновениях строгими квантовыми стационарным и нестационарным методами Максим Ю. Яковлев, Андрей К. Беляев . . . . .	19
Исследование неупругих процессов, происходящих при столкновениях серебра и водорода Светлана А. Яковлева, Вера А. Васильева . . . . .	21
<b>2 Атмосферы звёзд: наблюдения и моделирование</b>	<b>22</b>
Исследование магнитного поля яркого гиганта HR 3042 Варвара В. Бутковская . . . . .	23
Сетка моделей протяжённых атмосфер в диапазоне температур от 8000 К до 15 000 К Евгений О. Дедов, Александр С. Винокуров, Александр Е. Костенков, Юлия Н. Соловьёва . . . . .	25
Влияние отклонений от дипольного магнитного поля на профили водородных линий в спектрах магнитосфер молодых звёзд Денис В. Дмитриев . . . . .	26
Исследование катаклизмических переменных типа SU UMa и WZ Sge Анастасия А. Дудник . . . . .	27
Исследование сверхгиганта в рентгеновской двойной Лебедь X-1 = HDE226868 Евгения А. Карицкая . . . . .	28

Ветер и ближайшее звездное окружение спящей яркой голубой переменной Var 2 в галактике M33 Александр Е. Костенков . . . . .	29
Оценка скорости нагрева газа МГД волнами в стандартной модели спокойной солнечной хромосферы Виктор А. Малютин, Оксана М. Белова, Константин В. Бычков . . . . .	30
He-ЛТР анализ линий Pd I у выборки звёзд с дефицитом металлов для понимания происхождения палладия Людмила И. Машонкина, Александр В. Смогоржевский . . . . .	31
Каталитическое образование ПАУ в оболочках звезд АВГ Мария С. Мурга, Иван В. Логинов, Дмитрий З. Вибе . . . . .	32
Моделирование многоцветных кривых блеска химически пекулярной звезды CU Vir Юрий В. Пахомов, Илья С. Потравнов, Татьяна А. Рябчикова . . . . .	33
Анализ содержания химических элементов спектроскопической двойной $\alpha$ Equulei Анна М. Романовская, Сергей Звягинцев . . . . .	34
Происхождение и эволюция содержания Li, Be и B по наблюдениям звёзд разных типов Татьяна М. Ситнова . . . . .	35
Поиск эмиссионных звезд высокой светимости в галактике NGC1433 Ольга Н. Шолухова . . . . .	36
<b>3 Искусственный интеллект и большие данные</b>	<b>37</b>
Алгоритмы активного поиска аномалий в эпоху широкопольных астрономических обзоров неба Матвей В. Корнилов . . . . .	38
Поиск вспышек красных карликов в данных ZTF DR17 при помощи методов машинного обучения Анастасия Д. Лаврухина . . . . .	39
Машинное обучение в астрономии Мария В. Пружинская . . . . .	41
Поиск аномалий в каталогах ZTF с использованием бинарных классификаторов Тимофей А. Семенихин . . . . .	42
<b>4 Фундаментальные параметры звёзд. Магнитные поля звёзд</b>	<b>44</b>
Комплексные исследования быстровращающейся MCP-звезды 56 Ari с учетом эффекта пекулярности Сабир Г. Алиев, Захра М. Альшова, Вагиф М. Халилов . . . . .	45

<b>Синергия рентгеновской и оптической астрономии в обнаружении новых двойных систем с большим отношением масс и в определении фундаментальных параметров звезд</b>	
<b>Ильфан Ф. Бикмаев</b> , Ирек М. Хамитов, Марк А. Горбачев, Эльдар Н. Иртуганов, Евгения А. Николаева, Михаил В. Сусликов, Александра Э. Ахметханова, Полина Д. Ефремова, Рустам И. Гумеров, Наиль А. Сахибуллин, Марат Р. Гильфанов, Рашид А. Сюняев, Павел С. Медведев . . . . .	47
<b>Что даёт современная астрометрия и многоволновая фотометрия галактических шаровых скоплений для физики звёзд?</b>	
<b>Георгий А. Гончаров</b> , Сергей В. Троицкий, Ольга С. Рютина . . . . .	48
<b>Результаты исследований предкатаклизмических переменных с sdВ-субкарликами</b>	
<b>Наиля Деминова</b> , Владислав Шиманский, Николай Борисов, Ильфан Бикмаев . . . . .	49
<b>Распределение молодых звезд с протопланетными дисками по массам и возрастам</b>	
<b>Ольга В. Еретнова</b> , Сергей А. Хайбрахманов . . . . .	50
<b>Неустойчивость Тейлера в лучистых зонах звезд</b>	
<b>Леонид Л. Кичатинов</b> . . . . .	51
<b>Исследование LDR метода определения эффективных температур у F-G-K звезд</b>	
<b>Сергей А. Коротин</b> , Кирилл О. Киселев . . . . .	52
<b>Определение параметров звезд типа <math>\gamma</math> Cas</b>	
<b>Дмитрий Н. Мокшин</b> . . . . .	53
<b>Изучение массивных ОВА звёзд с рентгеновским излучением</b>	
<b>Е. А. Николаева</b> , И. Ф. Бикмаев, Э. Н. Иртуганов, М. Р. Гильфанов, Р. А. Сюняев, П. С. Медведев . . . . .	54
<b>Последние достижения в исследовании магнитных полей звезд верхней части ГП с радиативными атмосферами</b>	
<b>И. А. Якунин</b> . . . . .	55
<b>5 Звёздная активность, молодые звёзды</b>	<b>56</b>
<b>Periodical Variations of Emission Spectral Lines of the Herbig Ae Star HD190073</b>	
<b>Nemayil Adigozalzade</b> , Silva Jarvinen, Svetlana Hubrig, Ulviyya Bashirova, Nariman Ismailov . . . . .	57
<b>Spectral features of HD 141569 in the optical wavelength range in 2017-2023 years</b>	
<b>U. Z. Bashirova</b> , H. N. Adigozalzade, N. Z. Ismailov . . . . .	58
<b>Photometric and spectral variability in the symbiotic star CH Cygni</b>	
<b>Kh. M. Mikailov</b> , R. T. Mammadov, <b>A. B. Rustamova</b> . . . . .	59
<b>A new subgroup of Herbig Ae/Be stars</b>	
<b>Улву С. Велиев</b> , Фаида С. Гусейнова, Нариман З. Исмаилов . . . . .	60

Оптические вспышки в окрестностях Солнца: исследование звезд в пределах 30 парсек из каталога ePOZITA/CPG по данным наблюдений TESS Марк А. Горбачев, Ильфан Ф. Бикмаев, Ирек М. Хамитов, Марат Р. Гильфанов, Рашид А. Сюняев, Павел С. Медведев . . . . .	61
Результаты долговременных фотометрических и спектральных наблюдений молодой массивной звезды V645 Cyg Станислав Ю. Горда, Анастасия П. Бисярина, Андрей М. Соболев . . . . .	62
Магнитосферная аккреция и запыленный ветер — основные причины активности молодых звезд Константин Гранкин . . . . .	63
Исследование динамики фрактальных характеристик протонных событий, происходящих на Солнце в микроволновой области Ширин Ш. Гусейнов, Сади Ш. Гусейнов . . . . .	64
Вуалирование фотосферных линий в спектрах звезд типа UX Ori в глубоких минимумах блеска. I Звезда RR Tau Полина О. Димитриева, Владимир П. Гринин, Лариса В. Тамбовцева . . . . .	66
Три десятилетия оптической фотометрии фуора V1057 Cyg и две уникальные особенности: «вилка» в цветах и увеличение периодов вращения Мансур Ибрагимов . . . . .	67
Влияют ли планеты на долгосрочное поведение активности Солнца и звёзд? М. М. Кацова, В. Н. Обридко, Д. Д. Соколов, Н. В. Емельянов . . . . .	69
Зависимость звездных циклов активности от скорости вращения — неявная зависимость от эффективной температуры? Леонид Л. Кичатинов . . . . .	70
Необычная спектральная активность Ae звезды Хербига AB Aur Олеся В. Козлова . . . . .	71
Новые объекты типа FU Ori и другие необычные эруптивные звезды, обнаруженные при спектральном обзоре ИК-источников в областях звездообразования Тигран Ю. Магакян, Алексей В. Моисеев, Тигран А. Мовсесян . . . . .	72
Применение средних временных профилей для анализа солнечных и звездных вспышек Илья Д. Мотык, Лариса К. Кашапова, Дарья В. Рожкова . . . . .	73
Моделирование торможения звезды ssAр звезды 33 Lib магнитным звездным ветром Айсен Г. Никифоров, Максим В. Барков, Виктор Д. Бычков . . . . .	74
Поиск околозвездных газовых оболочек у магнитных химически пекулярных молодых А-В звезд из ассоциации Orion OB1 М. А. Погодин, Н. А. Драке, W. J. V. Corradi, P. H. F. V. Braz, И. И. Романюк, А. Ф. Холтыгин, Н. Г. Бескровная, Н. З. Исмаилов, В. Ю. Ким . . . . .	75

Стабильны ли химические пятна на поверхности магнитных Ар/Вр звёзд с изменяющимся периодом?	
Илья С. Потравнов, Татьяна А. Рябчикова, Леонид Л. Кичатинов, Юрий В. Пахомов . . . . .	76
<b>Резонансные явления в звездном динамо</b>	
Дмитрий Д. Соколов, Егор В. Юшков, Фарид Азизов . . . . .	77
<b>Новый взгляд на природу солнечных и звездных вспышек</b>	
Александр А. Соловьев . . . . .	78
<b>Спектры звезд типа UX Ori в глубоких минимумах и ярком состоянии. Результаты модельных расчетов</b>	
Л. В. Тамбовцева, В. П. Гринин . . . . .	79
<b>Звезды с рентгеном в рассеянных звездных скоплениях Гиады и Плеяды по данным SRG/еРОЗИТА</b>	
Ирек М. Хамитов, Ильфан Ф. Бикмаев, Марат Р. Гильфанов, Рашид А. Сюняев, Павел С. Медведев . . . . .	80
<b>6 Околосвёздные диски и экзопланеты</b>	<b>82</b>
<b>Магнито-центробежный дисковый ветер как источник рассеянного излучения и фотометрической активности молодых звезд в видимой и инфракрасной областях спектра</b>	
Мария А. Альбрант, Владимир П. Гринин . . . . .	83
<b>Молодая звезда RY Tau в режиме магнитного пропеллера</b>	
Елена В. Бабина, Петр П. Петров, Константин Н. Гранкин, Светлана А. Артеменко . . . . .	85
<b>О влиянии планетарного магнитного поля на ослабление потока высыпавшихся электронов в атмосферу Земли</b>	
Дмитрий В. Бисикало, Валерий И. Шематович, Андрей Г. Жилкин, Григорий Н. Цуриков . . . . .	86
<b>Моделирование аккреционной активности протопланетного диска вследствие столкновения со струей газа</b>	
Виталий В. Григорьев, Татьяна В. Демидова . . . . .	87
<b>Восстановление трехмерной физической картины процессов в окрестностях CQ Тельца</b>	
Татьяна Демидова . . . . .	88
<b>Формирование планетных спутников</b>	
Галина Н. Дремова, Владимир В. Дремов, Александр А. Тутуков . . . . .	89
<b>Краевые эффекты в тонких аккреционных дисках вокруг нейтронных звезд. Перестановочная неустойчивость определяет внутренний радиус диска?</b>	
Данил Д. Лисицин, Николай И. Шакура . . . . .	91

<b>Изменение <math>\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}</math> в протопланетных дисках при аккреционных вспышках: модельные предсказания для FU Ori-дисков</b>	
Анастасия П. Топчиева, Тамара С. Молярова, Антон И. Васюнин . . . . .	92
<b>Магнитная газодинамика аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд</b>	
С. А. Хайбрахманов . . . . .	94
<b>Молекула NO как потенциальный биомаркер в атмосферах экзопланет: перспективы Спектр-УФ</b>	
Григорий Н. Цуриков, Дмитрий В. Бисикало, Валерий И. Шематович, Андрей Г. Жилкин . . . . .	95
<b>Долговременная переменность RZ Psc в видимом и среднем ИК диапазоне</b>	
Д. Н. Шаховской, Р. В. Садыков . . . . .	96
<b>В поисках H-альфа: использование вспышек для детектирования линий водорода в атмосферах экзопланет с наземных телескопов</b>	
Артем В. Шепелин . . . . .	97
<b>7 Переменные и пульсирующие звёзды</b>	<b>99</b>
<b>Поиск новых симбиотических звезд</b>	
Наталия А. Масленникова, Андрей М. Татарников, Анна А. Татарникова, Александр В. Додин, Борис С. Сафонов . . . . .	100
<b>Полвека с Новой Лебеда 1975 г.</b>	
Е. П. Павленко . . . . .	101
<b>Параметры аккреции поляра <math>\Pi</math> Leo в низком состоянии</b>	
Михаил В. Сусликов, Александр И. Колбин . . . . .	102
<b>Исследования катаклизмических переменных, обнаруженных проектом NMW, с помощью роботизированных телескопов ИНАСАН</b>	
Александр Н. Тарасенков . . . . .	104
<b>Диски в симбиотических системах</b>	
Анна А. Татарникова, Андрей М. Татарников, Наталия А. Масленникова . . . . .	105
<b>8 Двойные и кратные звёздные системы</b>	<b>106</b>
<b>Параметры звездного ветра массивного компонента рентгеновской двойной системы Паруса X-1</b>	
Нина Бескровная, Назар Ихсанов, Виталий Ким . . . . .	107
<b>Фотометрическая переменность звезды-аналога <math>\gamma</math>-Cas EM*AS 14</b>	
Т. С. Гришина, Е. Г. Ларионова, С. С. Савченко, Д. А. Морозова, А. А. Васильев, И. С. Троицкий, Е. В. Шишкина, П. А. Новикова . . . . .	108

Наблюдательные особенности и физика магнитных катаклизмических переменных Александр И. Колбин . . . . .	109
Наблюдаемые особенности периодичности рентгеновского пульсара Her X-1 Владислав М. Ревнивцев . . . . .	110
Образование классических Ве-звезд раннего спектрального подкласса в случае неконсервативного переноса массы в тесных двойных системах Евгений Старицин . . . . .	112
Оптическая и рентгеновская переменность двойных Ве звезд А. Ф. Холтыгин . . . . .	113
<b>9 Поздние стадии эволюции звёзд. Компактные объекты. Рентгеновские спектры звёзд</b>	<b>114</b>
Влияние различных факторов на частоту встречаемости магнитных белых карликов Виталий Н. Аитов, Геннадий Г. Валявин . . . . .	115
Популяционный синтез одиночных нейтронных звезд в Галактике М. Д. Афолина, А. В. Бирюков, С. Б. Попов . . . . .	116
Особенности вспышечной активности в системе SS 433 Татьяна Р. Ирсамбетова . . . . .	117
Радиус магнитосферы звезды, аккрецирующей из диска Назар Р. Ихсанов, Нина Бескровная . . . . .	118
Анализ наблюдений затменного поляра SDSS J002637.06+242915.6 В. Ю. Кочкина, А. И. Колбин, Т. А. Фатхуллин, А. С. Винокуров, Н. В. Борисов . . . . .	119
Рентгеновское излучение цефеид по данным миссии «Спектр-РГ» Артем А. Матрохин, Михаил Е. Сачков, Дана А. Ковалева . . . . .	120
Связь между вспышечной активностью и долгосрочными вариациями рентгеновского излучения звезд типа $\gamma$ Cas Елизавета Б. Рыспаева . . . . .	121
Пульсар Геминга: уточнение радиопортрета Дарья А. Теплых . . . . .	122
Наблюдения пульсаров в ПРАО Мария А. Тимиркеева . . . . .	123
Источник X5 в шаровом скоплении 47 Тукана: первый объект класса HOFNAR или важный тест теории эволюции тесных двойных звёзд Андрей Чугунов, Дмитрий Зюзин, Анна Карпова, Аида Кириченко, Михаил Гусаков . . . . .	124

<b>Звезды Вольфа-Райе и черные дыры: распределения масс и эволюционная связь</b> <b>Иван А. Шапошников, Константин А. Постнов, Анатолий М. Черепашук . . . . .</b>	<b>126</b>
<b>10 Постеры</b>	<b>127</b>
<b>Многоцветные наблюдения карликовой новой в пробеле периодов OT J064833.4+065624 в 2025 г.</b> <b>Оксана И. Антонюк, Елена П. Павленко, Кирилл А. Антонюк, Алексей А. Сосновский . . . . .</b>	<b>128</b>
<b>Влияние темпа фотоионизации на внутренний зазор радиопульсара J0901-4046</b> <b>Дмитрий П. Барсуков, Александр Н. Попов . . . . .</b>	<b>129</b>
<b>Спектроскопия повторной новой U Sco во время вспышки 2022 года</b> <b>Полина О. Болдырева, Илья С. Потравнов, Максим В. Еселевич . . . . .</b>	<b>130</b>
<b>Моделирование ветра LBV звезды AF And в горячем состоянии</b> <b>Евгений О. Дедов, Александр Е. Костенков,</b> <b>Александр С. Винокуров, Аркадий Н. Саркисян . . . . .</b>	<b>131</b>
<b>Исследование магнитного поля HD 13404</b> <b>Елена П. Корчагина, Иосиф И. Романюк . . . . .</b>	<b>132</b>
<b>Космология Калуцы—Клейна по данным сверхновых типа Ia</b> <b>Виктор Р. Крым . . . . .</b>	<b>133</b>
<b>Исследование неупругих процессов при столкновениях цинка и водорода методом токов вероятностей</b> <b>Вероника В. Мазаева . . . . .</b>	<b>134</b>
<b>Исследование неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и ионов хрома и водорода при низких энергиях</b> <b>Анастасия А. Мамонтова, Светлана А. Яковлева . . . . .</b>	<b>135</b>
<b>Гидродинамика и излучение в аккреционных каналах докритических рентгеновских пульсаров</b> <b>Иван Д. Маркозов . . . . .</b>	<b>136</b>
<b>Влияние эффектов ОТО на момент инерции внешнего магнитного поля пульсара</b> <b>Арам А. Матевосян, Дмитрий П. Барсков, Виктор В. Дубов . . . . .</b>	<b>137</b>
<b>Молодое рассеянное скопление alpha Per в обзоре eROZITA/СРГ</b> <b>Степан С. Панарин, Ирек М. Хамитов, Ильфан Ф. Бикмаев,</b> <b>Марат Р. Гильфанов, Рашид А. Сюняев . . . . .</b>	<b>139</b>
<b>Моделирование гравитационно-волнового сигнала от рентгеновских пульсаров</b> <b>Георгий К. Пименов, Иван Д. Маркозов . . . . .</b>	<b>140</b>

<b>ВМ Ну1: магнитная Si-звезда с рекордными химическими аномалиями редкоземельных элементов</b>	
<b>Анна М. Романовская, Татьяна А. Рябчикова, Илья С. Потравнов,</b>	
<b>Юрий В. Пахомов, Алексей Князев</b> . . . . .	<b>141</b>
<b>Оптическая и ИК переменность ВН Сер</b>	
<b>Р. В. Садыков, А. Н. Ростопчина-Шаховская, Д. Н. Шаховской</b> . . . . .	<b>142</b>
<b>Система учета моделей околозвездных пылевых оболочек webMCRT</b>	
<b>Борис С. Сафонов, Дмитрий А. Крючковский, Иван А. Страхов</b> . . . . .	<b>143</b>

# 1 Методы наблюдательной астрофизики. Атомные и молекулярные данные в физике звёзд

# Теоретические исследования неупругих процессов при атомных столкновениях

Андрей К. Беляев<sup>1</sup>

E-mail: *andrey.k.belyaev@gmail.com*

Элементарные процессы, происходящие на атомном и молекулярном уровне, например, неупругие столкновения атомов, ионов, молекул, а также взаимодействия этих частиц с электромагнитным излучением, в значительной степени определяют свойства газовых и плазменных сред. В свою очередь, характеристики указанных процессов, такие как сечения и константы скорости, позволяют моделировать указанные среды в условиях отклонения от термодинамического равновесия, не-ЛТР, и использовать эти знания в дальнейшем. Ярким примером указанной ситуации является не-ЛТР моделирование атмосфер звезд, что позволяет определять не только химический состав звезды, но и распространенности того или иного химического элемента во Вселенной. Как отмечается в ряде публикаций, см., например, [1], отсутствие знания характеристик констант скоростей для неупругих процессов столкновений того или иного элемента с атомами или ионами водорода вносит основную погрешность в не-ЛТР моделирования атмосфер звезд в силу наибольшей распространенности водорода во Вселенной. Таким образом, расчеты требуемых характеристик неупругих процессов при атомных, ионных, молекулярных столкновениях являются важной и актуальной задачей, усложненной необходимостью рассчитывать характеристики для большого числа парциальных процессов: сотен, тысяч и даже миллионов [1].

Излишне напоминать, что ожидаемые расчеты должны давать физически достоверные характеристики процессов. Эти ожидания привели к тому, что в астрофизике стала интенсивно использоваться так называемая формула Дравина [2,3], которая имеет простую зависимость константы скорости любого процесса от энергий начального и конечного состояний соответствующих атомов или ионов, а также от силы осцилляторов рассматриваемых переходов, не обращая внимания на отличия электронов от атомов и ионов от атомов. Для того, чтобы применение формулы Дравина давало бы положительный эффект, было предложено ввести подгоночный фактор, варьирование которого на несколько порядков позволяло получить желаемый результат. Очевидно, что в таком случае не было возможности говорить о точности получаемых результатов. Критический анализ результатов, получаемых с использованием формулы Дравина, а также их сравнение с имеющимися редкими квантовыми данными показало [4], что, во-первых, формула Дравина не имеет физического основания, и во-вторых, она приводит к значениям, завышенным вплоть до 4 порядков величин, для одних парциальных процессов, и в то же время для других парциальных процессов указанная формула приводит к значениям, заниженным вплоть до 4 порядков величин по сравнению с редкими квантовыми данными. В связи с этим очевидно, что формула Дравина не может претендовать на какую-либо разумную точность получаемых чисел.

Разумной альтернативой формуле Дравина являются модели и методы, интенсивно и успешно развиваемые в квантовой химии, а также строгие квантовые подходы. Примерами могут выступать неадиабатические модели Ландау–Зинера [5-7], Демкова [8], Никитина [9],

---

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Россия

метод Хартри–Фока, подход Борна–Оппенгеймера [10], уравнения Фаддеева для решения проблемы 3-х частиц [11], и так далее. За столетие существования квантовой механики, отмечаемое в этом году, наибольшее применение получили подход Борна–Оппенгеймера, разделивший исследование процессов столкновений на электронную структуру и ядерную динамику, метод Хартри–Фока для расчетов электронных структур, и модель Ландау–Зинера для определения вероятностей неадиабатических переходов. Однако, несмотря на прорывной прогресс квантовой теории рассеяния, подход Борна–Оппенгеймера таит в себе скрытый дефект, связанный с так называемой проблемой молекулярных состояний, а именно с ненулевыми асимптотическими матричными элементами неадиабатических взаимодействий, приводящей, в частности, к бесконечно большим значениям сечений парциальных неупругих процессов. Квантовое решение указанной проблемы было предложено в виде метода перепроецирования [12–14]. Таким образом, несмотря на скрытый дефект, подход Борна–Оппенгеймера позволяет рассчитывать физически надёжные сечения и константы скоростей неупругих процессов столкновений атомов, ионов, молекул с достаточно высокой точностью.

- [1] M. Asplund, ARAA 43 (2005) 481.
- [2] W. Steenbock, H. Holweger, A&A 130 (1984) 319.
- [3] D. L. Lambert, Phys. Scr. T, 47 (1993) 186.
- [4] P. S. Barklem, A. K. Belyaev, M. Guitou, N. Feautrier, F. X. Gadéa, and A. Spielfiedel, A&A 530 (2011) A94.
- [5] L. D. Landau, Phys. Z. Sowietunion 1 (1932) 88.
- [6] L. D. Landau, Phys. Z. Sowietunion 2 (1932) 46.
- [7] C. Zener, Proc. Roy. Soc. A 137 (1932) 696.
- [8] Y. N. Demkov, Sov. Phys. JETP 18 (1964) 138.
- [9] E. E. Nikitin, Opt. Spectrosc. 13 (1962) 431.
- [10] M. Born and J. R. Oppenheimer, Ann. Phys. 84 (1927) 457.
- [11] L. D. Faddeev, Sov. Phys. JETP 12 (1961) 1014.
- [12] J. Grosser, T. Menzel, and A. K. Belyaev, Phys. Rev. A 59 (1999) 1309.
- [13] A. K. Belyaev, D. Egorova, J. Grosser, and T. Menzel, Phys. Rev. A 64 (2001) 052701.
- [14] A. K. Belyaev, Phys. Rev. A 82 (2010) 060701(R).

#### **Исследование проведено при поддержке:**

1. “РГПУ им. А. И. Герцена”, грант Внутренний грант РГПУ им. А. И. Герцена (№ 46-ВГ).

# Применение упрощённой модели для оценки констант скорости процессов взаимной нейтрализации при столкновениях $B^+ + A^-$

Ярослав В. Воронов<sup>1</sup>, Светлана А. Яковлева<sup>1</sup>, Андрей К. Беляев<sup>1</sup>

E-mail: voronovj@herzen.spb.ru

Недавно были экспериментально исследованы столкновения катионов кислорода с различными анионами [1-3] при энергиях порядка десятков мэВ. Полученные экспериментально результаты относительных заселённостей возбуждённых состояний кислорода после рассеяния хорошо воспроизводятся в рамках упрощённой модели [4-5]. Это говорит о физической корректности упрощённой модели и надёжности получаемых в её рамках результатов.

При этом упрощённая модель позволяет получить не только относительные оценки заселённостей тех или иных состояний атома после рассеяния, но и оценить абсолютные величины констант скорости с хорошей точностью: расхождение от точных квантовых расчётов составляет от 2 до 10 раз для констант скорости, попадающих в оптимальное окно упрощённой модели (см., например, [6]). В то же время широко используемая в астрофизических приложениях формула Дравина предсказывает величины констант скорости, отличающиеся на несколько порядков от величин, получаемых посредством квантовых расчётов, а для процессов взаимной нейтрализации и образования ионной пары формула Дравина даёт нулевые значения констант скорости. При температуре  $T = 6000$  К типичные наибольшие значения величин констант скорости процессов взаимной нейтрализации лежат в диапазоне  $10^{-11} - 10^{-7}$  см<sup>3</sup>/с, для процессов девозбуждения значения величин констант скорости зачастую меньше минимум на один порядок величины. Величины констант скорости процессов образования ионной пары и возбуждения меньше констант скорости процессов взаимной нейтрализации и девозбуждения.

Как теоретические, так и экспериментальные исследования показывают, что существует так называемое оптимальное окно для величин констант скорости. Кривая упрощённой модели, которая представляет собой зависимость величины приведённой константы скорости от энергии связи электрона в атоме (или, при простом пересчёте, от энергии возбуждения электрона в атоме), имеет максимум при однозначно определённой энергии связи электрона в атоме. Для астрофизических приложений наибольший интерес представляют столкновения различных катионов с анионами водорода. В этом случае максимум кривой упрощённой модели приходится на энергию связи примерно  $-2$  эВ для всех партнёров столкновения с водородом. При этом оптимальное окно расположено в диапазоне энергий связи электрона в атоме-партнёре столкновения с водородом  $E_{\text{binding}}$  от  $\approx -1.25$  эВ до  $\approx -4.0$  эВ.

Для оценки величин констант скорости неупругих процессов взаимной нейтрализации, попадающих в оптимальное окно упрощённой модели, для температурного диапазона  $T$  от 1000 до 15 000 К можно использовать аналитическую кусочно-заданную функцию, построенную таким образом, что максимум этой функции равен единице. Для получения значений констант скорости необходимо умножить эту функцию на величину  $A(T)$ , зависящую от температуры.

---

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Россия

Эти величины  $A(T)$  могут быть получены напрямую из упрощённой модели и затабулированы для удобства использования в астрофизических приложениях. Точность получаемых с помощью этой формулы величин констант скорости составляет порядка 5% относительно предсказаний упрощённой модели для окрестностей максимума кривой упрощённой модели, и порядка 50% для самых краёв оптимального окна.

Работа поддержана внутренним грантом РГПУ им. А. И. Герцена (№ 46-ВГ).

[1] X. Urbain, N. de Ruelle, A. Dochain, T. Launoy, R. Nascimento, M. Kaminska, M. Stockett, J. Loreau, J. Lievin, N. Vaeck, R. Thomas, H. Schmidt, and H. Cederquist, *J. Phys. Conf. Ser.* 1412 (2020) 062009.

[2] M. Poline, A. Dochain, S. Rosen, J. Grumer, M. Ji, G. Eklund, A. Simonsson, P. Reinhard, M. Blom, N. S. Shuman, S. G. Ard, A. A. Viggiano, M. Larsson, H. Cederquist, H. T. Schmidt, H. Zettergren, X. Urbain, P. S. Barklem, and R. D. Thomas, *Phys. Chem. Chem. Phys.* 23 (2021) 24607.

[3] N. de Ruelle, A. Dochain, T. Launoy, R. F. Nascimento, M. Kaminska, M. H. Stockett, N. Vaeck, H. T. Schmidt, H. Cederquist, and X. Urbain, *Phys. Rev. Lett.* 121 (2018) 083401.

[4] A. K. Belyaev and S. A. Yakovleva, *A&A* 606 (2017) A147.

[5] A. K. Belyaev and S. A. Yakovleva, *A&A* 608 (2017) A33.

[6] A. K. Belyaev, D. V. Vlasov, A. Mitrushchenkov, and N. Feautrier, *MNRAS* 490 (2019) 3384.

#### **Исследование проведено при поддержке:**

1. “РГПУ им. А. И. Герцена”, грант № 46-ВГ

## Новые возможности для поисков кандидатов в магнитные звезды

Иосиф И. Романюк<sup>1</sup>, Илья А. Якунин<sup>1</sup>, Елена П. Корчагина<sup>1</sup>,  
Анастасия В. Моисеева<sup>1</sup>, Виталий Н. Аитов<sup>1</sup>

E-mail: *roman@sao.ru*

Для эффективного поиска новых магнитных звезд требуется найти надежных кандидатов. Как правило, магнитные звезды ищут на основании различных аномалий в данных фотометрии химически пекулярных звезд. Новая возможность появилась на основании анализа ИК-спектров, полученных на APOGEE. Chojnovski et al (2019, ApJ, v. 873,5) представили список из 157 звезд, имеющих линии с расщеплением, которое авторы считают магнитным. Мы наблюдали 18 звезд на 6м телескопе с зеемановским анализатором. 16 из них оказались реальными магнитными звездами с сильными полями. 2 звезды также, вероятно, магнитные, но получено мало наблюдений. Таким образом, мы получили новые эффективные критерии для поиска новых магнитных звезд.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 25-12-00003

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

## Атомные данные для астроспектроскопии

Татьяна А. Рябчикова<sup>1</sup>

E-mail: *ryabchik@inasan.ru*

Представлен обзор современных экспериментальных измерений и теоретических расчетов вероятностей переходов в широком спектральном диапазоне для линий трех групп элементов: легкие элементы O-Mg-Al-Si, элементы группы железа и редкоземельные элементы (РЗЭ), Интерес к РЗЭ усилился в связи с обнаружением линий La III и Ce III в инфракрасном излучении объекта AT2017gfo (kilonova), который интерпретируется как результат слияния нейтронных звезд в двойной системе (GW170817) с последующим излучением, обусловленным радиоактивным распадом ядер элементов r-процесса. Также представлен краткий обзор современных квантовомеханических расчетов констант скоростей для неупругих столкновений с атомами водорода и столкновений с электронами, которые необходимы для детального анализа формирования спектральных линий в атмосферах звезд в условиях отклонения от локального термодинамического равновесия (неЛТР).

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Запыленный ветер — поляриметрические наблюдения с высоким угловым разрешением

Борис С. Сафонов<sup>1</sup>, Анастасия Е. Федотова<sup>1</sup>, Сергей Г. Желтоухов<sup>1</sup>,  
Андрей М. Татарников<sup>1</sup>, Виктор И. Шенаврин<sup>1</sup>, Иван А. Страхов<sup>1</sup>

E-mail: *safonov@sai.msu.ru*

Звезды на поздних стадиях эволюции интенсивно теряют вещество в виде запыленного звездного ветра. В случае звезд с атмосферами богатыми углеродом разгон ветра обеспечивается давлением излучения на пыль [1]. Механизм разгона ветра у звезд с атмосферами кислородного типа остается не вполне ясен. Модели, развитые в последние годы, показывают, что рассеяние на пылинках может создать необходимое давление, при условии, что радиусы пылинок лежат в определенном весьма узком диапазоне [2]. Однако эти модели остаются плохо проверенными из-за сложности наблюдений: требуется комбинация высокого углового разрешения и высокого контраста. Для прояснения роли давления излучения на пыль в разгоне ветра мы выполняем наблюдения звезд углеродного и кислородного типов методом дифференциальной спекл-поляриметрии (ДСП) на 2.5-м телескопе КГО МГУ [3]. Метод ДСП позволяет изучать рассеянное излучение пыли на расстояниях от звезды, сравнимых с радиусом сублимации пыли, что соответствует угловым расстояниям 50–150 мсд. Предварительный анализ был проведен для углеродной мириды V Суг и красного сверхгиганта  $\mu$  Сеп. У V Суг обнаружена непрерывная пылевая оболочка с постоянным темпом потери массы от радиуса сублимации до расстояний от звезды порядка  $10^5$  а. е. [4]. В то же время для  $\mu$  Сеп темп потери массы в пыли выходит на постоянный уровень лишь на расстояниях 10–20 радиусов сублимации, таким образом ставя под сомнение влияние давления излучения на пыль в качестве механизма разгона ветра, по крайней мере, на малых расстояниях от звезды.

[1] R. Gautschy-Loidl, S. Höfner, U. G. Jørgensen, J. Hron, *A&A*, 422 (2004) p. 289.

[2] S. Hofner, *A&A* 491 (2008) L1.

[3] B. Safonov, P. Lysenko, M. Goliguzova, D. Cheryasov, *MNRAS* 484 (2019) 5129.

[4] B. S. Safonov, S. G. Zheltoukhov, A. M. Tatarnikov, I. A. Strakhov, V. I. Shenavrin, *AJ* 169 (2025) id. 140.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 23-22-00182

---

<sup>1</sup> Государственный Астрономический Институт им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

# Исследования неупругих процессов при литий-водородных столкновениях строгими квантовыми стационарным и нестационарным методами

Максим Ю. Яковлев<sup>1</sup>, Андрей К. Беляев<sup>1</sup>

E-mail: [yakovlev.max2000@yandex.ru](mailto:yakovlev.max2000@yandex.ru)

Моделирование атмосфер звёзд в условиях отклонения от локального термодинамического равновесия является важным инструментом для проведения астрофизических исследований [1]. Для корректного моделирования необходимо использовать достоверные атомные данные, определяющие характеристики газовых и плазменных сред.

Доклад посвящён расчётам атомных данных (сечений и констант скоростей) для процессов взаимной нейтрализации, образования ионной пары, возбуждения и девозбуждения (гашения/тушения/снятия возбуждения), происходящих при столкновениях атомов и ионов лития с атомами и ионами водорода, точными квантовыми стационарным и нестационарным методами.

Для исследований атомных столкновений разработано большое число квантовых методов и подходов. Наиболее распространённым является подход Борна–Оппенгеймера. В рамках данного подхода выделяют два этапа: 1) расчёт электронной структуры рассматриваемой молекулы; 2) исследование неадиабатической ядерной динамики. Для каждого этапа существуют как строгие квантовые, так и приближённые модельные методы. Данный доклад фокусируется на втором этапе подхода Борна–Оппенгеймера.

Наиболее точными и полными исследованиями электронных структур молекул являются строгие квантовохимические расчёты из первых принципов (*ab initio*). Среди работ, применяющих данный подход для расчёта электронной структуры молекулы LiH, выделяется статья [2], в которой выполнен расчёт 8 адиабатических потенциальных энергий (7 ковалентных и 1 ионный терм) и недиагональных матричных элементов неадиабатической связи. Эти данные легли в основу настоящего исследования.

Решение задачи ядерной динамики для рассматриваемой системы неоднократно проводилось различными методами (модельными, строгими квантовыми, смешанными). Тем не менее, к настоящему времени полный набор атомных данных, полученных строгими квантовомеханическими методами, имеется лишь для процессов взаимной нейтрализации.

Таким образом, в рамках данной работы рассматриваются:

1) Решение нестационарного уравнения Шрёдингера (системы связанных дифференциальных уравнений) методом волнового пакета для процессов взаимной нейтрализации, расчёты сечений и констант скоростей.

2) Решение стационарного уравнения Шрёдингера (системы связанных дифференциальных уравнений) усовершенствованным перенормированным методом Нумерова для всех процессов (взаимная нейтрализация, образование ионной пары, возбуждение, девозбуждение (гашение/тушение/снятие возбуждения)), расчёт и анализ сечений и констант скоростей.

3) Сравнение данных, полученных разными методами в рамках настоящей работы, а также с теоретическими [2, 3] и экспериментальными [4, 5] данными из литературы.

---

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Россия

4) Анализ эффективности различных подходов для исследований ядерной динамики и расчёта атомных данных.

Статья по материалам данного исследования направлена в печать. Рассчитанные данные доступны по запросу.

[1] M. Asplund, *The Annual Review of Astronomy and Astrophysics* 43, 481 (2005).

[2] H. Croft, A. S. Dickinson, and F. X. Gad'ea, *Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics* 32, 81 (1999).

[3] A. K. Belyaev and Y. V. Voronov, *Physical Review A* 104, 022812 (2021).

[4] T. Launoy et al. *The Astrophysical Journal* 883, 85 (2019).

[5] G. Eklund et al. *Physical Review A* 102, 012823 (2020).

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РГПУ им. А. И. Герцена”, грант 46-ВГ

# Исследование неупругих процессов, происходящих при столкновениях серебра и водорода

Светлана А. Яковлева<sup>1</sup>, Вера А. Васильева<sup>1</sup>

E-mail: *cvetaja@gmail.com*

В работе рассчитаны сечения и константы скоростей неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и ионов серебра с атомами и ионами водорода, учитывающие тонкую структуру уровней атома серебра. В рассмотрение включены 11 ковалентных состояний  $\text{Ag}+\text{H}$  и одно ионное состояние  $\text{Ag}^++\text{H}^-$ , обладающих  $0^+$  молекулярной симметрией. Асимптотический подход, учитывающий тонкую структуру [1], использован для моделирования электронных адиабатических потенциальных энергий высоколежащих состояний, в то время как для низколежащих состояний использованы данные точных квантово-химических расчетов из работы [2]. Расчеты неадиабатической ядерной динамики выполнены в рамках многоканальной модели Ландау–Зинера: аналитические выражения использованы для оценки вклада ионно-ковалентного взаимодействия в сечения неупругих процессов, метод ветвящихся токов вероятности применен для учета областей неадиабатичности на малых расстояниях. Рассчитаны сечения и константы скоростей неупругих процессов возбуждения, де-возбуждения, взаимной нейтрализации и образования ионной пары.

[1] A. K. Belyaev, Y. V. Voronov, S. A. Yakovleva. *Physical Review A* 100 (2019) 062710.

[2] Z. Mohammadian, F. Nourigheimasi, A. Maghari, A. Shayesteh. *Chemical Physics Letters* 849 (2024) 141418.

## Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена грант 46-VG

---

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Россия

## **2 Атмосферы звёзд: наблюдения и моделирование**

# Исследование магнитного поля яркого гиганта HR 3042

Варвара В. Бутковская<sup>1</sup>

E-mail: [vb@craocrimea.ru](mailto:vb@craocrimea.ru)

**Введение.** Бедные гелием звёзды — это звёзды спектрального класса В, спектры которых демонстрируют стандартную для своего спектрального класса интенсивность линий металлов, но слабые линии гелия. Как бедные, так и богатые гелием звёзды почти всегда обладают магнитным полем [1].

Магнитное поле яркого гиганта HR 3042 (B8/9 II) обнаружено в работе [2]. На основе однократного измерения авторы сообщили о существовании у звезды магнитного поля с продольным компонентом  $-230 \pm 10$  Гс. В последующие 2 года спектрополяриметрические наблюдения звезды проводились в течение 15 ночей, но результаты наблюдений опубликованы не были.

В данной работе представлены предварительные результаты исследования магнитного поля яркого гиганта HR 3042 по всему массиву наблюдений, доступному в открытой базе данных CADC.

**Наблюдения и обработка данных.** Сспектрополяриметрические наблюдения HR 3042 были выполнены в течение 16 ночей с 2016 по 2018 год на 3,6-м Канада-Франко-Гавайском телескопе с использованием спектрографа ESPaDOnS в режиме спектрополяриметрии. Предварительная обработка данных проведена с использованием стандартного пакета IRAF. Продольный компонент магнитного поля измерен по отдельным спектральным линиям водорода и гелия с использованием методики, разработанной в Крымской астрофизической обсерватории и базирующейся на эффекте Зеемана [3]. Поиск периодичности во временном ряде измерений магнитного поля выполнен с помощью пакета Period04 [4].

**Результаты.** Обнаружено, что продольный компонент магнитного поля меняется синусоидально  $267 \pm 23$  Гс относительно среднего значения  $4 \pm 16$  Гс, с периодом равным 4,0437 суток. Найденный период интерпретируется нами как период осевого вращения звезды. Данный результат хорошо согласуется с периодом 4-5 суток, оцененным в работе [2]. Такое поведение полностью соответствует модели наклонного ротатора. Контрольные измерения «нулевого» поля не показывают какой-либо периодичности, что свидетельствует об отсутствии значимых инструментальных эффектов в наших измерениях.

## Заключение.

- На основе анализа полного массива спектрополяриметрических данных подтверждено наличие магнитного поля у бедной гелием звезды HR 3042.

- Впервые по изменению магнитного поля надежно установлен период вращения звезды:  $\text{Prot} = 4,0437$  суток.

- Установлено, что продольная компонента магнитного поля изменяется синусоидально с амплитудой  $267 \pm 23$  Гс относительно среднего значения  $4 \pm 16$  Гс, что указывает на простую дипольную конфигурацию поля.

**Благодарности.** Исследование основано на данных, полученных на Канада-Франко-Гавайском (CFHT) и доступных через Канадский астрономический центр данных (CADC).

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

- [1] Preston G. W., 1974, *ARA&A*, 12, 257.
- [2] Martin et al., 2018, *MNRAS*, 475, 1521.
- [3] Butkovskaya V. V., Plachinda S. I., 2007, *A&A*, 469, 1069.
- [4] Lenz P., Breger M., 2005, *CoAst*, 146, 53.

## Сетка моделей протяжённых атмосфер в диапазоне температур от 8000 К до 15 000 К

Евгений О. Дедов<sup>1</sup>, Александр С. Винокуров<sup>1</sup>,  
Александр Е. Костенков<sup>1</sup>, Юлия Н. Соловьёва<sup>1</sup>

E-mail: *evdedov@sao.ru*

Решение задачи об определении параметров звезды методом моделирования атмосферы для объектов с относительно низкой температурой фотосферы (около 10 000 К) сталкивается с дополнительными сложностями, связанными прежде всего с рекомбинацией водорода во внешних частях ветра. Это побудило нас создать сетку моделей в пространстве параметров «Эффективная температура — темп потери массы». Для построения моделей использовался не-ЛТР код CMFGEN [1], успешно применяемый при моделировании O, WR и LBV звёзд. В качестве границ диапазонов варьируемых параметров модели были выбраны значения от 8000 К до 15 000 К для температуры на гидростатическом радиусе ( $\tau_{\text{Ross}}$  от 20 до 100) и от  $10^{-6}$  до  $5 \times 10^{-4} M_{\text{Sun}}/\text{год}$  для темпа потери массы. Остальные параметры моделей, в том числе, показатель степени в распределении скорости ветра и его скорость на бесконечности, светимость, металличность и параметры закона неоднородности вещества в ветре имели фиксированное значение. Атомная модель включает ионы H I, He I, C I-III, N I-III, O I-III, Si I-III, Fe I-IV, которые, с одной стороны, существенно влияют на сходимость моделей, а с другой, их линии часто наблюдаются в спектрах звёзд с протяжёнными атмосферами в заданном диапазоне температур. Сетка, состоящая из 520 моделей представлена в виде набора синтетических спектров и таблиц, содержащих информацию об основных параметрах моделей, а также оптические показатели цвета и цветовую температуру, определённую путём аппроксимации синтетической фотометрии спектром абсолютно чёрного тела. Подобный набор данных позволяет проводить прямое сравнение наблюдательных проявлений объекта с модельными для получения оценок фундаментальных параметров звёзд с высоким темпом потери массы в их ветрах.

Применимость сетки для анализа наблюдательных данных была показана на примере недавно обнаруженного нами LBV-кандидата в галактике NGC891.

[1] D. J. Hillier, D. L. Miller, *ApJ*. 496 (1998) 407.

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Влияние отклонений от дипольного магнитного поля на профили водородных линий в спектрах магнитосфер молодых звёзд

Денис В. Дмитриев<sup>1,2</sup>

E-mail: *dmitrievdv@gaoran.ru*

Считается, что сильное магнитное поле молодых звёзд может контролировать движение аккрецирующего газа в окрестности звезды. Образующаяся магнитосфера активно излучает в спектральных линиях и моделирование этого излучения даёт возможность изучать физику и геометрию процесса. В современных моделях магнитное поле звезды предполагается дипольным. Однако, измерения магнитного поля молодых звезд на основе спектрополяриметрических наблюдений показали, что у многих из них имеется существенная октопольная компонента. Доклад посвящен влиянию подобных отклонений от дипольного поля на профили водородных линий.

---

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

# Исследование катаклизмических переменных типа SU UMa и WZ Sge

Анастасия А. Дудник<sup>1</sup>

E-mail: *nasya.dudnik@yandex.ru*

В работе представлен результат численного моделирования и анализ оптических спектров катаклизмических переменных типа SU UMa и WZ Sge. Спектроскопические наблюдения систем, находящихся в спокойном состоянии, с оптически тонким аккреционным диском и доминирующим излучением белого карлика выполнялись на 6-метровом телескопе БТА САО РАН.

Профили абсорбций H $\beta$  в спектрах КН типа SU UMa и WZ Sge в спокойном состоянии моделировали спектрами белых карликов с определением параметров их атмосфер. На их основе далее получали фундаментальные параметры компонент КН с привлечением моделей строения БК и карликов поздних спектральных классов с температурой  $T_{\text{eff}} = 10\,000 - 90\,000$  К и силой тяжести  $\log g = 6.75 - 9.25$ . В результате фундаментальных параметров главных компонент были вычислены массы ( $M$ ) и радиусов ( $R$ ) для звёзд позднего спектрального класса и систем в целом. Массы белых карликов оказались заключены в диапазоны  $0.59 - 0.87 M_{\odot}$ , среднее значение  $0.7 M_{\odot}$ . Вторичные компоненты все оказались красными карликами с массами от  $0.11 - 0.16 M_{\odot}$ .

В дополнение были исследованы аккреционные диски систем MR UMa и FL Psc методом доплеровской томографии, используя программный код Шпруита «dormar» с применением большого ряда линий H $\beta$ , HeI, HeII, CaII, FeI, FeII. Томограмма представляет собой карту распределения интенсивности излучения эмиссионных линии в пространстве скоростей. В эмиссиях H $\beta$  аккреционные диски систем оказались оптически толстыми со средней круговой скоростью 550-700 км/с. В большинстве линий HeI и FeII наблюдаются характерные для оптически тонких дисков клочковатые области излучения. Однако излучение FL Psc в линии FeII 5169 показывает замкнутую дисковую структуру, которая интерпретирована, как действие флуоресценции УФ-излучения белого карлика на поверхности аккреционного диска.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-72-10064, <https://rscf.ru/project/22-72-10064/>.

---

<sup>1</sup> Казанский национальный исследовательский технологический университет КАИ

# Исследование сверхгиганта в рентгеновской двойной Лебедь X-1 = HDE226868

Евгения А. Карицкая<sup>1</sup>

E-mail: *karitsk@yandex.ru*

Результаты наших многолетних исследований, ведущихся с 1974 г., включающие различные методы и наблюдательные данные (фотометрические, спектральные и поляриметрические) сопоставляются с результатами последних лет. Полученные ограничения на параметры системы и сейчас являются актуальными. Сопоставление наблюдаемых спектров высокого разрешения с модельными не-ЛТР спектрами позволило установить пределы на параметры O-сверхгиганта (оптического компонента рентгеновской двойной Лебедь X-1):  $T_{\text{eff}} = 30\,400 + / - 500$  К,  $\log g = 3.31 + / - 0.07$  и избытки содержания элементов: от 0.4 dex до 1.0 dex для He, N, Ne, Mg, Si, т. е. элементов-продуктов CNO- и альфа-процессов. К таким же выводам приходят авторы последней работы Ramachandran et al, 2025, которые при расчетах звездных атмосфер используют более сложную модель, включающую звездный ветер. Наблюдаемое содержание указывает на сложную историю формирования, включающую высокую начальную металличность. Благодаря примененному нами дифференциальному методу, мы пришли к выводу, что разность составов HDE226868 и alpha Cam определяется клочковатостью распределения  $Z$  в плоскости Галактики на шкале 2 кпк.

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

# Ветер и ближайшее звездное окружение спящей яркой голубой переменной Var 2 в галактике M33

Александр Е. Костенков<sup>1</sup>

E-mail: *kostenkov@sao.ru*

Представленная работа посвящена исследованию яркой голубой переменной (luminous blue variable, LBV) Var 2 в галактике M33, которая на данный момент находится в «спящем» состоянии и наблюдается как звезда типа Of/late-WN. В рамках самосогласованной гидродинамической не-ЛТР модели протяженной атмосферы Var 2, учитывающей баланс радиальных сил в ветре звезды, получены значения светимости  $L = 6.5 \times 10^5 L_{\odot}$ , массы  $M_* \approx 23 M_{\odot}$  и содержания водорода на поверхности  $X_H \approx 43\%$ . Исследование динамических свойств ветра показало, что характер ускорения вещества в ветре Var 2 близок к скоростному профилю ветров OB-сверхгигантов при существенно меньшей терминальной скорости  $v_{\infty} \approx 230 \text{ км с}^{-1}$ . В то же время, для полученного темпа потери массы  $\dot{M} = 2.1 \times 10^{-5} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$ , соотношение между моментом ветра и светимостью хорошо соответствуют значениям, найденным для поздних WN-звезд. С учетом полученных оценок возраста, Var 2, потенциально, могла вылететь из скопления, связанного с ближайшей крупной областью звездообразования, находящейся на расстоянии  $\sim 100$  пк. Однако, статистический анализ проекционного распределения звезд в окрестности Var 2 свидетельствует в пользу того, что данная LBV могла сформироваться в локальной малонаселенной группе.

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Оценка скорости нагрева газа МГД волнами в стандартной модели спокойной солнечной хромосферы

Виктор А. Малютин<sup>1</sup>, Оксана М. Белова<sup>1,2</sup>, Константин В. Бычков<sup>2</sup>

E-mail: *malyutin@list.ru*

В рамках модели атмосферы VAL [1] выполнены расчёты возможного вклада нагрева хромосферного газа МГД-волнами. По известному распределению с высотой температуры, плотности и турбулентной скорости вычислены скорости приобретения энергии  $G$  путём поглощения фотосферного излучения и потерь энергии  $L$  на излучение.

В расчётах учтены свободно-связанные, связанно-свободные и связанно-связанные радиационные (спонтанные и вынужденные) и ударные переходы водорода, магния, кальция и железа. Для вычисления коэффициента поглощения в частотах дискретных переходов в случае низколежащих уровней металлов использовался профиль Фойгта, а в случае атома водорода и высоковозбуждённых уровней металлов — свёртка хольцмарковского и доплеровского контуров. Рассеяние в линиях учитывалось в рамках подхода Соболева-Бибермана-Холстейна [2, 3, 4].

Приобретение энергии от фотосферы  $G$  определяется поглощением излучения в частотах дискретных переходов и фотоионизацией водорода. Излучение фотосферы имитируется чёрным телом с температурой 5500 К.

Потери энергии в нашей модели обусловлены спонтанным и вынужденным излучением в частотах дискретных переходов, фоторекомбинацией и тормозным излучением водорода.

От точки, где оптическая глубина в континууме равна единице до высоты  $h = 800$  км расчётные значения  $G$  и  $L$  в пределах точности расчётов практически одинаковы. Далее радиационные потери превышают скорость приобретения энергии, причём величина разности  $W = L - G$  растёт с высотой. Величину  $W$  мы приписываем нагреву МГД волнами.

[1] J. E. Vernazza, E. N. Avrett, R. Loeser, *ApJ Suppl. Ser.* 45 (1981) 635.

[2] Л. М. Биберман, *ЖЭТФ.* 17 (1947) 416.

[3] T. Holstein, *Phys. Rev.* 72 (1947) 1212.

[4] T. Holstein, *Phys. Rev.* 83 (1951) 1159.

---

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

<sup>2</sup> Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

## Не-ЛТР анализ линий Pd I у выборки звёзд с дефицитом металлов для понимания происхождения палладия

Людмила И. Машонкина<sup>1</sup>, Александр В. Смогоржевский<sup>1</sup>

E-mail: *lima@inasan.ru*

Впервые содержание палладия у Солнца и выборки звёзд с дефицитом металлов определено без использования предположения ЛТР. Не-ЛТР содержание зависит от эффективности столкновений с нейтральными атомами водорода. Для Солнца  $\lg \varepsilon(\text{NLTE})$  находится в диапазоне от  $1.61 \pm 0.02$  до  $1.70 \pm 0.02$  и согласуется с метеоритным  $\lg \varepsilon(\text{met}) = 1.65 \pm 0.02$ , в то время как ЛТР содержание меньше метеоритного на 0.16 dex. В согласии с литературными данными, в случае ЛТР содержание Pd у звёзд-карликов больше, чем у гигантов близкой металличности. Использование не-ЛТР подхода устраняет эту разницу для 46 звёзд в диапазоне  $-2.8 < [\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$ . Во всём диапазоне наблюдается избыток Pd относительно Fe с  $[\text{Pd}/\text{Fe}] \sim 0.5$ , что указывает на доминирующий вклад r-процесса в производство Pd в рассматриваемую эпоху жизни Галактики.

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

# Каталитическое образование ПАУ в оболочках звезд АВГ

Мария С. Мурга<sup>1</sup>, Иван В. Логинов<sup>1</sup>, Дмитрий З. Вибе<sup>1</sup>

E-mail: *mshramcova@gmail.com*

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) широко распространены в межзвёздной среде (МЗС) и играют важную роль в физических и химических процессах, происходящих в ней. Основным местом их образования считаются оболочки звёзд на асимптотической ветви гигантов (АВГ), где условия благоприятствуют росту ПАУ. В то время как газофазные пути образования первого ароматического кольца и последующего роста были тщательно изучены, роль каталитических поверхностей, таких как карбид кремния (SiC) и углеродная пыль, остаётся не до конца ясной. Учёт каталитических реакций может существенно изменить предсказываемые концентрации ПАУ, распределение по размерам и их эволюцию в звёздных средах.

В данной работе мы разрабатываем астрохимическую модель для количественного описания образования ПАУ в оболочках звёзд АВГ. Модель объединяет высокотемпературную газофазную реакционную сеть с новыми поверхностными реакциями. Эти каталитические пути включают последовательное присоединение ацетилен ( $C_2H_2$ ) к пылевым частицам с образованием промежуточных соединений  $C_4H_4$  и  $C_6H_6$ , за которыми следуют циклизация и десорбция бензола ( $C_6H_6$ ). Кинетические параметры поверхностных реакций определяются с помощью методов молекулярной динамики. Модель самосогласованно связывает химию ПАУ с ростом пыли, рассматривая частицы SiC как центры нуклеации для наращивания углеродного материала (например, ацетилен и ПАУ), а также учитывает динамику коагуляции пыли через систему дифференциальных уравнений.

Мы применяем модель к области формирования пыли в оболочке звезды АВГ IRC+10216, учитывая периодические ударные волны, вызванные звёздными пульсациями. Сравнение сценариев с каталитическими поверхностными реакциями и без них показывает, что поверхностная химия усиливает образование ПАУ и изменяет их размерное распределение. Наши результаты подчёркивают необходимость включения каталитических путей в астрохимические модели для повышения точности предсказаний содержания ПАУ в звёздных оболочках.

## Исследование проведено при поддержке:

1. "Грант Российского научного фонда", грант № 24-22-20104

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

# Моделирование многоцветных кривых блеска химически пекулярной звезды CU Vir

Юрий В. Пахомов<sup>1</sup>, Илья С. Потравнов<sup>1</sup>, Татьяна А. Рябчикова<sup>1</sup>

E-mail: [pakhomov@inasan.ru](mailto:pakhomov@inasan.ru)

Звезда CU Vir (HD 124224) относится к классу пекулярных А-звезд с неоднородным распределением химических элементов (в особенности кремния) по поверхности, которое является причиной изменения блеска и профилей спектральных линий. Переменность CU Vir с периодом около 0.5 дня была описана в 1952 году по изменению эквивалентных ширин линии HeI [1], а в 1958 году было обнаружено и изменение блеска с амплитудой около 0.1 mag [2]. Наблюдения последующих десятилетий выявили изменение периода: до 2010 года увеличение примерно на 3 секунды, а затем его уменьшение. Характер этих колебаний в литературе описывают как дискретными скачками [3], так и периодическими квази- синусоидальными вариациями [4]. В настоящей работе мы проанализировали изменения фотометрического периода CU Vir с 1955 по 2022 год методом периодограмм. Данные последних десятилетий ясно указывают на постепенное уменьшение периода. Измерения периода CU Vir в течение следующих двух десятилетий будут иметь решающее значение для подтверждения или опровержения периодического характера его изменений.

Современное моделирование кривых блеска основано на 1) моделях звездных атмосфер с учетом индивидуального химического состава 2) картах поверхностного распределения элементов, вычисленных методом доплеровского картирования по профилям спектральных линий на разных фазах. Для диапазонов содержания элементов, полученных из наших доплеровских карт для Si, Fe, He, Cr, была рассчитана сетка из 120 моделей атмосфер и распределений энергии в спектре с помощью программы Lmodels, которые использовались для вычислений карт интенсивностей поверхности звезды как в отдельных фотометрических фильтрах (система Стремгрена *uvby*), так и в широком диапазоне длин волн от УФ до ближнего ИК. Сравнение синтетических кривых блеска с наблюдаемыми, в том числе полученными на космических аппаратах IUE, HST, TESS, показало хорошее соответствие их форм и амплитуд.

[1] Deutsch, A. J. *Astrophys. J.* 116 (1952) 536.

[2] Hardie, R. *Astrophys. J.* 127 (1958) 620.

[3] Pyper, D. M., Ryabchikova, T., Malanushenko, V., Kuschnig, R., Plachinda, S., and Savanov, I. *Astron. Astrophys.* 339 (1998) 822.

[4] Mikulášek, Z., Krtička, J., Henry, G. W. et al. *Astron. Astrophys.* 534 (2011) L5.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 24-22-00237

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Анализ содержания химических элементов спектроскопической двойной $\alpha$ Equulei

Анна М. Романовская<sup>1</sup>, Сергей Звягинцев<sup>1</sup>

E-mail: *annarom@inasan.ru*

Звезды с усиленными линиями металлов (Am) часто встречаются в двойных системах, однако их количество среди затменных двойных систем остается сравнительно небольшим. В данной работе представлены результаты исследования спектроскопической двойной системы  $\alpha$  Equulei. Анализ основан на спектрах высокого разрешения, полученных с помощью спектрографа SOPHIE на различных фазах вращения. Разделение спектров на индивидуальные компоненты выполнено с применением итеративного метода деконволюции спектральных линий (Spectral Line Deconvolution, SLD). Параметры атмосферы были уточнены с помощью пакета SME (Spectroscopy Made Easy [1]) и через подгонку спектрального распределения энергии к наблюдениям. Полученные фундаментальные параметры согласуются с выводами из работы [2], где было показано, что главный компонент  $\alpha$  Equ A представляет собой гигант спектрального класса G7, а вторичный компонент  $\alpha$  Equ B является карликовой Am-звездой, находящейся на стадии перехода к субгигантам. Оба компонента имеют одинаковый возраст. Содержание химических элементов определено в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТР) для 25 элементов от C до Se и для 15 из них с учетом отклонений от ЛТР. Химический состав  $\alpha$  Equ A соответствует нормальной звезде до Fe с завышенным на 0.5 dex содержанием тяжелых элементов (Sr-Y-Zr-Ba). Звезда  $\alpha$  Equ B проявляет аномалии, характерные для звезд спектрального класса Am, с небольшим дефицитом Ca и Sc, и завышенным содержанием Sr-Y-Zr-Ba на 1.0 dex. Если диффузия вызывает накопление тяжелых элементов, как в Am-звездах, то их снижение у звезды-гиганта из-за частичного перемешивания вещества согласуется с ее положением в начале ветви гигантов на диаграмме Герцшпрунга–Рассела.

[1] N. Piskunov, and J. A. Valenti, *Astron. Astrophys.* 597 (2017), A16.

[2] R. E. M. Griffin, and R. F. Griffin, *Mon. Not. R. Astron. Soc.* 330 (2002) 288.

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Происхождение и эволюция содержания Li, Be и B по наблюдениям звёзд разных типов

Татьяна М. Ситнова<sup>1</sup>

E-mail: [sitnova@inasan.ru](mailto:sitnova@inasan.ru)

В обзоре будут представлены наблюдательные литературные данные о содержании лития, бериллия и бора у звёзд разных типов. Перечисленные элементы известны своим сложным происхождением: их содержание меняется как в ходе эволюции отдельных звёзд, так и в результате Галактической химической эволюции. За этой сложностью кроется важная информация о внутреннем строении звёзд, перемешивании вещества, процессов в звёздных атмосферах, вспышечной активности. Имеющиеся наблюдательные данные порождают вопросы, которые пока остаются без ответов. В обзоре я обращаю внимание, например, на такие: Раз обнаружено много звёзд, обогащенных литием, то почему мы не видим сопоставимого количества звёзд, обогащённых бериллием? Можно ли обнаружить редкий изотоп лития  ${}^6\text{Li}$  в звёздах и в каких типах звёзд его стоит искать? Как сейчас обстоят дела с космологической проблемой содержания лития? В обзоре также будут рассмотрены современные методики определения содержания этих элементов.

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Поиск эмиссионных звезд высокой светимости в галактике NGC1433

Ольга Н. Шолухова<sup>1</sup>

E-mail: *olgasao@mail.ru*

На основе архивных данных спектрографа MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) телескопа VLT были отобраны 25 кандидатов в звезды высокой светимости с собственной эмиссией в области линии Н-альфа в галактике NGC1433. По результатам анализа спектров кандидатов и прямых изображений галактик с высоким угловым разрешением из архива космического телескопа имени Хаббла показано, что 7 объектов в NGC1433 являются звездами Вольфа–Райе или включающими их компактными звездными ассоциациями. 9 источников имеют спектры с широкими ветровыми линиями с окружающими компактными туманностями. Наибольший интерес для дальнейших наблюдений с целью более точной классификации и оценки фундаментальных параметров, представляют 8 звезд, предварительно классифицированные как В[e]-сверхгиганты или желтые сверхгиганты, и один кандидат в яркие голубые переменные (LBV-кандидат).

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

### **3 Искусственный интеллект и большие данные**

# Алгоритмы активного поиска аномалий в эпоху широкопольных астрономических обзоров неба

Матвей В. Корнилов<sup>1</sup>

E-mail: *kornilov@physics.msu.ru*

В эпоху широкопольных астрономических обзоров неба, таких как Zwicky Transient Facility (ZTF) и Legacy Survey of Space and Time (LSST), становится особенно актуальной задача автоматического выявления редких и уникальных событий. В докладе будет представлена библиотека Coniferest [1], написанная на языке Python, которая реализует три алгоритма поиска аномалий: Isolation Forest, Active Anomaly Discovery, а также PineForest — новый метод, разработанный нашей исследовательской группой SNAD (<https://snad.space/>). Особенностью последних двух алгоритмов является взаимодействие эксперта и машины в процессе работы, что существенно повышает эффективность обнаружения объектов, относящихся к редким классам. Будут продемонстрированы результаты применения этих методов к данным обзора ZTF, включая примеры обнаружения как быстрых, так и медленных транзиентов.

Работа выполнена в рамках гранта РФФ 24-22-00233

[1] M. V. Kornilov, V. S. Korolev, K. L. Malanchev, A. D. Lavrukhina, E. Russeil, T. A. Semenikhin, E. Gangler, E. E. O. Ishida, M. V. Pruzhinskaya, A. A. Volnova, S. Sreejith, Coniferest: A complete active anomaly detection framework, *Astronomy and Computing*, Volume 52, 2025, 100960.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

# Поиск вспышек красных карликов в данных ZTF DR17 при помощи методов машинного обучения

Анастасия Д. Лаврухина<sup>1</sup>

E-mail: *lavrukhina.ad@gmail.com*

Красные карлики — одни из наиболее долгоживущих звезд, представляющие значительный интерес для астрофизических исследований. Их высокая вспышечная активность, вызванная процессами магнитного пересоединения, помогает лучше понять природу звездной магнитной активности, включая солнечные вспышки, которые могут влиять на орбитальную инфраструктуру Земли. Кроме того, красные карлики представляют особый интерес для поиска внеземной жизни: вокруг них обнаружено множество экзопланет, но их высокая вспышечная активность может создавать неблагоприятные условия для живых организмов из-за интенсивного ультрафиолетового излучения. Однако многие фундаментальные свойства вспышек, такие как частота их возникновения, энергетика и связь со свойствами звезды, остаются недостаточно изученными. Современные широкопольные астрономические обзоры, такие как Zwicky Transient Facility (ZTF), предоставляют новые возможности для создания обширных статистических выборок вспышек. ZTF регистрирует около 200 000 алертов за ночь и содержит примерно 4 миллиарда уникальных кривых блеска. Цель данной работы — использовать данные 17-го релиза ZTF для создания выборки вспышек карликов спектрального класса M и последующего анализа их свойств. Для этого были применены методы машинного обучения, включая обучение моделей бинарного классификатора.

## Методы

Для поиска вспышек был разработан метод, сочетающий предобработку данных и классификацию на основе машинного обучения. Исходные данные включали порядка 2.3 миллиардов кривых блеска из 17-го релиза ZTF. Из них была сформирована выборка с высокой скважностью наблюдений. На основе данных TESS был сгенерирован 1 миллион синтезированных кривых блеска вспышек, что позволило создать обширную выборку для обучения моделей. Для классификации были выбраны ансамблевые модели на основе решающих деревьев — случайный лес (Random Forest) и градиентный бустинг (CatBoost), которые устойчивы к скоррелированным признакам. Входные векторы для моделей состояли из 80 признаков, включая 33 экспертных признака и 47 признаков, полученных методом на основе сверточных нейронных сетей MiniRocket. После классификации была проведена многоступенчатая пост-фильтрация для исключения ложных срабатываний алгоритма, таких как астероиды и фотометрические артефакты. Этот этап включал проверку на совпадения с известными астероидами и использование дополнительного классификатора на основе параметров качества наблюдений, таких как FWHM и Sharpness. Финальный отбор кандидатов в M-карлики производился на основе фотометрических данных Pan-STARRS.

## Результаты

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

В результате применения разработанного метода была обнаружена 1231 вспышка. Это самая крупная выборка вспышек, обнаруженная в рамках наземного обзора. Проведенный анализ выборки позволил определить спектральные подклассы вспыхивающих звезд и рассчитать болометрическую энергию для 650 вспышек. Анализ показал четкую зависимость частоты вспышек от спектрального подкласса, с увеличением частоты для более поздних типов, что согласуется с предыдущими исследованиями. Полученная выборка и проведенный анализ создают надежную основу для дальнейших исследований, включая изучение эволюции вспышечной активности с возрастом звезд. Разработанная методология может быть применена для поиска быстрых переменных объектов других типов.

### **Благодарности**

А. Лаврухина выражает признательность за поддержку Российскому научному фонду (грант № 24-22-00233, <https://rscf.ru/en/project/24-22-00233/>). Вычислительные ресурсы были предоставлены Яндекс Облаком (<https://yandex.cloud>) в рамках гранта на проведение научных исследований.

### **Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 24-22-00233

## Машинное обучение в астрономии

Мария В. Пружинская<sup>1</sup>

E-mail: *pruzhinskaya@gmail.com*

За прошедшее десятилетие астрономия прочно вошла в эпоху массовых обзоров неба, когда в рамках одного обзора на протяжении всего нескольких месяцев или лет удается измерить характеристики миллиардов галактических и внегалактических источников. Такие объёмы информации открывают новые горизонты для исследований, но одновременно ставят перед астрономами серьёзные вызовы: традиционные методы анализа, требующие значительного участия человека и рассчитанные на меньшие объёмы данных, становятся непригодны. Всё большую роль начинают играть методы машинного обучения, позволяющие ускорить обработку, находить интересные объекты и выявлять скрытые закономерности в данных. В докладе будет показано, как современные алгоритмы машинного обучения помогают извлекать новые научные результаты из астрономических данных в XXI веке.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

# Поиск аномалий в каталогах ZTF с использованием бинарных классификаторов

Тимофей А. Семенихин<sup>1,2</sup>

E-mail: [semenikhintimofey@gmail.com](mailto:semenikhintimofey@gmail.com)

Zwicky Transient Facility (ZTF) ежедневно предоставляет до 2 терабайт астрономических данных. С началом работы обзора Legacy Survey of Space and Time (LSST) обсерватории имени Веры Рубин ожидается увеличение объёма данных на порядок. При анализе таких массивов данных применение методов машинного обучения становится наиболее эффективным подходом, особенно в задачах классификации и поиска аномалий.

Одной из ключевых задач в рамках проекта SNAD (<https://snad.space/>) является поиск аномалий в астрономических каталогах. Метод поиска аномалий позволяет ранжировать объекты по степени «аномальности», что помогает экспертам сосредоточиться на наиболее необычных из них. Однако на практике математические выбросы далеко не всегда представляют интерес с точки зрения астрофизики. Часто в список «аномальных» попадают артефакты наблюдений — шумы, ошибки регистрации и другие технические особенности данных.

Для повышения эффективности поиска аномалий мы предлагаем использовать бинарные классификаторы, обученные различать определённые классы объектов (например, артефакт/не артефакт, сверхновая/не сверхновая). Предсказания этих моделей добавляются как новые признаки к исходному набору признаков, описывающему фотометрические данные. Это позволяет алгоритмам поиска аномалий автоматически учитывать информацию от классификаторов, не прибегая к ручному выбору порога решающей функции. Таким образом, методика сочетает преимущества обучения с учителем и без учителя, повышая точность и интерпретируемость результата.

В рамках работы реализованы и протестированы два бинарных классификатора:

**Артефакт / не артефакт («real-bogus»)** — модель, оценивающая вероятность того, что объект является артефактом. После добавления её предсказаний к признаковому описанию объектов наблюдается значительное снижение доли артефактов среди кандидатов, отобранных системой поиска аномалий. Это позволяет сократить требуемое время экспертов на визуальную проверку результатов;

**Сверхновая / не сверхновая** — классификатор, обученный по данным Bright Transient Survey. Для обучения была собрана выборка из 700 кривых блеска спектрально подтверждённых сверхновых. Добавление его предсказаний в алгоритм поиска аномалий позволило увеличить число обнаруженных сверхновых. Среди них были также галактики, в которых наблюдались две вспышки сверхновых в разные моменты времени — потенциально ценные объекты для изучения процесса звездообразования и космологии.

В дальнейшем планируется разработка бинарных классификаторов для других астрофизических классов, таких как активные ядра галактик, мериды и др. Интеграция

---

<sup>1</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Россия

<sup>2</sup> МГУ имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Россия

предсказаний этих моделей в алгоритмы поиска аномалий должна ещё больше повысить эффективность системы, позволяя быстрее находить научно значимые объекты в больших астрономических каталогах.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. "Российский научный фонд", грант 24-22-00233
2. "Фонд развития теоретической физики и математики БАЗИС", грант 24-2-10-27-1

## 4 **Фундаментальные параметры звёзд. Магнитные поля звёзд**

## Комплексные исследования быстровращающейся МСР-звезды 56 Ari с учетом эффекта пекулярности

Сабир Г. Алиев<sup>1</sup>, Захра М. Альшова<sup>1</sup>, Вагиф М. Халилов<sup>1</sup>

E-mail: *sabirshao5@gmail.com*

На основании комплексных наблюдений и литературных данных определены фундаментальные параметры звезды 56 Ari с учетом переменности, связанной с эффектом пекулярности. Методом сопоставления фазовых кривых магнитного поля (В), блеска (V), эквивалентных ширин ( $W_\lambda$ ) и лучевых скоростей ( $v_r$ ) пекулярных элементов (Si, Sr) определены фазы, соответствующие ( $\varphi = 0.20 - 0.30$ ) наиболее пекулярной Р (пятнистой) и ( $\varphi = 0.95 - 1.00$ ) относительно нормальной (N) области на поверхности звезды.

Величины  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$  определялись по профилям водородных линий ( $H_\gamma$  и  $H_\delta$ ) и по разным многоцветным фотометрическим системам. Получено, что в максимально пекулярной области ( $\varphi = 0.20 - 0.30$ ) эффективная температура примерно на 1000 К меньше чем в относительно нормальной области звезды. Значения  $T_{\text{eff}}$  и  $\log g$ , определенные по профилям водородных линий ( $H_\gamma$  и  $H_\delta$ ) для  $T_{\text{eff}}(P) = 12\,300$  К и  $\log g = 4.0$ , для  $T_{\text{eff}}(N) = 13\,000$  К и  $\log g = 3.8$  для пекулярной (P) и относительно нормальной (N) области. Эффективная температура звезды также была определена по параметрам трех фотометрических систем (Джонсона, Стремгрена и Женевская) —  $T_{\text{eff}}(\text{Дж}) = 13\,300$  К;  $T_{\text{eff}}(\text{Ст}) = 12\,300$  К;  $T_{\text{eff}}(\text{Ж}) = 12\,200$  К.

Анализ спектральной и фотометрической переменности показывает, что в максимуме блеска звезды 56 Ari интенсивности линий водорода и гелия достигают минимальных значений, т.е. интенсивности этих линий и блеск изменяются в противофазе. Наибольшую амплитуду изменений показывают H-линии с высокими номерами ( $n \geq 10$ ) Бальмеровской серии, которые формируются в верхних слоях атмосферы ( $\tau < 0, 15$ ) [1].

Чтобы получить информацию о физических условиях и о структуре атмосферы по глубине атмосферы звезды были вычислены амплитуды изменения относительных значений интенсивностей  $\delta A = (W_\lambda/W_\lambda(\text{сред}))_{\text{max}} - (W_\lambda/W_\lambda(\text{сред}))_{\text{min}}$  для каждой H-линии ( $H_\alpha - H_{15}$ ). Далее были построены зависимости амплитуды ( $\delta A$ ) от длины волны. Получено, что величина  $\delta A$  уменьшается с длиной волны, причем наибольшие изменения показывают коротковолновые (высокие —  $n \geq 10$ ) члены серии Бальмера, которые образуются в верхних слоях атмосферы.

Аналогичные процедуры были выполнены для фотометрических данных звезды 56 Ari, наблюдения которой были проведены в 10-цветной Потсдамской фотометрической системе [2]. Были вычислены амплитуды изменений блеска  $\delta m$  для каждого фильтра от  $U = \lambda 3400 \text{ \AA}$  до  $MR = \lambda 8000 \text{ \AA}$ . Самой интересной чертой зависимости «амплитуда-длина волны» является резкий спад амплитуды в коротковолновой области длин волн ( $\lambda \leq 3900 \text{ \AA}$ ), где эффективно формируются высокие члены серии Бальмера.

В области длин волн  $\lambda > 4200 \text{ \AA}$ , где формируются низкие члены ( $H_\alpha - H_\delta$ ) серии Бальмера, почти не наблюдаются изменения величины  $\delta A$ . По-видимому, изменения величины  $\delta A$  с длиной волны связаны с неравномерным распределением пекулярных элементов по глубине атмосферы звезды, т.е. имеет место вертикальная стратификация [3] пекулярных элементов (Si, Sr) в атмосфере 56 Ari.

<sup>1</sup> Шамахинская астрофизическая обсерватория имени Н. Туси, Азербайджан

Подобные зависимости «амплитуда-длина волны» получены и для звезд HD40312, HD112185 и HD124224. Для получения более точных сведений в дальнейшем намечается проведение стратификационного анализа [3] для этих звезд.

- [1] И. М. Копылов, Изв. Кр.АО, 35 (1966) 21.
- [2] В. Musielok, D. Lange, et al., Astron. Nachr., 301, H2, (1980) 71.
- [3] Т. А. Рябчикова, кандидатская диссертация, Москва 2014.

# Синергия рентгеновской и оптической астрономии в обнаружении новых двойных систем с большим отношением масс и в определении фундаментальных параметров звезд

Ильфан Ф. Бикмаев<sup>1,2</sup>, Ирек М. Хамитов<sup>1,2</sup>, Марк А. Горбачев<sup>1,2</sup>,  
Эльдар Н. Иртуганов<sup>1,2</sup>, Евгения А. Николаева<sup>1,2</sup>, Михаил В. Сусликов<sup>1,2</sup>,  
Александра Э. Ахметханова<sup>1</sup>, Полина Д. Ефремова<sup>1,2</sup>, Рустам И. Гумеров<sup>1,2</sup>,  
Наиль А. Сахибуллин<sup>1,2</sup>, Марат Р. Гильфанов<sup>3,4</sup>, Рашид А. Сюняев<sup>3,4</sup>, Павел С. Медведев<sup>3</sup>

E-mail: [ibikmaev@yandex.ru](mailto:ibikmaev@yandex.ru)

В докладе представлены результаты анализа данных Каталога рентгеновских источников нашей Галактики, обнаруженных телескопом eРОЗИТА обсерватории Спектр-РГ в ходе 4-х обзоров всего неба. Оптическое отождествление рентгеновских источников выполнено по сопоставлению с каталогом GAIA DR3 на восточном галактическом полушарии, за обработку данных которого отвечает российский консорциум телескопа eРОЗИТА (L II от 0° до 180°). Оптические спектроскопические наблюдения и отождествления для избранных групп одиночных и двойных звезд проводились на Российско-Турецком 1.5-м телескопе РТТ-150. В докладе будут представлены: 1) результаты сравнения рентгеновской и хромосферной активностей холодных F-G-K-M-звезд с коронами, 2) обнаружения новых тесных двойных систем, 3) обнаружения кандидатов в новые широкие пары, включающие в себя массивные и маломассивные компоненты. Показаны примеры влияния хромосферной активности на профили водородных линий и на систематические ошибки в определении фундаментальных параметров звезд.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант № 23-12-00292

---

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия

<sup>2</sup> Академия наук Республики Татарстан, Россия

<sup>3</sup> Институт космических исследований Российской академии наук, Россия

<sup>4</sup> Институт Астрофизики Общества им. Макса Планка, Германия

# Что даёт современная астрометрия и многоволновая фотометрия галактических шаровых скоплений для физики звёзд?

Георгий А. Гончаров<sup>1,2</sup>, Сергей В. Троицкий<sup>2</sup>, Ольга С. Рютина<sup>2,3</sup>

E-mail: *georgegontcharov@yahoo.com*

Телескопы Gaia и Hubble дают астрометрию звёзд в полях шаровых скоплений нашей Галактики и, таким образом, впервые позволяют отобрать члены этих скоплений с очень высокой вероятностью. Кроме того, мы выполнили перекрёстную идентификацию различных фотометрических обзоров неба (PS1, SDSS, SMSS, WISE, VISTA, UKIDSS и других) с каталогом Gaia DR3. Это позволяет нам сопоставить многоцветную фотометрию (как правило, в более 20 фильтрах от ультрафиолета до инфракрасного с эффективными длинами волн от 250 до 3500 нм) достоверных членов этих скоплений на диаграммах цвет-величина с новейшими теоретическими изохронами, вычисленными на основе моделей внутреннего строения и эволюции звёзд. В результате мы получаем для каждого скопления список его членов, системное собственное движение и системный параллакс, металличность, массовую долю гелия, расстояние, возраст, набор межзвёздных поглощений во множестве рассматриваемых фильтров и, соответственно, закон поглощения, а также характеристики некоторых индивидуальных членов скоплений. Результаты для 16 скоплений представлены нами в публикациях, ещё 20 скоплений обрабатываются. В частности, (i) мы существенно уточняем характеристики и статистику переменных звёзд, особенно по наблюдениям Hubble в самом центре каждого скопления, (ii) мы получаем строгие ограничения на массу членов каждого скопления, (iii) мы с высокой вероятностью разделяем красные гиганты ветви, горизонтальной ветви и асимптотической ветви и для каждой звезды получаем оценку массовой доли гелия и, соответственно, (iv) мы исчерпывающе объясняем морфологию горизонтальной ветви металличностью, возрастом, потерей массы на стадии гиганта и уходом маломассивных звёзд из скопления во время его эволюции, (v) из статистики членов скоплений мы получаем наиболее строгое в мире ограничение на электрон-аксионное взаимодействие и указание на ненулевое аксион-фотонное взаимодействие, которые должны влиять на эволюцию звёзд. Исследование выполняется по гранту РФФ 22-12-00253.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. "РФФ", грант 22-12-00253

---

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

<sup>2</sup> Институт ядерных исследований Российской академии наук

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

## Результаты исследований предкатаклизмических переменных с sdB-субкарликами

Наиля Деминова<sup>1</sup>, Владислав Шиманский<sup>2</sup>, Николай Борисов<sup>2</sup>, Ильфан Бикмаев<sup>1,3</sup>

E-mail: *nellyrd@mail.ru*

Выполнен модельный анализ оптического излучения ряда ПП с sdB-субкарликами с нахождением наборов их параметров и уточнением следующих критериев решения этой задачи.

1. Анализ лучевых скоростей ПП со слабыми эффектами отражения не позволяет найти отношение масс и массы компонент.
2. Для незатменных ПП со слабыми эффектами отражения модельный анализ кривых блеска не позволяет корректно оценить угол наклона орбиты и параметры компонент.
3. Применение различных методик моделирования оптического излучения ПП несущественно влияет на точность определения их параметров при анализе наблюдаемых данных.
4. Использование наблюдений на средних телескопах с повышенным уровнем шумов допустимо для определения параметров ПП.

На основе критериев проведен отбор и статистический анализ представленных в литературе параметров 20 ПП с sdB-субкарликами и выявлены их особенности. Показано, что параметры атмосфер субкарликов в ТДС соответствует их массам около  $0.47 M_{\text{sun}}$ , а их эволюция практически совпадает с эволюцией одиночных звезд. Опубликованные в литературе эволюционные треки одиночных субкарликов пригодны для оценки масс субкарликов в ПП. Одновременно их холодные спутники показывают систематические избытки радиуса без избытка светимости по сравнению с модельными прогнозами для звезд ГП аналогичной массы.

---

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

<sup>3</sup> Академия наук республики Татарстан, Россия

# Распределение молодых звезд с протопланетными дисками по массам и возрастам

Ольга В. Еретнова<sup>1</sup>, Сергей А. Хайбрахманов<sup>1</sup>

E-mail: [eretnova@csu.ru](mailto:eretnova@csu.ru)

В работе анализируются наблюдательные данные о 210 молодых звездных объектах классов II и III с протопланетными дисками. Рассмотрены звезды из областей звездообразования Телец, Волк, Змееносец, Скорпион, Хамелеон и Орион. Данные включают как параметры звезд (спектр, эффективная температура, светимость, возраст, расстояние до звезды), так и протопланетных дисков (размеры диска, масса пыли, скорость потери массы и др.). Массы 77 звезд с дисками найдены в других работах в предположении, что вращение газа в диске кеплеровское. Для определения возрастов и масс остальных звезд в настоящей работе применена линейная интерполяция между эволюционными треками и изохронами [1, 2]. Полученные массы варьируются от  $0.1 M_{\odot}$  до  $2.8 M_{\odot}$ . Возрасты подавляющего большинства исследуемых звезд находятся в интервале от 0.5 млн. лет до 10 млн. лет.

На основе собранных данных построены наблюдаемые распределения звезд с дисками по массам для каждой области звездообразования. Массы звезд в наиболее удаленной области звездообразования Орион лежат в области  $M > 0.63 M_{\odot}$ , среднее значение массы составляет  $M_{\text{ср}} = 1.58 M_{\odot}$ . Наименьшее среднее значение массы,  $M_{\text{ср}} = 0.56 M_{\odot}$ , приходится на область звездообразования Волк, в которой отсутствуют звезды с  $M > 1.58 M_{\odot}$ . Для звезд в Тельце получено, что  $M_{\text{ср}} = 0.88 M_{\odot}$ , в Змееносце+Верхний Скорпион:  $M_{\text{ср}} = 0.84 M_{\odot}$ , в Хамелеоне:  $M_{\text{ср}} = 1.16 M_{\odot}$ . Для всех молодых звезд с протопланетными дисками построено распределение по массам с учетом объема пространства, в котором наблюдаются звезды данной массы. Объем пространства оценивается как объем шарового слоя с толщиной 180 пк. Максимум в построенном распределении приходится на интервал  $-0.4 < \lg(M/M_{\odot}) < -0.3$ . Распределение на интервале масс  $-0.4 < \lg(M/M_{\odot}) < 0.5$  аппроксимировано степенной функцией  $dN \sim M^{\Gamma} d(\lg M)$  с показателем степени  $\Gamma = -(1.02 \pm 0.40)$ . В пределах погрешности это близко к солпитеровской начальной функции масс,  $\Gamma = -1.35$ . Полученные результаты используются для анализа сходств и различий функций масс молодых звезд с дисками и протозвездных облаков.

[1] I. Baraffe, D. Homeier, F. Allard, et al. *A&A*, 577 (2015), A42.

[2] A. Dotter, B. Chaboyer, D. Jevremovi ´c, et al. *Ap&SS.*, 178 (2008), 89.

## Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский научный фонд”, грант 24-22-20041

---

<sup>1</sup> Челябинский государственный университет

# Неустойчивость Тейлера в лучистых зонах звезд

Леонид Л. Кичатинов<sup>1</sup>

E-mail: [kit@iszf.irk.ru](mailto:kit@iszf.irk.ru)

Известная в физике плазмы изгибная неустойчивость пинча приобретает в лучистых зонах звезд особые свойства из-за влияния гравитации, устойчивой стратификации (Taylor 1973) и вращения. Неустойчивость Тейлера может приводить к перемешиванию вещества лучистой зоны по радиусу и является центральным ингредиентом гипотетического механизма динамо Тейлера-Спраута.

В докладе обсуждаются результаты расчетов собственных мод неустойчивости Тейлера, полученных в численной модели линейной устойчивости тороидальных полей лучистой зоны звезды. Расчеты для Солнца дают ограничение для напряженности тороидального поля в верхней части лучистой зоны, Гс. Неустойчивость поля большей напряженности приводит к слишком интенсивному перемешиванию по радиусу, не совместимому с наблюдаемым содержанием лития. В расчетах для А-звезд могут представлять интерес структура собственных мод неустойчивости, а также их скорости роста и дрейфа. Эти характеристики существенно зависят от относительной плотности магнитной энергии по сравнению с энергией вращения. Для относительно слабых полей, структура полоидального поля неустойчивой моды близка к дипольной с осью диполя в плоскости экватора. Для полей выше уровня равномерного распределения «центр тяжести» радиальной составляющей поля уходит в полярную область. Собственные моды неустойчивости Тейлера дрейфуют по долготе против направления вращения. Скорость дрейфа в среднем возрастает с напряженностью поля, но изменяется разрывным образом в сторону уменьшения для нескольких значений напряженности ниже уровня равномерного распределения. Для сильных полей выше уровня равномерного распределения, скорость дрейфа собственных мод неустойчивости близка к скорости вращения звезды. Картина таких мод будет выглядеть почти стационарной для стороннего наблюдателя. Это обстоятельство может объяснить наблюдения сверхмедленного вращения некоторых Ар звезд с сильным магнитным полем.

Taylor R. J., The adiabatic stability of stars containing magnetic fields. MNRAS 1973, **161**, 365.

---

<sup>1</sup> Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

# Исследование LDR метода определения эффективных температур у F-G-K звезд

Сергей А. Коротин<sup>1</sup>, Кирилл О. Киселев<sup>1</sup>

E-mail: *serkor1@mail.ru*

Одним из методов определения эффективной температуры звезд является метод отношения глубин спектральных линий (LDR-метод). В его основе лежит наблюдение, что линии с различной энергией возбуждения нижнего уровня по-разному реагируют на изменения  $T_{\text{eff}}$ . На основании этого в конце прошлого века был предложен метод определения  $T_{\text{eff}}$  по отношениям глубин различных спектральных линий. Обычно исследователями строится эмпирическая зависимость отношения глубин выбранных линий разных химических элементов от  $T_{\text{eff}}$  большого числа звезд. Нами проведено исследование точности использования LDR-метода в зависимости от таких фундаментальных параметров звезд, как  $\log g$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $V_t$ ,  $V \sin(i)$ , а также спектрального разрешения ( $R$ ). Чтобы исключить влияние индивидуального содержания химических элементов в атмосферах звезд использовались линии только нейтрального железа. Были отобраны линии FeI с высокой и низкой чувствительностью к изменению  $T_{\text{eff}}$ . Проведено уточнение сил осцилляторов этих линий по спектрам Солнца. Осуществлен всесторонний анализ влияния фундаментальных параметров звезд ( $\log g$ ,  $V_t$ ,  $[\text{Fe}/\text{H}]$ ,  $V \sin(i)$ ) и спектрального разрешения  $R$  на точность LDR метода. Предложена простая методика определения эффективных температур F-G-K звезд по рассчитанной сетке ( $T_{\text{eff}}$  от 3750 до 7250 К,  $\log g$  от 1 до 5,  $[\text{Fe}/\text{H}]$  от  $-0.5$  до  $+0.5$ , и  $V \sin(i)$  от 1 до 16 км/с) эквивалентных ширин и глубин линий железа. Проведена ее апробация на спектральных наблюдениях хорошо исследованных звезд.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

# Определение параметров звезд типа $\gamma$ Cas

Дмитрий Н. Мокшин<sup>1</sup>

E-mail: *denih@list.ru*

В рамках данной работы представлены результаты определения фундаментальных параметров (массы, возраста, радиуса и светимости) для звёзд, классифицируемых как звезды типа  $\gamma$  Кассиопеи ( $\gamma$  Cas). В основе расчёта лежит байесовский подход, сопоставляющий наблюдаемые величины — эффективную температуру ( $\log T_{\text{eff}}$ ) и светимость ( $\log L$ ) — с предсказаниями современных эволюционных моделей, учитывающих быстрое вращение ( $v/v_{\text{crit}} = 0.99$ ). Моделирование выполнено с использованием эволюционных треков учитывающих вращение PARSEC и MESA в диапазоне масс от 4 до 30  $M_{\odot}$ . Установлено, что апостериорное распределение вероятности для большинства объектов демонстрирует выраженную мультимодальность, свидетельствующую о наличии нескольких правдоподобных эволюционных сценариев. Наиболее вероятные решения соответствуют стадиям эволюции, непосредственно следующим за стадией главной последовательности. Полученные оценки масс находятся в удовлетворительном согласии с независимыми определениями из анализа динамики двойных систем. Результаты работы подтверждают, что звёзды типа  $\gamma$  Cas являются массивными ( $M > 8M_{\odot}$ ) объектами на поздних стадиях эволюции, и формируют важную основу для исследования природы их переменности и роли быстрого вращения в эволюции массивных звёзд.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

## Изучение массивных ОВА звёзд с рентгеновским излучением

Е. А. Николаева<sup>1</sup>, И. Ф. Бикмаев<sup>1,2</sup>, Э. Н. Иртуганов<sup>1,2</sup>,  
М. Р. Гильфанов<sup>3,4</sup>, Р. А. Сюняев<sup>3,4</sup>, П. С. Медведев<sup>3</sup>

E-mail: *eugeny.nikolaeva@gmail.com*

Массивные звезды играют ключевую роль в эволюции галактик, являясь источниками энергии, химических элементов и кинетического воздействия на межзвёздную среду. Их активность проявляется, в частности, в рентгеновском излучении, возникающем из-за ударных волн в звёздных ветрах, магнитных взаимодействий или наличия компактных компаньонов.

В данной работе исследуется природа рентгеновского излучения 10–15 массивных звёзд, зарегистрированных телескопом eROSITA обсерватории «Спектр-РГ» [1]. Для уточнения параметров отобраны ближайшие объекты с точной фотометрией и параллаксами. Спектры получены на РТТ-150 в эшелле моде для анализа профилей сильных линий и определения поверхностной гравитации  $\log g$  по крыльям линий.

Для определения фундаментальных параметров был использован и адаптирован для изучения массивных звёзд комплекс AstroARIADNE (spectrAl eneRgy dIstribution bAyesian moDel averagiNg fittEr) [2] — это байесовский комплекс для подбора спектрального энергетического распределения звезды, использующий метод усреднения по моделям в байесовском подходе (Bayesian Model Averaging, усреднение по нескольким моделям с весами, пропорциональными их правдоподобию). Фотометрические данные сравниваются одновременно с несколькими сетками теоретических атмосферных моделей, и каждая модель вносит вклад в итоговые оценки температуры, поверхностной гравитации, радиуса, химического состава и межзвёздного поглощения пропорционально своей статистической обоснованности. Такой подход позволяет учесть неопределённость в выборе теоретической модели и уменьшить систематические ошибки, возникающие при использовании только одной модельной сетки.

Сравнение теоретических и наблюдаемых профилей водородных линий  $H\alpha$  и  $H\beta$  позволяет сделать вывод о наличии ветровой компоненты в спектрах горячих звезд, а отсутствие эмиссионной компоненты в профилях линий может свидетельствовать о наличии второго компонента (холодной звезды классов F-G-K-M) - являющегося истинным источником рентгеновского излучения в данной двойной системе.

Исследование выполнено при поддержке: Госзадание FZSM-2023-0015.

[1] *R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, H. Brunner, et al.*, *A&A*, **656**, A132, 2021.

[2] *J. I. Vines, J. S. Jenkins*, *MNRAS*, **513**, 2719, 2022.

---

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

<sup>2</sup> Академия наук Республики Татарстан, Казань

<sup>3</sup> Институт космических исследований Российской академии наук, Москва

<sup>4</sup> Институт астрофизики Общества Макса Планка, Германия

## Последние достижения в исследовании магнитных полей звезд верхней части ГП с радиативными атмосферами

И. А. Якунин<sup>1</sup>

E-mail: *arckest@gmail.com*

Обзор будет посвящен последним достижениям в исследовании феномена магнетизма звезд ранних спектральных классов с лучистыми атмосферами. Исследования магнитного поля звезд с массами больше солнечной показали, что всего лишь около 10% таких звезд являются магнитными, однако до сих пор не существует согласованной модели возникновения и стабильного существования магнитного поля на поверхности таких звезд. Магнитное поле способно значительно влиять на физику и эволюцию этих объектов на протяжении всей их жизни, на Главной последовательности и вне ее. В докладе будут рассмотрены наблюдательные проявления магнитосферной активности подобных звезд, проявляющиеся в широком диапазоне длин волн, а также методы обнаружения магнитных полей. Также будет проведен обзор современных попыток объяснить механизмы возникновения и поддержания стабильности магнитных полей в звездах ранних спектральных классов.

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской Академии Наук

## **5 Звёздная активность, молодые звёзды**

# Periodical Variations of Emission Spectral Lines of the Herbig Ae Star HD190073

Hemayil Adigozalzade<sup>1</sup>, Silva Jarvinen<sup>2</sup>, Swetlana Hubrig<sup>2</sup>,  
Ulviyya Bashirova<sup>1</sup>, Nariman Ismailov<sup>1</sup>

E-mail: *hadigozalzade@gmail.com*

Recently, using the longitudinal magnetic field measurements, we have detected a rotation/magnetic period of  $P = 51.70 \pm 0.06$  days on the numerous spectropolarimetric observations of V1295 Aql. This work aims to search for periodic variations with a period of 51.7 days in the observed spectral lines in the optical range. For this task we have used results of long-term spectral observations of the Herbig Ae star PB 190073, performed at the Shamakhy Astrophysical Observatory named after N. Tusi (ShAO) with a spectral resolution of  $R = 28\,000$  in the range of  $\lambda = 3700 - 7000 \text{ \AA}$ . The emission (circumstellar disc) spectrum of the star shows significant variability with a magnetic rotational period of 51.7 days. At the same time, the absorption spectrum of the star does not show variations over time. The observed variability in the equivalent widths of the absorption lines is a visible effect caused by a change in the emission spectrum of the star. This observational fact allows us to assert that the magnetic field of the star contributes to the formation of the magnetosphere structure, which is revealed by the rotation period. Based on the results of long-term homogeneous spectral observations, it was shown that the radial velocities of the absorption lines do not change. Since we are observing the star practically from the pole-on, the question of the existence of a stellar companion of V1295 Aql remains open.

**Key words:** pre-main-sequence stars; circumstellar disks; spectroscopy; individual: V1295 Aql.

---

<sup>1</sup> Tusi Shamakhy Astrophysical Observatory, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Shamakhy, AZ 5626, Azerbaijan

<sup>2</sup> Leibniz-Institut für Astrophysik Potsdam (AIP), An der Sternwarte 16, D-14482 Potsdam, Germany

# Spectral features of HD 141569 in the optical wavelength range in 2017-2023 years

U. Z. Bashirova<sup>1</sup>, H. N. Adigozalzade<sup>1</sup>, N. Z. Ismailov<sup>1</sup>

E-mail: *ulviyya.b@mail.ru*

Recent observations suggest that the disk is a hybrid type, exhibiting characteristics between a protoplanetary disk and a debris disk. This makes HD 141569A an excellent laboratory for studying planetary formation processes. Studies of HD 141569A have provided valuable insights into the dynamics of circumstellar disks and the conditions conducive to planet formation. The system's relatively young age and the presence of a complex disk structure make it a key subject of astrophysical research. In this study, we present the findings from consistent spectral observations of the Herbig Ae-type star HD 141569, carried out at the Shamakhy Astrophysical Observatory between 2017 and 2023. For the first time, it has been demonstrated that the spectrophotometric parameters of emission lines exhibit both short-term (on the scale of days) and long-term (over years) variations. These changes in the optical emission spectrum can be attributed to phenomena such as stellar winds and disk accretion processes. Based on the analyzed spectral features, the star has been classified as a  $\beta$  Pic-type object, characterized by a fragmented protoplanetary debris disk.

**Key words:** Pre-main sequence stars, circumstellar disks, star formation, HD 141569.

---

<sup>1</sup> Tusi Shamaky Astrophysical Observatory, Ministry of Science and Education of Azerbaijan, Shamakhy, AZ 5626, Azerbaijan

# Photometric and spectral variability in the symbiotic star CH Cygni

Kh. M. Mikailov<sup>1</sup>, R. T. Mammadov<sup>2,3</sup>, A. B. Rustamova<sup>4</sup>

E-mail: *ruslan\_rtm@yahoo.com*

The article presents the results of photometric and spectral observations of the symbiotic star CH Cyg, which were conducted simultaneously at the Shamakhi Astrophysical Observatory on 10 July 2018. Photometric observations were carried out with the Zeiss-600 telescope, and spectral observations were performed on a 2-meter telescope with modern CCD light detectors. The obtained digital observation materials were processed and analyzed using the MaxIm DL and DECH 30 software packages. Based on the spectra, the equivalent widths of some spectral lines and the flux values in the B, V, and R filters were compared and analyzed. As a result, it was determined that with a decrease in the brightness of the star, the equivalent widths of the hydrogen lines decrease, and this is more pronounced in the H $\alpha$  line. At the same time, it became clear from the comparison of the analysis of photometric and spectral observations that short-term variability in the brightness of the star is also manifested in the spectral parameters.

**Key words:** Symbiotic star, CH Cyg, photometry, spectral observation.

---

<sup>1</sup> Baku State University, Baku, Azerbaijan

<sup>2</sup> Batabat Astrophysical Observatory of Science and Education Ministry of Azerbaijan

<sup>3</sup> Nakhchivan State University, Nakhchivan, Azerbaijan

<sup>4</sup> Tusi Shamakhy Astrophysical Observatory of Science and Education Ministry of Azerbaijan

## A new subgroup of Herbig Ae/Be stars

Улву С. Велиев<sup>1</sup>, Фаида С. Гусейнова<sup>1</sup>, Нариман З. Исмаилов<sup>2</sup>

E-mail: *veliyev\_ulvu@mail.ru*

This paper presents the results of a study of the spectral energy distribution curves (SED) of selected Herbig Ae/Be stars (HAeBeS) in the spectral range of 0.36-100  $\mu\text{m}$ . It was shown that out of 48 program stars, 8 stars showed a weak residual IR emission, which is observed only in the wavelength range with  $\lambda \geq 10 \mu\text{m}$ . We called this subgroup «Weak Herbig Ae/Be stars» (WHAeBeS). Physical parameters of all studied stars were determined. It was shown that the SED of the selected subgroup of WHAeBe stars belongs to class III. Despite the youth of these stars, the reason for the relatively rapid dissipation of the circumstellar disk matter for selected WHAeBe stars is unclear.

**Key words:** Pre-Main sequence stars, circumstellar disks, HAeBe stars – planet formation processes, WHAeBe stars.

---

<sup>1</sup> Батабатская Астрофизическая Обсерватория, Нахчыванского Государственного университета, Азербайджан

<sup>2</sup> Шамахинская Астрофизическая обсерватория им Н. Туси, Министерства Науки и Образования Азербайджана

# Оптические вспышки в окрестностях Солнца: исследование звезд в пределах 30 парсек из каталога eРОЗИТА/CPG по данным наблюдений TESS

Марк А. Горбачев<sup>1,2</sup>, Ильфан Ф. Бикмаев<sup>1,2</sup>, Ирек М. Хамитов<sup>1,2</sup>,  
Марат Р. Гильфанов<sup>3,4</sup>, Рашид А. Сюняев<sup>3,4</sup>, Павел С. Медведев<sup>3</sup>

E-mail: *mgorbachev17@gmail.com*

Каталог рентгеновских источников, обнаруженных телескопом eРОЗИТА в ходе 4-х обзоров всего неба содержит значительное количество звезд нашей Галактики. Оптическое отождествление рентгеновских источников eРОЗИТА выполнено по сопоставлению с каталогом GAIA DR3. В работе рассматривается область в пределах 30 парсек, на восточном галактическом полушарии, за обработку данных которого отвечает российский консорциум телескопа eРОЗИТА (около 5 тысяч звезд с  $l$  от  $0^\circ$  до  $180^\circ$ ). Для исследования оптической вспышечной активности рентгеновской выборки были использованы данные космической обсерватории TESS. Реализация таких проектов, как TESS, открывает перед нами новые возможности, позволяя практически непрерывно вести наблюдения за звездами на протяжении длительного периода времени с высоким временным разрешением, а большой объем накопленных данных наблюдений TESS позволяет проводить различные статистические исследования.

Звездные вспышки являются наиболее яркими представителями множества различных явлений, обусловленных магнитной активностью звезд. Анализ доступных кривых блеска TESS с 120-секундным временным разрешением позволил выделить более 5000 оптических вспышек на 698 звездах с рентгеновской активностью. В тоже время в выборке из 929 звезд с рентгеном ниже порога чувствительности eРОЗИТА выделено менее 1000 событий. Диапазон энергий зафиксированных оптических вспышек лежит в пределах от  $10^{30}$  до  $10^{35}$  эрг.

В докладе будут показаны результаты анализа выделенных вспышек и продемонстрированы наиболее типичные из них, а также результаты сравнения вспышечной активности рентгеновских звезд и выборки звезд ниже чувствительности телескопа eРОЗИТА.

## Исследование проведено при поддержке:

1. “РНФ”, грант № 23-12-00292

---

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия

<sup>2</sup> Академия наук Республики Татарстан, Россия

<sup>3</sup> Институт космических исследований Российской академии наук, Россия

<sup>4</sup> Институт астрофизики Общества Макса Планка, Германия

# Результаты долговременных фотометрических и спектральных наблюдений молодой массивной звезды V645 Cyg

Станислав Ю. Горда<sup>1</sup>, Анастасия П. Бисярина<sup>1</sup>, Андрей М. Соболев<sup>1</sup>

E-mail: *stanislav.gorda@urfu.ru*

Приведены результаты продолжающегося с 2009 года в Коуровской обсерватории Уральского федерального университета фотометрического и с 2017 года спектрального исследования молодой переменной звезды V645 Cyg, являющейся объектом Ae/Be Хербига и расположенной в области активного звездообразования. Обнаруженное ранее авторами и продолжающееся по настоящее время возрастание блеска и покраснение цвета V645 Cyg, а также увеличение абсорбционной составляющей синего крыла профиля линии H<sub>alpha</sub> интерпретируются в рамках предположения уменьшения оптической толщины расширяющегося газо-пылевого кокона и увеличения видимости нагретых излучением звезды областей газопылевой оболочки. Представлены новые результаты, полученные в течение 2025 года.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. "Министерство науки и высшего образования Российской Федерации", грант тема FEUZ-2023-0019

---

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

# Магнитосферная аккреция и запыленный ветер — основные причины активности молодых звезд

Константин Гранкин<sup>1</sup>

E-mail: *konstantin.grankin@craocrimea.ru*

Многообразии фотометрического и спектрального поведения молодых звезд на стадии до главной последовательности (PMS) обусловлено в первую очередь звездной активностью, магнитосферной аккрецией и экранирующим действием запыленного ветра. Основные проявления звездной активности рассмотрены на примере V410 Tau — молодой звезды типа T Тельца со слабыми эмиссионными линиями (WTTS). Отмечается особая роль топологии магнитного поля на процессы магнитосферной аккреции в случае классических звезд типа T Тельца (CTTS). Особенности магнитосферной аккреции обсуждаются на примере представителей различных групп PMS: AA Tau — прототипа так называемых «дипперов», Z CMa и V1515 Cyg — объектов типа Ae/Be Хербига (HAeBeS) и FU Ori (FUors). Экранирующее влияние запыленного ветра рассматривается на примере особенностей фотометрического и поляриметрического поведения WW Vul — звезды типа UX Ori (UXors). Кратко обсуждаются модели центробежного запыленного ветра и их предсказания для случая UXors. Приводятся примеры долговременных и глубоких ослаблений блеска AA Tau, CQ Tau и V1184 Tau. Рассматриваются различные типы ветров, в частности запыленный фотоиспарительный ветер. Обсуждаются фотометрические, поляриметрические и спектральные особенности RW Aur, RY Tau и SU Aur в рамках моделей конических МГД-ветров, возникающих на радиусе коротации и способных поднимать пыль непосредственно за границей области сублимации пыли.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

# Исследование динамики фрактальных характеристик протонных событий, происходящих на Солнце в микроволновой области

Ширин Ш. Гусейнов<sup>1</sup>, Сади Ш. Гусейнов<sup>1</sup>

E-mail: *shirin.guseyn@gmail.com*

Основная цель данной работы — качественное и количественное исследование ряда вопросов их эволюции и диагностики на основе радио всплесков мощных вспышек и протонных событий, происходящих на Солнце. Несмотря на то, что решение отмеченный нами проблемы специалисты интенсивно исследуют уже более 60 лет, эти вопросы остаются актуальными.

За последние несколько десятилетий специалисты на основе данных космических лучей Солнца (СКЛ) подробно изучили тот факт, что динамика процессов вспышки состоит из импульсной и постепенной фаз. Благодаря решению экспериментальных задач, выполненных в этом направлении, были достигнуты важные научные результаты [1].

В микроволновом диапазоне ценные исследования, посвященные диагностике радио всплесков солнечных протонных событий на основе их интенсивностей, базируются на методе ИЗМИРАН [2].

Мы также творчески подошли к решению этих задач и впервые применили фрактальный метод и его версию «скользящего окна» к составленным нами временным рядам, полученным на основе радио всплесков солнечных протонных событий, наблюдавшихся одновременно в микроволновых диапазонах  $\lambda = 10.7$  и  $27.8$  см [3]. Наблюдения проводились в 2014–15 гг. на РТ-12 радиотелескопе Института Ионосферы Республики Казахстан на частотах  $f = 1$  и  $3$  ГГц.

Кроме того, наблюдались три протонные события в микроволновых областях  $\lambda = 10.7$  и  $27.8$  см от солнечных вспышек, удовлетворяющие критерию Танака-Эноме  $F_{3\text{см}}/F_{8\text{см}} > 1$ , аналогичному критерию  $F_{10.7\text{см}}/F_{27.8\text{см}} > 1$ . Исследования показали, что три события вспышки: В6.2/  $\sim$  X 2.4, 01.09.2014 г.; М 2.7, 21.06.2015 г. и М 7.9, 25.06.2015 г., для которых выполняются критерии протонности. Это отражено в каталоге протонных событий, составленном под руководством Ю. И. Логачевым. Применение метода фрактального исследования на сечениях показало, что найденные значения показателей  $H_t$  — Херста составляют  $H_{1\text{ГГц}}/H_{3\text{ГГц}}$ . Это показывает, что радиоизлучение в нижней короне ( $f = 1$  ГГц) более устойчиво чем во вспышечной области Солнца, генерируемое в переходном слое ( $f = 3$  ГГц). Профили интенсивности и времени радиоизлучения двухчастотных (1 и 3 ГГц) солнечных протонных событий и вычисленные нами оценки фрактальных параметров ( $H_t$  и  $D_t$ ) позволяют проследить динамику событий (импульсную и постепенную фазу). Найденные нами значения указывают на длительность импульсной и постепенной фаз изученных нами протонных событий,  $t_{\text{имп.}} \approx 4 \div 15$  мин. и  $t_{\text{пост.}} \approx 15 \div 120$  мин.

Результаты исследования показали, что для солнечных протонных событий  $H_t$  — оценка показатель Херста в постепенной фазе больше чем импульсной фаз ( $H_{\text{пост.}} > H_{\text{имп.}}$ ). Другими словами, в постепенной фазе данные имеют долгосрочную зависимость и процесс более устойчив. Оценка  $H_t$  — показателей Херста и  $D_t$  — фрактальных размерностей динамики

---

<sup>1</sup> Шамахинская астрофизическая обсерватория имени Н. Туси, Азербайджан

протонного события по секциям позволяет определить границу его импульса и постепенных фаз.

Изменение показателей Херста ( $0.5 < H_t < 1$ ), рассчитанное на частотах 1 и 3 ГГц, показывает, что тип временного ряда, отражающего динамику протонных событий, является стационарным, а измерение значения фрактальной размерности ( $1 < D_t < 1.5$ ) указывает на сложность события.

Значения фрактальных размерностей  $D_{1\text{ ГГц}} = 1.165$ ,  $D_{3\text{ ГГц}} = 1.187$  и индексов Херста  $H_{1\text{ ГГц}} = 0.834$ ,  $H_{3\text{ ГГц}} = 0.812$  Солнечных протонных событий, исследованные нами с помощью фрактального метода и его правила динамики сечений на частотах  $f = 1$  и 3 ГГц, характеризуют инерционность процесса. На основании рассчитанных нами значений  $D_t$  и  $H_t$  за период времени, в течение которого произошли события, можно определить его максимальные нестабильные периоды. Разделив рассматриваемый нами временной ряд на интервалы с возрастающим числом элементов, мы можем на основе рассчитанных значений  $H_t$  определить, при каких интервалах его стремится к 1, а при каких к 0.

Таким образом, наши исследования, позволяющие одновременно определять длительности импульсной и постепенных фаз протонных событий в нескольких микроволновых диапазонах, повышают эффективность радио диагностики. Это позволяет нам прогнозировать степень загрязнения космического погоды за  $\sim 0.5 \div 1.5$  дня.

[1] А. Б. Струминский, И. Ю. Григорьева, Ю. И. Логачев и А. М. Садовский, *Ж. Физика Плазмы*, том. 46 (2020) 139.

[2] В. В. Гречнев, В. И. Киселев, Н. С. Мешалкина и И. М. Черток, *Ж. Солнечно-земная физика*, том. 3 (2017) 3.

[3] Sh. Sh. Huseynov, S. Sh. Huseynov and Yu. N. Levin, *J. Problems of evolution of open systems (PEOS)*, Res 26 (2024) 11.

# Вуалирование фотосферных линий в спектрах звезд типа UX Ori в глубоких минимумах блеска. I Звезда RR Tau

Полина О. Димитриева<sup>1</sup>, Владимир П. Гринин<sup>1,2</sup>, Лариса В. Тамбовцева<sup>2</sup>

E-mail: *st110648@student.spbu.ru*

Выполнен сравнительный анализ спектров звезды RR Tau, принадлежащей семейству молодых неправильных переменных звезд типа UX Ori, в разных состояниях ее блеска. Параметры звезды: масса  $M_* = 2.5M_\odot$ , радиус  $R_* = 2.1R_\odot$ ,  $T_{\text{eff}} = 9750$  К,  $\log g = 3.5$ ,  $v \sin i = 140$  км/с. Для звезд этого типа характерны глубокие минимумы, вызванные экранированием звезды непрозрачными фрагментами (облаками) протопланетных дисков. Одной из интересных особенностей спектров звезд типа UX Ori, полученных в минимумах блеска, является эффект вуалирования — замывание истинного (фотосферного) спектра эмиссией, образующейся в околозвездной среде. Проблема вуалирования фотосферных спектров молодых звезд уже давно обсуждается в литературе, но в основном применительно к холодным молодым звездам типа Т Тельца. Основным источником вуалирования спектров этих звезд являются горячие аккреционные пятна на их поверхности. У звезд типа UX Ori природа вуалирования иная и связана с коронографическим эффектом, возникающим при транзите пылевых облаков по диску звезды. В результате фотосферные линии размываются или становятся неразличимыми. В нашей работе исследуется спектральная переменность звезды RR Tau с акцентом на проявления вуалирования и его влияние на наблюдаемый спектр. Наблюдательную основу анализа составляют спектры высокого разрешения, полученные с помощью Nordical Optical Telescope в рамках совместного проекта со шведскими астрономами. Целью данной работы является исследование природы вуалирования спектральных линий RR Tau в разные моменты времени, когда блеск звезды менялся от  $10.7^m$  до  $13.9^m$ . Рассматриваются линии Ca II, Fe II, O I, Na I D2 и He I, которые демонстрируют сильное вуалирование эмиссией в глубоких минимумах и обсуждается природа вуалирования. По вуалирующей эмиссии определяются кинематические условия в области образования спектральных линий.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

# Три десятилетия оптической фотометрии фуора V1057 Cyg и две уникальные особенности: «вилка» в цветах и увеличение периодов вращения

Мансур Ибрагимов<sup>1</sup>

E-mail: [mansur@inasan.ru](mailto:mansur@inasan.ru)

Фуорами называют молодые звездные объекты, которые показывают сильные эрупции (фуорные вспышки) на ранней стадии эволюции. Фуорная вспышка характеризуется увеличением оптического блеска до 4-6 величин на шкале от года до нескольких десятилетий. Постепенное возвращение к уровню довысшечного блеска происходит на шкале одного-нескольких столетий. Предполагается, что триггером фуорной вспышки является наступление режима «кратковременной эпизодической аккреции» (однако, универсальность этого режима оспаривается). В таком режиме аккреция в протопланетном диске с типичный темпом  $10^{-8\div-9} M_{\odot}/\text{год}$  возрастает на несколько порядков до темпа  $10^{-4} M_{\odot}/\text{год}$ . В возбужденном (вспышечном) режиме холодный диск становится самосветящимся и превалирует над излучением центрального молодого объекта. За прошедшие 85 лет со времени открытия первого фуора FU Ori, вспыхнувшего в 1936 г., обнаружено примерно 50 фуоров и фуороподобных объектов (см., например [1], [2]). В 2025 году появилось исследование [3], где авторы больше чем на порядок (717 объектов) увеличили число возможных кандидатов в фуоры и фуороподобные объекты.

Несмотря на увеличение числа фуоров, на сегодняшний день V1057 Cyg остается единственным фуором, у которого наиболее детально с использованием спектральных, оптических, ИК- и других данных прописана вся история вспышки — предвспышечная, вспышечная и поствспышечная стадии. При этом 55-летняя история исследований V1057 Cyg со времени его фуорной вспышки в 1969-71 гг. не привела пока к единому общепринятому представлению о природе его фуорной вспышки. Интерес к исследованиям фуора V1057 Cyg и интерпретации его наблюдательных данных сохраняется.

В докладе собраны, обсуждены и проанализированы наиболее детальные и самые представительные из имеющихся в мире многоцветные оптические фотометрические данные для фуора V1057 Cyg. Они получены в период с 1983 по 2011 гг. (без малого три десятилетия мониторинга). Мониторинг проводился двумя группами исследователей. Группа из Санкт-Петербурга (ГАО РАН) и Москвы (ГАИШ МГУ) использовала инструменты Крымской станции ГАИШ. Группа из Ташкента (АИ АН РУз) использовала инструменты Майданакской астрономической обсерватории. Обе группы независимо наблюдали фуор V1057 Cyg в широкополосной фотометрической системе UBVR<sub>I</sub> на идентичных 60-см телескопах с электрофотометрами на счете импульсов. В докладе кратко обсуждены все полученные наблюдения. Отмечено, что V-кривые блеска хорошо согласуются у двух групп, а вот цвета фуора плохо коррелируют из наблюдений двух групп. Для дальнейшего анализа были выбраны цвета группы из АИ АН РУз.

Анализ полученных наблюдений привел к установлению двух уникальных (ранее никем не обнаруженных и не отмечавшихся) особенностей в фотометрическом поведении фуора

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

V1057 Cyg за три десятилетия его мониторинга. Первая особенность — была обнаружена, прослежена и проанализирована «вилка» в цветах (B-V) и (V-R) фуора. Вилка возникает в начале 90-х годов и делит цветовое поведение фуора на отдельные (хорошо разнесенные и четко прописанные) «синюю» и «красную» ветви цветов. В течение двух сезонов 1996 и 2003 гг. наблюдался переход («лесенка») между синей и красными ветвями. Анализ (квази)периодов вращения фуора по V-кривой блеска привел к обнаружению второй особенности — увеличению периодов вращения. Увеличение периодов происходило от  $\sim 15$  дней в середине 80-х до  $\sim 150$  дней к середине 90-х, а затем до  $\sim 500$  дней в 00-е годы. Предложена рабочая гипотеза для объяснения наблюдаемых фотометрических особенностей фуора V1057 Cyg (искривленный самосветящийся диск вокруг молодого звездного объекта).

[1] Audard et al. 2014, in Protostars and Planets VI, ed. H. Beuther et al. (Tucson, AZ: Univ. Arizona Press), 387.

[2] Fischer et al. 2023, in ASP Conf. Ser. 534, Protostars and Planets VII, ed. S.-i. Inutsuka et al. (San Francisco, CA: ASP), 355.

[3] Peña et al., ApJ, 2025, 987, 23.

## Влияют ли планеты на долгосрочное поведение активности Солнца и звёзд?

М. М. Кацова<sup>1</sup>, В. Н. Обриджо<sup>2</sup>, Д. Д. Соколов<sup>2,3</sup>, Н. В. Емельянов<sup>1</sup>

E-mail: *mkatsova@mail.ru*

Рассмотрен вопрос о том, насколько наличие планетной системы влияет на циклическую активность Солнца и других ему подобных звёзд. Солнечно-звёздная активность представляет собой процесс, обусловленный множеством независимых, но взаимосвязанных явлений. Если 11-летний цикл отражает работу механизма динамо, то причина более длительных, вековых вариаций не ясна. В том случае, когда цикличность активности определяется сильным приливным воздействием планеты, длительность цикла у звезды должна быть синхронизована с периодом орбитального обращения планеты. В поисках такой причины имеет смысл проверить подход, учитывающий влияние планетной системы. Для звёзд солнечного типа с планетами и достоверно установленной циклической активностью, оценено гравитационное воздействие планет на их родительские звезды и выполнено сопоставление периодов активности с периодами обращения экзопланет. Оказалось, что синхронизация не наблюдается, т. е. экзопланеты не влияют на формирование звёздного и солнечного цикла. Однако такое влияние может проявляться в регулярности цикла, вплоть до его исчезновения. Возможно, оно проявляет себя как внешнее воздействие, модулирующее амплитуду (высоту) цикла. Далее для Солнца рассмотрено влияние всех планет солнечной системы, сведенное к воздействию единого барицентра. Изменение положения барицентра Солнечной системы относительно центра Солнца сопоставлено с наиболее достоверным 120-летним рядом числа солнечных пятен SSN-индекса, а также с данными о солнечной активности за 320 лет. Здесь также синхронизация отсутствует. Рассмотрено поведение меридиональной компоненты приливной силы на длительных временных масштабах, включающих и последнее тысячелетие. Однако и оно не согласуется с наблюдаемой циклическостью солнечной активности. Таким образом, планетная причина долгосрочной модуляции солнечной и звёздной активности не подтверждается.

---

<sup>1</sup> ГАИШ МГУ, г. Москва

<sup>2</sup> ИЗМИРАН им. Н. В. Пушкова, Троицк, Москва

<sup>3</sup> Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Москва

# Зависимость звездных циклов активности от скорости вращения — неявная зависимость от эффективной температуры?

Леонид Л. Кичатинов<sup>1</sup>

E-mail: *kit@iszf.irk.ru*

Согласно гирохронологии, темп замедления вращения звезд солнечного типа зависит от эффективной температуры звезды и уменьшается с возрастанием температуры. Поэтому более горячие звезды в среднем вращаются быстрее. С учетом этих обстоятельств можно устранить противоречие между наблюдаемым уменьшением периода звездных циклов активности со скоростью вращения и моделями динамо, которые показывают противоположную тенденцию.

Согласованная модель дифференциального вращения и динамо, развитая для Солнца, применена к подобным Солнцу звездам в интервале спектральных классов от F до позднего K. Расчеты проведены для слабо надкритического режима динамо, соответствующего числу Россби  $Ro = 2.08$ . Расчеты показывают возрастание дифференциального вращения и сокращение продолжительности циклов активности с увеличением эффективной температуры. Так как скорость вращения звезды для фиксированного числа Россби возрастает с эффективной температурой, то предложенная теория также дает более короткие циклы активности для звезд с относительно быстрым вращением, устраняя тем самым противоречие с наблюдениями. Расчеты также предсказывают изменение крупномасштабных полей от дипольного к квадрупольному типу экваториальной симметрии с увеличением скорости вращения/эффективной температуры. Полученным результатам дано простое наглядное объяснение.

---

<sup>1</sup> Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

# Необычная спектральная активность Ae звезды Хербига AB Aur

Олеся В. Козлова<sup>1</sup>

E-mail: [oles\\_kozlova@mail.ru](mailto:oles_kozlova@mail.ru)

Представлены результаты многолетнего спектрального мониторинга Ae звезды Хербига AB Aur в области эмиссионной линии  $H\alpha$ , запрещенной линии OI [6300], линий резонансного дублета Na I D и эмиссионной линии гелия He I 5876. Спектры с высоким разрешением ( $R=20000$ ) получены в Крымской астрофизической обсерватории в период с 2009 по 2025 гг.

AB Aur — молодая звезда со спектральными признаками ветра, окруженная протяженным газопылевым диском, в котором согласно данным ALMA, идут активные процессы планетообразования. Анализ полученных нами результатов, показал очень необычное поведение спектральных линий AB Aur. Их параметры меняются на шкале времени от дней до месяцев и лет. Отдельно следует отметить поведение запрещенной линии кислорода OI [6300]. Ее профиль обычно имеет вид одиночной эмиссии. Однако время от времени с синей стороны от нее можно наблюдать формирование дополнительного эмиссионного компонента, который может наблюдаться в течение десятков дней, а затем исчезает и линия снова становится одиночной.

Эмиссионные линии резонансного дублета натрия, формирующиеся в аккреционном диске, также показывают переменность на разных временных шкалах. Обращает на себя внимание шкала времени, превышающая 16 лет (продолжительность наших наблюдений). Можно наблюдать, как на ее протяжении CS эмиссия в области резонансного дублета натрия слабеет и, фактически, исчезает на спектрах звезды. Та же шкала переменности отмечается и в изменении эмиссионной линии гелия He I 5876. Интересно, что в отличие от  $H\alpha$ , околозвездные линии поглощения, наблюдаемые в гелии, обычно смещены не в синюю, а в красную сторону. Они могут быть разделены на две группы. Первая группа включает в себя низкоскоростные компоненты со скоростями газа на луче зрения около +100 км/с. Однако время от времени с красной стороны от эмиссии может наблюдаться высокоскоростная абсорбционная компонента, указывающая на движение газа к звезде со скоростями до +400 км/с.

Мы полагаем, что необычная спектральная активность AB Aur, обнаруженная по данным многолетнего спектрального мониторинга, может быть интерпретирована в рамках процесса планетообразования, который, как мы знаем, активно идет в околозвездном диске AB Aur.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

# Новые объекты типа FU Ori и другие необычные эруптивные звезды, обнаруженные при спектральном обзоре ИК-источников в областях звездообразования

Тигран Ю. Магакян<sup>1</sup>, Алексей В. Моисеев<sup>2</sup>, Тигран А. Мовсесян<sup>1</sup>

E-mail: *tigmag@sci.am*

Мы представляем некоторые результаты начатого в 2020 году проекта длинноцелевой спектроскопии глубоко погруженных в темные облака объектов, обнаруженных в ходе поиска новых потоков HH вблизи инфракрасных источников (IRS). Мы обнаружили, что многие из упомянутых IRS не только генерируют оптические HH-потоки, но и сами видны в оптическом диапазоне. Этот проект был инициирован для лучшего понимания их природы и стадии эволюции. Предварительные результаты уже представлялись в 2023 году в ГАИШ МГУ на Всероссийской конференции с международным участием «Физика звезд: теория и наблюдения».

Это исследование молодых ИК-звёзд в тёмных облаках, включая глубоко залегающие источники класса I, позволило сделать некоторые предварительные выводы. Исследованные объекты оказались возможным условно разделить на три группы: 1. Объекты с непрерывным спектром без деталей, с узкой эмиссией Ha; 2. Звёзды, которые помимо сильной эмиссии Ha, имеют выраженные эмиссионные линии, возбуждаемые ударными волнами, т. е., скорее всего, создают HH-потоки; 3. Звёзды с развитым, нетипичным для типа T Тельца, эмиссионным спектром, а также новые объекты типа FU Ori, в том числе атипичные.

Представлены несколько ранее фактически не изученных объектов с необычными свойствами. К ним относятся:

**IRAS 06297+1021W.** Вероятный новый объект типа FU Ori с дополнительным эмиссионным спектром.

**V963 Mon.** Эруптивный объект высокой амплитуды, комбинирующий свойства фуоров и объектов типа EX Lupi, а также проявляющий характеристики UX Ori. Вероятный аналог уникальной звезды PV Ser.

**HH 83 IRS.** Невидимый в оптике источник гигантского потока HH 83, также со свойствами фуора с дополнительным эмиссионным спектром.

**GM 1-39.** Звезда, спектрально напоминающая фуор после вспышки, в то же время с явной активностью типа UX Ori.

**CPM 19.** Известный ИК-источник, весьма пекулярный переменный объект совершенно неизвестной природы.

Звезды V963 Mon, IRAS 06297+1021W и PV Ser могут быть представителями нового субкласса эруптивных YSO, демонстрирующими очень широкие (с полной шириной до 800-900 км/с) и расщепленные на 4-6 компонентов запрещенные эмиссионные линии.

---

<sup>1</sup> Бюраканская астрофизическая обсерватория им. Амбарцумяна, НАН РА, Армения

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Применение средних временных профилей для анализа солнечных и звёздных вспышек

Илья Д. Мотык<sup>1</sup>, Лариса К. Кашапова<sup>1</sup>, Дарья В. Рожкова<sup>1</sup>

E-mail: *ilymotyk@gmail.com*

Одной из задач изучения звёздных и солнечных вспышек является понимание и численное описание общих закономерностей развития этих явлений. Вспышки представляют собой сложное явление, в течение которого могут происходить ускорение и высыпание частиц, нагрев и охлаждение плазмы, волновые процессы. Цепочки этих процессов могут повторяться не один раз, часто пересекаясь друг с другом по времени. Существует подход, согласно которому сложную вспышку можно представить как комбинацию простых. Это могут быть теоретически рассчитанные профили, но они могут не совпадать с результатами наблюдений. Средние временные профили, полученные по наблюдениям в разных спектральных диапазонах, помогают решить эту проблему.

Средние временные профили уже были получены и используются для анализа рентгеновского, ультрафиолетового, а также белого света звёздных вспышек. В данной работе представлен результат реконструкции среднего временного профиля микроволнового излучения солнечных вспышек на основе отобранных «классических» вспышек по данным Сибирского Радиогелиографа. Представлена методика получения среднего временного профиля и его аналитического приближения и их применения для слабой и мощной солнечных вспышек. Обсуждаются схожесть и различие средних профилей, полученных в разных спектральных диапазонах, а также возможное применение профилей солнечных вспышек в звёздных наблюдениях.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. «Российский научный фонд», грант 24-22-00315

---

<sup>1</sup> Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

# Моделирование торможения звезды ssAp звезды 33 Lib магнитным звездным ветром

Айсен Г. Никифоров<sup>1</sup>, Максим В. Барков<sup>1</sup>, Виктор Д. Бычков<sup>2</sup>

E-mail: [anikiforov@inasan.ru](mailto:anikiforov@inasan.ru)

Магнитные поля звезд играют важную роль в физике и эволюции звезд. Приблизительно 10% OBA звезд главной последовательности (ГП) имеют достаточно сильные магнитные поля [1, 2], достигающие по напряженности несколько тысяч гаусс [3, 4]. Наблюдаемые свойства (super-slowly rotating Ap) ssAp-звезд, такие, как квазипериодические колебания блеска, пятнистое распределение элементов и синхронизация магнитных осей с осями вращения, напрямую связаны с динамикой их магнитных полей и замедлением вращения. Однако природа торможения остаётся недостаточно изученной: традиционные модели, основанные на диссипации энергии через звёздный ветер, плохо согласуются с крайне низкими темпами потери массы у этих объектов. Альтернативные гипотезы предполагают, что крупномасштабные магнитные поля играют двойную роль — не только подавляют турбулентность и конвекцию, но и перераспределяют угловой момент в объёме звезды через взаимодействие с неоднородностями в ионизированных слоях атмосферы.

Данная работа фокусируется на аналитическом расчете на основе наблюдательных данных и моделировании, чтобы изучить связь между торможением магнитным полем, ветром и динамикой вращения ssAp-звезд. Для этого изучается звезда ssAp – star 33 Lib (HD137949) — яркая roAp-звезда (rapidly oscillating Ap star) спектрального класса A5p [5].

Было показано, что даже звездный ветер малой интенсивности может эффективно затормозить ssAp звезды до наблюдаемой скорости вращения такой звезды, как 33 Lib. Предлагаемый метод может позволить измерять темп потери массы у звезд класса A, что затруднительно сделать иными методами. Проведенное исследование демонстрирует, что магнитное торможение, обусловленное взаимодействием сильного магнитного поля и звездного ветра, может играть ключевую роль в замедлении вращения звёзд типа ssAp. Моделирование эволюции магнитных полей с учетом переменной магнитной конфигурации и звездного ветра подтверждает, что эти процессы эффективно подавляют вращение, приводя к наблюдаемому медленному вращению данных объектов.

[1] J. Sikora, G. Wade, J. Power, and C. Neiner, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* 483, 2300 (2019).

[2] J. H. Grunhut, G. Wade, C. Neiner, M. E. Oksala, V. Petit, E. Alecian, D. A. Bohlender, J.-C. Bouret, H. F. Henrichs, G. Hussain, et al., *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, stw2743 (2016).

[3] V. Bychkov, L. Bychkova, and J. Madej, *VizieR Online Data Catalog* 343, J (2006).

[4] V. Bychkov, L. Bychkova, and J. Madej, *Astronomy & Astrophysics* 652, A31 (2021).

[5] S. P. Jarvinen, S. Hubrig, R. Jayaraman, I. Ilyin, and M. Scholler, *MNRAS* 516, 2629 (2022), arXiv:2208.14013 [astro-ph.SR].

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Поиск околозвездных газовых оболочек у магнитных химически пекулярных молодых А-В звезд из ассоциации Orion OB1

М. А. Погодин<sup>1</sup>, Н. А. Драке<sup>2,3,4</sup>, W. J. V. Corradi<sup>2,5</sup>, P. H. F. V. Braz<sup>5</sup>, И. И. Романюк<sup>6</sup>,  
А. Ф. Холтыгин<sup>4</sup>, Н. Г. Бескровная<sup>1</sup>, Н. З. Исмаилов<sup>7</sup>, В. Ю. Ким<sup>1</sup>

E-mail: *mikhailpogodin@mail.ru*

Представительная выборка молодых магнитных химически пекулярных А-В звезд из ассоциации Orion OB1 (56 объектов) была исследована на наличие у них газовых околозвездных оболочек. Предметом исследования была линия  $H\alpha$  в спектрах объектов программы. Спектральные наблюдения высокого разрешения были проведены на эшелле-спектрографе 1.6-м телескопа обсерватории LNA (Бразилия) в 2022-2024 гг. Дополнительно были использованы все имеющиеся спектральные данные их архивов обсерватории ESO. Аномальные  $H\alpha$  профили были обнаружены у 7 объектов. Еще 2 объекта их туманности Ориона в ассоциации показали наличие узких эмиссионных линий, формирующихся в самой туманности. Был проведен сравнительный анализ различных типов аномальных профилей линии  $H\alpha$ , возникающий как в газовой околозвездной оболочке, так и по ряду других причин.

---

<sup>1</sup> Главная астрономическая (Пулковская) обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Laboratorio Nacional de Astrofisica, 37504-364, Itajuba, MG, Brazil

<sup>3</sup> Observatorio Nacional/MSTI, 20921-400, Rio de Janeiro, Brazil

<sup>4</sup> Лаборатория наблюдательной астрофизики, СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Departamento de Fisica, Universidade de Minas Gerais, 31270-901, Belo Horizonte, MJ, Brazil

<sup>6</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

<sup>7</sup> Шамахинская астрофизическая обсерватория, Шамахи, Азербайджан

## Стабильны ли химические пятна на поверхности магнитных Ap/Vr звёзд с изменяющимся периодом?

Илья С. Потравнов<sup>1</sup>, Татьяна А. Рябчикова<sup>1</sup>, Леонид Л. Кичатинов<sup>2</sup>, Юрий В. Пахомов<sup>1</sup>

E-mail: *ilya.astro@gmail.com*

Одной из ключевых наблюдательных особенностей химически пекулярных магнитных Ap/Vr звёзд является их синхронная спектральная, фотометрическая и магнитная переменность, модулированная с периодом осевого вращения. Периоды большинства Ap/Vr звёзд сохраняются с высокой точностью на протяжении всей истории их наблюдения. Тем не менее, существует небольшая подгруппа Ap/Vr звёзд, демонстрирующих изменения фотометрического периода. Мы представляем результаты доплеровского картирования по линиям кремния — элемента, неоднородное распределение которого, вносит наибольший вклад в переменность блеска, двух объектов из этой подгруппы: 56 Ari и CU Vir. Сравнение карт, полученных в различные эпохи на протяжении  $\sim 30$  лет показало стабильность кремниевых пятен на рассматриваемом интервале. Таким образом, изменения фотометрического периода 56 Ari и CU Vir вызваны «твердотельным» долготным дрейфом пятенных структур. В докладе обсуждается интерпретация этого дрейфа в рамках модели неустойчивости Тейлера магнитного поля исследуемых звёзд.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант №24-22-00237

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

<sup>2</sup> Ордена Трудового Красного Знамени Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

## Резонансные явления в звездном динамо

Дмитрий Д. Соколов<sup>1</sup>, Егор В. Юшков<sup>1</sup>, Фарид Азизов<sup>1</sup>

E-mail: *sokoloff.dd@gmail.com*

В ряде звезд с конвективными оболочками удается наблюдать циклические изменения активности, сходные с циклом Швабе на Солнце. Естественно считать, что они вызваны механизмом звездного динамо, похожим на солнечное динамо. Специфика звездного динамо состоит в том, что в двойных системах источники генерации магнитного поля могут быть периодически модулированы воздействием компаньона двойной системы, так что можно ожидать эффектов, сходных с резонансом в тех случаях, когда частота модуляции определенным образом связана с частотой цикла. При проверке этой идеи в рамках теории динамо оказывается, что отклик динамо на периодическое воздействие гораздо более многообразен и не всегда похож на то, что можно было бы ожидать, опираясь на опыт изучения параметрического возбуждения в уравнении Матье. В докладе рассказывается о ряде подобных явлений, выявленных при изучении этого вопроса.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

# Новый взгляд на природу солнечных и звездных вспышек

Александр А. Соловьев<sup>1</sup>

E-mail: *solov.a.a@mail.ru*

Солнечные вспышки — наиболее мощное проявление солнечной активности с энергетикой до  $10^{32}$  в эрг. Энергия звездных вспышек (на красных карликах) выше на 2–3 порядка. Обычно вспышечное энерговыделение связывают с пересоединением магнитных силовых линий в токовых слоях, но эти модели сталкиваются с трудностями из-за крайней неустойчивости токовых слоев.

Мы развиваем жгутовые модели вспышек [1], вызванные параметрической катастрофой, возникающей при выходе вершины скрученной магнитной петли (жгута) в корону. Резкое падение внешнего давления ведет к тому, что продольное магнитное поле бессилового жгута стремится к нулю на магнитной поверхности, где ток меняет знак, при этом плотность азимутального тока и бессилового параметр неограниченно растут вблизи этой поверхности, приближаясь к разрыву. Токовая скорость электронов здесь неизбежно превысит скорость ионного звука и возникнет плазменная неустойчивость. Рассеяние электронов на ионно-звуковых плазмонах резко (на 7 порядков) понизит проводимость плазмы и вызовет быструю, вспышечную диссипацию магнитной энергии жгута, т.е. уменьшение амплитуды поля и токов и, соответственно, расширение сечения жгута. Так будет сформирован первый пик излучения вспышки. При этом вращающий момент (*torque*), приложенный к каждому сечению скрученного жгута, окажется сильно ослаблен в области энерговыделения. В равновесии *torque* должен быть одинаков вдоль всей длины петли, поэтому возникнет перенос потока азимутального поля альвеновскими волнами из ног петли к её вершине. Выравнивание *torque* вдоль оси жгута возвратит жгут в первоначальное состояние, после чего формируется второй пик вспышечного излучения, и процесс повторяется до тех пор, пока не истощится запас связанной с токами свободной магнитной энергии во всей петле (!). Колебания радиуса сечения жгута, сопровождающие пики излучения, представляют собою специфический тип колебаний системы с переменной во времени жесткостью: в них сильно меняется напряженность магнитного поля, обеспечивающая возвращающую силу. Расчет таких колебаний дает не только качественное, но и количественное согласие теоретической модели с наблюдательными данными. Согласно жгутовым моделям, большая мощность звездных вспышек обусловлена двумя причинами: большей длиной скрученных магнитных петель на звездах и большей степенью их скрученности.

[1] А. А. Соловьев, Астрон. Ж. 101 (2025) №7.

---

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

# Спектры звезд типа UX Ori в глубоких минимумах и ярком состоянии. Результаты модельных расчетов

Л. В. Тамбовцева<sup>1</sup>, В. П. Гринин<sup>1</sup>

E-mail: *ltamb@mail.ru*

Звезды семейства UX Orionis (UXORs) являются наиболее активными молодыми звездами. Они демонстрируют спорадические ослабления блеска на 2-4 звездных величины в полосе V. Причиной такой активности является переменная околозвездная экстинкция в протопланетных дисках этих звезд, вызванная небольшим наклоном дисков относительно луча зрения. Благодаря длительным наблюдениям этих звезд с помощью Северного Оптического Телескопа (Nordic Optical Telescope, NOT) с 2019 по 2024 год мы получили уникальные спектры с высоким разрешением ( $R = 25000$ ) звезд этого семейства в разных состояниях блеска: от яркого состояния до глубокого минимума.

В нашем докладе мы представляем результаты наблюдений звезды UX Ori, для которой до сих пор был получен всего один спектр в минимуме блеска с высоким разрешением. Результаты сравниваются с полученными на этом же телескопе результатами спектральных наблюдений другой звезды этого семейства RR Tau. Для обоих объектов выполнено моделирование линии H $\alpha$  в ярком состоянии и во время минимумов блеска. В докладе приводятся общие свойства и различия переменности линий и физические причины, их вызывающие.

---

<sup>1</sup> ГАО РАН

# Звезды с рентгеном в рассеянных звездных скоплениях Гиады и Плеяды по данным SRG/eROZITA

Ирек М. Хамитов<sup>1</sup>, Ильфан Ф. Бикмаев<sup>1</sup>, Марат Р. Гильфанов<sup>2,3</sup>,  
Рашид А. Сюняев<sup>2,3</sup>, Павел С. Медведев<sup>2</sup>

E-mail: *IMKhamitov@kpfu.ru*

Стадия Главной Последовательности характеризуется медленным изменением макроскопических параметров звезд. Однако, период вращения и рентгеновское излучение в процессе эволюции могут при этом меняться на несколько порядков. Известно, что у звезд поздних спектральных классов солнечного типа конвекция вместе с вращением приводят к возникновению магнитного динамо в основании зоны конвекции. Результаты магнитного динамо проявляются в виде магнитных явлений в звездных фотосферах и над ними в виде магнитных пятен, магнитно-замкнутой корональной плазмы, в которой периодически происходят вспышки и так далее. Ожидается, что вследствие вращательно индуцированного внутреннего динамо уровень рентгеновской светимости коррелирует со скоростью вращения звезды. Рассеянные звездные скопления близкие по возрасту и химсоставу, представляют собой замечательную эволюционную лабораторию для изучения распределения физических характеристик звезд на ранней стадии эволюции. Большинство членов молодых рассеянных скоплений показывают сильную магнитную активность, что приводит к разогреву корон звезд до нескольких миллионов градусов. Таким образом, источники являются яркими в рентгеновских лучах. Хотя у одиночных звезд солнечного типа в процессе взаимодействия магнитного поля со звездным ветром магнитная активность падает на масштабе времени  $\sim 1$  млрд лет, для холодных звезд M-класса она продолжается в течение более длительного времени. В данной работе представлены отождествления звезд с рентгеном для скоплений отличных по возрасту: Плеяды ( $\sim 125$  млн. лет) и Гиады ( $\sim 700$  млн. лет), по данным обзоров всего неба рентгеновского телескопа eROZITA [1] на борту космической обсерватории SRG [2] и оптического каталога членов скопления Плеяд по данным Gaia DR3 [3] и оптического каталога членов скопления Плеяд по данным Gaia DR3 [3]. В нашем исследовании использованы только источники, находящиеся в восточной галактической полусфере, за которое отвечает российский консорциум eROZITY. В результате в пределах трех приливных радиусов от центра скоплений в Плеядах отождествлено 850 рентгеновских источника (650 впервые отождествленных), а в Гиадах — 290 источника (171 впервые) и 113 (61 впервые) в восточном приливном рукаве Гиад. Номинальная чувствительность eROZITY в области Плеяд составила  $L_X \sim 1.6 \cdot 10^{28}$  эрг/с и, соответственно, Гиад  $L_X \sim 2 \cdot 10^{27}$  эрг/с в диапазоне 0.3-2.3 кэВ. Обсуждаются зависимости полученных выборок по параметру  $R_X = \log(L_X/L_{bol})$  от эффективной температуры звезд ( $T_{eff}$ ) и числа Россби ( $Ro$ ).

[1] P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al., *Astron. Astrophys.* 647, (2021) A1.

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>2</sup> Институт космических исследований Российской академии наук

<sup>3</sup> Институт астрофизики общества им. Макса Планка, Гархинг, Германия

[2] R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al.), *Astron. Astrophys.* 656, (2021) A132.

[3] M. Žerjal, N. Lodieu, A. Pérez-Garrido, J. Olivares, V. J. S. Béjar, and E. L. Martin, *Astron. Astrophys.* 678, (2023), A75.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 23-12-00292

## **6 Околовзвёздные диски и экзопланеты**

# Магнито-центробежный дисковый ветер как источник рассеянного излучения и фотометрической активности молодых звезд в видимой и инфракрасной областях спектра

Мария А. Альбрант<sup>1,2</sup>, Владимир П. Гринин<sup>3,1</sup>

E-mail: *mary.albrant@gmail.com*

В статье исследуется влияние пылевой компоненты магнитоцентробежного дискового ветра на околзвёздную экстинкцию, рассеянное и инфракрасное тепловое излучение звёзд типа Т Тельца. За основу приняты модели ветра из работ Сафье [1], представляющие собой аналитическую аппроксимацию решений для магнито-центробежного пылевого дискового ветра. К спектру звезды добавлено аккреционное пятно, светимость которого масштабирована в соответствии с темпом аккреции и параметрами звезды. Перенос излучения в ветре и околзвёздном диске рассчитан методом Монте-Карло с помощью программы RADMC-3D.

Результаты моделирования применяются к звездам типа Т Тельца с переменностью типа UX Ori. Показано, что при наблюдениях таких звезд под небольшим углом к плоскости диска усиление темпа аккреции может вызывать ослабление оптического блеска звезд и одновременно усиление их инфракрасного (ИК) излучения. Показано также, что результаты моделирования чувствительны к топологии магнитного поля в диске в зоне образования ветра. Результаты расчетов обсуждаются в связи с наблюдениями глубоких минимумов в оптических кривых блеска звезд типа Т Тельца V1184 Tau [2] и RW Aur [3], сопровождавшихся усилением их излучения в ближней инфракрасной области спектра.

Вторая часть работы посвящена изучению влияния рассеянного света в наблюдаемую картину. Для анализа были получены синтетические изображения системы в оптическом (0.5–0.8 мкм), ближнем (1–2 мкм) и среднем (около 10 мкм) инфракрасном диапазоне, а также спектры таких систем. Показано, что при включении дискового ветра существенно возрастает доля рассеянного излучения, особенно в оптике, где в условиях частичного затмения звезды пылевыми структурами основной вклад в наблюдаемое излучение начинает вносить именно рассеянный свет. При этом морфология изображений зависит от темпа истечения: при увеличении темпа истечения дискового ветра формируются характерные конусообразные структуры и тени, аналогичные наблюдаемым у звезды RY Tau [4]. Для систем, наблюдаемых под большими углами наклона, рассеянное излучение от ветра становится доминирующим в оптической области спектра, тогда как вклад прямого звёздного излучения уменьшается.

Данная работа была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС».

[1] P. N. Safer, *ApJ* 408 (1993) 115 - 148.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

<sup>3</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

[2] V. P. Grinin, A. A. Arkharov, O. Yu. Barsunova, and S. G. Sergeev, *Astronomy Letters* 35 (2009) 828.

[3] V. I. Shenavrin, P. P. Petrov, and K. N. Grankin, *Information Bulletin on Variable Stars* 6143 (2015) 1.

[4] G. Vælgård, G. J. Herczeg, K. M. Pontoppidan, Á. Ribas, R. A. Loomis, M. Benisty, et al., *A&A* 668 (2022) A25.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС»”, грант 25-1-5-138-1

## Молодая звезда RY Tau в режиме магнитного пропеллера

Елена В. Бабина<sup>1</sup>, Петр П. Петров<sup>1</sup>, Константин Н. Гранкин<sup>1</sup>, Светлана А. Артеменко<sup>1</sup>

E-mail: [helenka\\_truth@mail.ru](mailto:helenka_truth@mail.ru)

Проведен анализ спектрального и фотометрического мониторинга классической звезды типа Т Тельца RY Tau в период с 2013 по 2024 гг. Сделан вывод о том, что профили спектральных линий  $H\alpha$  и  $DNaI$  формируются в потоках магнитосферной аккреции и конического ветра, стартующего с границы магнитосферы. Показано, что потоки аккреции и ветра изменяются на шкале времени около 20 суток. В изменениях аккреции и ветра найдена причинно-следственная связь: сначала усиливается аккреция, а через 2 дня уменьшается поглощение в ветре на луче зрения. Временной лаг определяется наклоном магнитного диполя и углом раскрытия конического ветра. Предполагается, что RY Tau находится в режиме неустойчивого пропеллера.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

## О влиянии планетарного магнитного поля на ослабление потока высыпавшихся электронов в атмосферу Земли

Дмитрий В. Бисикало<sup>1,2</sup>, Валерий И. Шематович<sup>2</sup>,  
Андрей Г. Жилкин<sup>2</sup>, Григорий Н. Цуриков<sup>2</sup>

E-mail: *bisikalo@inasan.ru*

Молекула NO является индикатором N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> атмосферы планеты земного типа [1], а ее спектральные линии возможно обнаружить на ближайших (<30 пк) экзопланетах с помощью планируемого космического телескопа «Спектр-УФ» [2]. Из наблюдений земной термосферы известно [3], что NO эффективно формируется при высыпании электронов с энергиями 1 - 10 кэВ. Так как концентрация NO зависит от потока энергии высыпавшихся электронов [4], Q<sub>0</sub>, то если определить содержание NO на планете с разным собственным магнитным полем, B<sub>p1</sub>, можно независимо оценить, как B<sub>p1</sub> влияет на ослабление Q<sub>0</sub>.

Чтобы сделать такую оценку мы сравнили содержание NO для двух случаев при разных значениях B<sub>p1</sub>: а) на Земле (B<sub>p1</sub> = B<sub>⊕</sub>) и б) на планете без собственного магнитного поля (B<sub>p1</sub> = 0). Содержание NO для планеты с B<sub>p1</sub> = B<sub>⊕</sub> мы взяли из спутниковых наблюдений земной атмосферы. Проверенная на Земле численная модель образования NO [4] была использована для планеты с B<sub>p1</sub> = 0. Чтобы определить параметры высыпавшихся e<sup>-</sup> для случая б), мы использовали МГД модель взаимодействия звездного ветра с атмосферой планеты земного типа с B<sub>p1</sub> = 0, которая прошла валидацию на примере Венеры [5].

По результатам расчетов определено, что общее число молекул NO на планете с B<sub>p1</sub> = 0 больше, чем на Земле в ≈10 раз (рассматриваются условия спокойного Солнца). Соответствующий вывод можно сделать и для потока энергии Q<sub>0</sub>, который за счет наличия B<sub>p1</sub> у планеты ослабевает на порядок величины по сравнению с планетой без магнитного поля. Полученная оценка показывает роль магнитного поля Земли в качестве защитного механизма к высыпанию электронов.

- [1] L. Sproß, et al. *Astronomy Reports*. 65 (2021) 4.
- [2] Г. Цуриков и др. *Астрономический Журнал*. 102 (2025) 2.
- [3] C. Barth, et al. *Geophysical Research Letters*. 31 (2004) L04809.
- [4] V. Shematovich, et al. *Astronomy Reports*. 68 (2024) 12.
- [5] A. Zhilkin, et al. *Astronomy Reports*. 68 (2024) 12.

### Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский научный фонд”, грант 22-12-00364-П

---

<sup>1</sup> Национальный центр физики и математики, Россия

<sup>2</sup> Институт астрономии Российской академии наук

# Моделирование аккреционной активности протопланетного диска вследствие столкновения со струей газа

Виталий В. Григорьев<sup>1</sup>, Татьяна В. Демидова<sup>1</sup>

E-mail: *vitaliygrigoryev@crao.ru*

При помощи трехмерного численного газодинамического моделирования были исследованы процессы аккреции вследствие столкновения массивной газовой струи с протопланетным диском, вращающимся около молодой звезды. Рассмотрено влияние орбитальных параметров струи, а также начальной массы на аккреционные процессы. Обнаружено, что угол наклона орбиты и масса падающего вещества оказывают наиболее сильное влияние на всплеск аккреционной активности. Сравнение зависимости темпа аккреции от времени с наблюдательными кривыми блеска известных представителей звезд типа FU Ori показало заметное сходство этих процессов по энергетике, характерному поведению и временным масштабам.

---

<sup>1</sup> ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН"

## Восстановление трехмерной физической картины процессов в окрестностях CQ Тельца

Татьяна Демидова<sup>1</sup>

E-mail: *demidovaTV@crao.ru*

С помощью длительного фотометрического мониторинга у звезды CQ Тау был обнаружен период в изменениях блеска продолжительностью в 10 лет [1]. Также на недавних изображениях диска этого объекта обнаружена обширная полость в распределении газа радиусом 25 а.е., окруженная пылевой кольцеобразной структурой с максимумом распределения вблизи 53 а.е. [2]. В работе было выполнено трехмерное моделирование совместной динамики пыли и газа в околозвездном диске звезды с массой CQ Тау в предположении о присутствии компаньона с орбитальным периодом 10 лет. Расчеты показали, что звезда спектрального класса M, на сильно вытянутой орбите, способна расчистить полость размером 25 а.е., однако максимум распределения пыли находится заметно ближе наблюдаемого. Были получены свидетельства того, что внешняя относительно двойной планета-гигант на расстоянии 30 а.е. может сформировать кольцеобразную пылевую структуру на расстоянии соответствующем наблюдаемому, при этом размер газовой полости определяется положением двойной системы.

[1] В. П. Гринин, Л. В. Тамбовцева, О. Ю. Барсунова, Д. Н. Шаховской, *Астрофизика* 66 (2023) 235.

[2] M. G. Ubeira Gabellini, A. Miotello, S. Facchini, et al., *MNRAS* 486 (2019), 4638.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

## Формирование планетных спутников

Галина Н. Дремова<sup>1</sup>, Владимир В. Дремов<sup>1</sup>, Александр А. Тутуков<sup>2</sup>

E-mail: *G.N.Dryomova@mail.ru*

Ранние теоретические оценки и современные наблюдения показали, что каждая третья звезда имеет планетную систему как следствие коллапса облаков, угловой момент которых недостаточен для формирования двойных звезд, но слишком велик для аккумуляции его одиночной звездой. Наблюдаемая непрерывная функция масс экзопланет ( $10M_J - 0.1M_J$ ) и ее бимодальный характер для короткопериодических экзопланет ( $P < 10^d$ ) есть отражение двух механизмов: столкновительной аккумуляции астероидов, ответственной за образование планет земной группы, и гравитационной неустойчивости околозвездного диска, определяющей образование планет-гигантов.

Эта же сегрегация, вероятно, закладывается на следующий уровень планетной иерархии — спутников планет. *Планеты-гиганты* имеют помногу спутников, массы которых в тысячи раз меньше планетной, а плоскость их орбит близки к экваторам родительских планет. *Карликовые планеты* не имеют спутников. Системы Земля-Луна и Плутон-Харон логично отнести к классу двойных планет, исходя из анализа отношения их масс ( $\sim 0.01$  и  $0.1$ ), а также запаса орбитального углового момента, и что притяжение со стороны Солнца сильнее по сравнению с их взаимным притяжением. Такой расклад объясняется ресурсом углового момента околозвездного диска, определяющего размер газового околопланетного диска в пределах полости Роша планеты:  $a > 10^{13}(M/M_\odot)^{1/3}$  см,  $a$  — большая полуось планеты. При малых  $a$  не образуется околопланетный диск, что объясняет отсутствие спутников у планет земной группы.

Другой важный критерий разделения планет на *гиганты* и *карлики* — их взаимодействие с остатками строительного материала, распределенного в околосолнечном пространстве, такого как Астероиды, Кометы и малые Планетные тела (АКП). Условие освобождения АКП-объекта из гравитационного поля планеты  $m/r > M/a$ , где  $m$ ,  $r$  — масса и радиус планеты,  $M$  — масса звезды. Массивная планета, как Юпитер, своей гравитацией собирает остатки протопланетного диска в АКП-облако вокруг себя подобно компактной «солнечной системе», а часть АКП-тел ускоряет до освобождения за пределы Солнечной Системы, пополняя резервуар облака Оорта. Карликовые планеты, к числу которых относится Земля, не имеют такого потенциала, чтобы далеко забросить АКП, но способны возмутить движение некоторых из них, заставив их блуждать в области пространства, ограниченного «снизу» радиусом полости Роша планеты, «сверху» — размером ее орбиты. Соотношение возраста планет и времени блуждания АКП указывает на возможность события гравитационного захвата спутника. Такой сценарий актуален в раннюю эпоху планетообразования, когда плотность АКП-объектов была высока.

Для количественной иллюстрации этих рассуждений нами было проведено численное моделирование в постановке задачи трех (Солнце, Юпитер, АКП-объекты) и четырех (с учетом Земли) тел. Прямое численное моделирование орбитальной истории АКП-тел

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт технической физики - Российский Федеральный Ядерный Центр, Россия

<sup>2</sup> Институт астрономии Российской академии наук

на интервале времени  $10^5$  лет показало принципиальное различие в распределении АКП-объектов в поле планеты *гиганта* и *карлика*. Демонстрируется активное участие Юпитера в формировании системы своих спутников, облака Оорта и свободных планет. За это же время Земля не успевает расчистить себе орбиту от АКП-объектов и сформировать вокруг себя стабильное облако спутников, часть из которых она поглощает, а часть «забрасывает» не дальше орбиты Марса или Венеры. Эти результаты моделирования подчеркивают уникальность двойных планет, как Земля-Луна, и оставляют приоритет за сценарием гравитационного захвата, как причины появления спутника у карликовой планеты.

# Краевые эффекты в тонких аккреционных дисках вокруг нейтронных звезд. Перестановочная неустойчивость определяет внутренний радиус диска?

Данил Д. Лисицин<sup>1</sup>, Николай И. Шакура<sup>1</sup>

E-mail: *lisitsin\_2000@mail.ru*

Определение внутреннего радиуса аккреционного диска — критически важная задача в астрофизике аккреции на замагниченные звездные объекты, а именно — аккрецирующие нейтронные звезды (АХР — аккрецирующие рентгеновские пульсары, MSP — миллисекундные пульсары), белые карлики (CV — катаклизмические переменные), классические звезды типа T Tauri (CTTS). Внутренний радиус определяет режим взаимодействия источника с окружающим диском, в частности влияет на наблюдательные параметры источников, что важно учитывать при моделировании и корректной интерпретации наблюдений.

Авторами исследована неустойчивость типа Рэля-Тейлора, связанная с градиентом магнитного поля, возникающем на внутренней границе тонкого диамагнитного диска [1] (соответствует усилению электрического поля на тонком острие в классической электродинамике). По сравнению с классическими результатами плазменной физики, авторы учли астрофизические особенности систем с аккреционными дисками — вращение диска и его радиальную зависимость толщины. Было получено аналитическое выражение для внутреннего радиуса устойчивого аккреционного диска. Особый интерес представляет выражение для внутреннего радиуса диска — радиус пропорционален Альфвеновскому радиусу, а безразмерный коэффициент зависит от турбулентного параметра  $\alpha$  и относительной полутолщины (зависит от радиуса)  $h/r$ .

[1] J. J. Aly, A & A, 86 (1980) 192.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 25-12-00012

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

# Изменение $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ в протопланетных дисках при аккреционных вспышках: модельные предсказания для FU Ori-дисков

Анастасия П. Топчиева<sup>1,2</sup>, Тамара С. Молярова<sup>3</sup>, Антон И. Васюнин<sup>2</sup>

E-mail: *ATopchieva@inasan.ru*

Вспышки светимости типа FU Ori (фуоров) позволяют наблюдать в газовой фазе молекулы, которые в типичном протопланетном диске находятся в основном в ледяной фазе. В диске фуора V883 Ori впервые измерено высокое отношение  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O} \approx (2.1 - 2.3) \times 10^{-3}$  [1]. С помощью астрохимического кода ANDES проведено моделирование эволюции распределений  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{HDO}$  в диске V883 Ori ( $M_{\text{disk}} = 0.05 M_{\odot}$ ,  $R = 125$  а. е.) под действием вспышек светимости различной амплитуды (400, 2000, 4000, 10000  $L_{\odot}$ ) и при различной продолжительности предвспышечной химической эволюции ( $\Delta t = 10^5 - 10^6$  лет). Учтена структура диска и окружающей оболочки, а также сетка химических реакций с фракционированием дейтерия (1247 компонентов, 38347 реакций). Наблюдаемое положение линии льдов воды на расстоянии 40–100 а. е. требует светимости порядка  $10^3 - 10^4 L_{\odot}$ , что не согласуется с текущей болометрической светимостью объекта ( $\leq 400 L_{\odot}$ ). Моделирование показывает, что наибольшее согласие с наблюдаемым радиальным профилем  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  [1] достигается при вспышке амплитудой 10 000  $L_{\odot}$ . Модели с амплитудой 400  $L_{\odot}$  предсказывают пик отношения  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  в области 60–100 а. е. и более низкое значение на расстоянии  $>100$  а. е., что не согласуется с наблюдаемым однородным профилем  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ . Сценарий с двумя последовательными вспышками (10 000  $L_{\odot} + 400 L_{\odot}$ ) демонстрирует профиль  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ , близкий к случаю одиночной вспышки 10 000  $L_{\odot}$  и согласующийся с наблюдениями, указывая на сохранение «химической памяти» о яркой вспышке в течение  $\sim 100$  лет. Влияние промежутка до вспышки ( $\Delta t$ ) существенно при умеренных амплитудах (400  $L_{\odot}$ ): увеличение  $\Delta t$  приводит к снижению  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$ , отражающему химическую эволюцию льда. Для экстремальных вспышек (10 000  $L_{\odot}$ ) зависимость от  $\Delta t$  незначительна из-за доминирования процессов, активируемых во время вспышки. Высокое  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  может сохраняться после многократных вспышек, поддерживая гипотезу об «унаследованном» льде из молекулярного облака, что согласуется с данными по кометам [2]. Расхождение между наблюдаемой светимостью и модельными требованиями может объясняться наличием прошлой мощной вспышки ( $\sim 10\,000 L_{\odot}$ ), не учтенным вязким нагревом в срединной плоскости [3,4] или нестационарным охлаждением диска [5]. Наблюдаемые аномалии в распределении  $\text{HDO}/\text{H}_2\text{O}$  и положении линии льдов подчеркивают важность учета остаточных эффектов химической эволюции при интерпретации состава протопланетных дисков. Работа выполнена при поддержке госзадания Минобрнауки РФ (GZ0110/23-10-IF).

[1] J. J. Tobin, M. L. R. van't Hoff, M. Leemker, E. F. van Dishoeck, T. Panique-Carreño,

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии Российской академии наук, Россия

<sup>2</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

<sup>3</sup> Южный федеральный университет

K. Furuya, D. Harsono, M. V. Persson, L. I. Cleeves, P. D. Sheehan, et al., *Nature* (London) 615, 227 (2023).

[2] R. Meier, T. C. Owen, H. E. Matthews, D. C. Jewitt, D. Bockelee-Morvan, N. Biver, J. Crovisier, and D. Gautier, *Science* 279, 842 (1998).

[3] F. Alarcón, S. Casassus, W. Lyra, S. Pérez, and L. Cieza, *MNRAS* 527, 9655 (2024).

[4] T. Ueda, S. Okuzumi, A. Kataoka, and M. Flock, *A&A* 675, A176 (2023).

[5] E. I. Vorobyov, Y. N. Pavlyuchenkov, and P. Trinkl, *Astronomy Reports* 58, 522 (2014).

**Исследование проведено при поддержке:**

1. "Министерства науки и высшего образования РФ, Государственное задание в сфере научной деятельности", грант FEUZ-2025-0003.

2. "Министерства науки и высшего образования РФ, Государственное задание в сфере научной деятельности", грант GZ0110/23-10-IF.

# Магнитная газодинамика аккреционных и протопланетных дисков молодых звезд

С. А. Хайбрахманов<sup>1</sup>

E-mail: *s.khaibrakhmanov@gmail.com*

Исследование аккреционных дисков молодых звезд является одним из наиболее актуальных и быстро развивающихся направлений астрофизики. Это обусловлено обширным наблюдательным материалом, указывающим на то, что аккреционные диски молодых звезд в процессе своей эволюции превращаются в протопланетные диски, в которых происходит зарождение планет и, в конечном итоге, жизни. Современные теоретические модели предсказывают, что физика аккреции тесно связана с магнитогазодинамическими (МГД) процессами в дисках [1]. Это предсказание в последнее время получает прямые наблюдательные подтверждения.

В докладе представляется обзор современного состояния исследования МГД-процессов в аккреционных и протопланетных дисках молодых звезд. Анализируются имеющиеся наблюдательные данные о магнитных полях аккреционных и протопланетных дисков. Рассматриваются теории происхождения магнитных полей в молодых звездных объектах. Обсуждаются различные аспекты эволюции аккреционных дисков с магнитным полем: перенос углового момента посредством МГД-турбулентности, магнитных натяжений и МГД-истечений; влияние магнитных полей на структуру дисков [2]; роль магнитного поля в процессах образования протопланет. Особое внимание уделяется относительной роли омической диссипации, магнитной амбиполярной диффузии, эффекта Холла, турбулентной диффузии и магнитной плавучести в эволюции магнитного потока дисков. Предсказания теоретических моделей обсуждаются с точки зрения объяснения наблюдаемых нестационарных и вспышечных процессов в молодых звездных объектах.

На основе обзора наблюдательных и теоретических работ делается вывод о том, что присутствие магнитных полей в аккреционных дисках является естественным и неизбежным следствием процесса звездообразования в молекулярных облаках. Без рассмотрения МГД-эффектов невозможны ни построение современных моделей дисков, ни интерпретация многоволновых наблюдений о структуре и кинематике дисков, а также о вспышках излучения молодых звездных объектов. В заключении отмечаются открытые проблемы в теории аккреционных и протопланетных дисков: сложность самосогласованного МГД-моделирования долговременной эволюции дисков; относительная роль турбулентности и истечений в переносе углового момента; происхождение и эволюция магнитных полей планет; проблема диссипации магнитного потока на поздних стадиях эволюции протопланетных дисков.

Работа выполнена при финансовой поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «Базис» (проект 23-1-3-57-1).

[1] *S. A. Khaibrakhmanov*, *Astronomical and Astrophysical Transactions*, **34**, 139, 2024.

[2] *С. А. Хайбрахманова, А. Е. Дудоров*, *Астрономический журнал*, **99**, 832, 2022.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

# Молекула NO как потенциальный биомаркер в атмосферах экзопланет: перспективы Спектр-УФ

Григорий Н. Цуриков<sup>1</sup>, Дмитрий В. Бисикало<sup>2,1</sup>,  
Валерий И. Шематович<sup>1</sup>, Андрей Г. Жилкин<sup>1</sup>

E-mail: *tsurikov@inasan.ru*

По современным представлениям N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> атмосфера может быть сформирована на планете земного типа в результате биологической и геологической активности [1,2]. Поиск молекулярных индикаторов такой атмосферы (потенциальных биомаркеров) на экзопланетах возможен только с помощью современных телескопов. Эта задача будет входить в научную программу создаваемого в России космического телескопа (КТ) Спектр-УФ. Перспективным биомаркером для поиска с помощью КТ Спектр-УФ является молекула окиси азота NO [2,3]. Из наблюдений земной атмосферы известно [4], что наиболее сильными спектральными полосами данной молекулы в ультрафиолетовом диапазоне являются  $\gamma$ -полосы (203–248 нм).

В работе исследуется возможность обнаружения молекулы NO в атмосферах экзопланет с помощью КТ Спектр-УФ. Для этого разработан программный комплекс, позволяющий: исследовать тепловое и нетепловое образование молекулы NO в N<sub>2</sub>-O<sub>2</sub> атмосфере планеты [5]; строить спектры пропускания и излучения NO [3]; рассчитывать отношение S/N, необходимое для регистрации спектральных линий NO в атмосферах экзопланет с помощью спектрографов Спектр-УФ [6].

По результатам работы показано [6], что с помощью спектрографа с длиной щелью (СДЩ, R = 1000) КТ Спектр-УФ обнаружение NO возможно на типичных супер-землях и суб-нептунах, которые находятся в зоне потенциальной обитаемости у более активных чем Солнце звезд спектральных классов G и ранних K. Пределы обнаружения данной молекулы составляют вплоть до 30 пк. Сформирован список экзопланет — потенциальных кандидатов для поиска NO с помощью КТ Спектр-УФ.

- [1] H. Lammer, et al. *Astrobiology*. 19 (2019) 7.
- [2] L. Sproß, et al. *Astronomy Reports*. 65 (2021) 4.
- [3] G. Tsurikov, D. Bisikalo, *Astronomy Reports*. 67 (2023) 11.
- [4] R. Meier, *Space Science Reviews*. 58 (1991).
- [5] V. Shematovic, et al. *Astronomy Reports*. 68 (2024) 12.
- [6] Г. Цуриков и др. *Астрономический Журнал*. 102 (2025) 2.

Исследование проведено при поддержке:

1. "Российский Научный Фонд", грант 22-12-00364-П

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

<sup>2</sup> Национальный центр физики и математики, Россия

## Долговременная переменность RZ Psc в видимом и среднем ИК диапазоне

Д. Н. Шаховской<sup>1</sup>, Р. В. Садыков<sup>1</sup>

E-mail: *d.shakhovskoy@gmail.com*

Для анализа долговременной переменности уникальной изолированной молодой звезды RZ Psc мы используем наземные наблюдения в видимом диапазоне и наблюдения SPITZER и NEOWISE в среднем ИК диапазоне (3-4 мкм). Характеристики ИК переменности указывают на постоянную температуру около 700 К пыли, ответственной за неё. Она несколько выше, чем оценка температуры постоянного источника ИК избытка (500 К). Подтверждена долгопериодическая цикличность переменности в видимом диапазоне с периодом около 14 лет, причем наблюдается изменение эффективного размера поглощающих пылинок на луче зрения с фазой этого цикла. В ИК диапазоне подобной переменности не обнаружено, что указывает на наличие двух различных пылевых структур в системе — горячая пыль во внутреннем диске, ответственная за переменность в среднем ИК диапазоне, и пыль, ответственная за поглощение на луче зрения на большем удалении от звезды. Предпочтительной интерпретацией высокотемпературного компонента, доминирующего в среднем ИК диапазоне, представляется скорее захват пыли дисковым ветром на границе магнитосферы звезды, чем генерация пыли столкновениями в «Extreme Debris Disk»

---

<sup>1</sup> КрАО РАН

# В поисках H-альфа: использование вспышек для детектирования линий водорода в атмосферах экзопланет с наземных телескопов

Артем В. Шепелин<sup>1</sup>

E-mail: [4.shepelin@gmail.com](mailto:4.shepelin@gmail.com)

Исследование атмосфер экзопланет в значительной степени опирается на анализ транзитных поглощений в резонансных линиях. Линия Лайман-альфа (121,6 нм) является ключевым инструментом для диагностики верхних слоёв атмосфер, однако её наблюдения затруднены поглощением в межзвёздной среде и требуют использования космических обсерваторий. Линия H-альфа (656,3 нм), формирующаяся в более глубоких слоях, доступна для наземных телескопов, но ее низкая интенсивность (на 1–2 порядка меньше Лайман-альфа) серьёзно ограничивает её обнаружение — на сегодняшний день она зарегистрирована лишь для порядка десяти планет, таких как HD 189733 b и KELT-9 b [1, 2]. В данной работе мы исследуем возможность использования звёздных вспышек в качестве естественного механизма усиления сигнала в линии H-альфа для последующего её обнаружения у более широкого круга экзопланет с помощью наземных обсерваторий.

Известно, что вспышки на звёздах приводят к резкому увеличению потока высокоэнергетического излучения (X-ray, XUV), что значительно влияет на физическое состояние верхних слоёв атмосфер экзопланет, вызывая дополнительную фотоионизацию и фотовозбуждение. Наблюдательные данные, например, для системы HD 189733 b, показывают, что вспышка может вызывать изменение поглощения в линии Лайман-альфа на 3% [3]. Мы предполагаем, что вызванные вспышкой каскадные переходы и увеличение скорости ударного возбуждения могут аналогичным образом влиять на населенности уровней  $n = 2$  и  $n = 3$  атома водорода, определяющих формирование и интенсивность линии H-альфа. Для проверки этой гипотезы был модифицирован разработанный нами не-ЛТР код *Astrea*, в который добавлена возможность модуляции звёздного спектра вспышечной компонентой. Модель вспышки параметризуется степенной зависимостью потока от длины волны  $F_f(\lambda, t) = A(t)\lambda^{-\alpha}$ , где  $\alpha$  — коэффициент соотношения УФ и ИК компоненты вспышки. Временной профиль  $A(t) = A_0[\exp(-t/t_d) - \exp(-t/t_r)]$  задаётся коэффициентами нарастания  $t_r$  и спада  $t_d$ . Верификация модели проводилась путем сравнения с наблюдательными данными по поглощению в линиях Лайман-альфа и H-альфа для планет HD 189733, HD 209458 b и KELT-9 b, показав хорошее согласие по глубине поглощения и временным масштабам релаксации.

Проведенное моделирование демонстрирует, что максимальная концентрация атомов на уровне  $n = 2$  достигается на высотах 1,5–2,0 радиуса планеты. Временная динамика релаксации населенности этого уровня после вспышки существенно зависит от температуры и протяженности атмосферы: от 1–2 часов для HD 209458 b до более 5 часов для горячей атмосферы KELT-9 b, что согласуется с выводами других работ о динамических процессах в атмосферах экзопланет [4]. Анализ поглощения показал, что для таких планет, как 55 Cancri e и TRAPPIST-1 c, вспышка может вызывать увеличение глубины поглощения в линии H-альфа

---

<sup>1</sup> Институт лазерной физики Сибирского отделения Российской академии наук

на 10–25%. Для горячих юпитеров, подобных HD 189733 b, эффект усиления оказался менее значительным ( $< 0,1\%$ ), что, однако, может быть связано с ограничениями использованной гидростатической модели.

Таким образом, наша работа демонстрирует, что звездные вспышки могут служить мощным инструментом для усиления сигналов от экзопланетных атмосфер (10–25% на протяжении 1–3 часов после пика вспышки), в частности, делая линию H-альфа доступной для детектирования с наземных телескопов. Разработанная методика открывает новые возможности для планирования наблюдательных кампаний и интерпретации данных в контексте высокой звездной активности. Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией не-ЛТР кинетики с трехмерными гидродинамическими моделями, учетом влияния вспышек на химический состав атмосфер, а также исследованием резонансных линий других элементов.

[1] C. Huang, P. Arras, D. Christie, and Z.-Y. Li, *Astrophys. J.* 851 (2017) 150.

[2] P. W. Cauley, E. L. Shkolnik, I. Ilyin, et al., *Astron. J.* 157 (2019) 69.

[3] A. Lecavelier des Etangs, D. Ehrenreich, A. Vidal-Madjar, et al., *Astron. Astrophys.* 514 (2010) A72.

[4] D. V. Bisikalo, A. A. Cherenkov, V. I. Shematovich, et al., *Astron. Rep.* 62 (2018) 648.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “БАЗИС”, грант 23-1-1-31-2

## **7 Переменные и пульсирующие звёзды**

## Поиск новых симбиотических звезд

Наталья А. Масленникова<sup>1</sup>, Андрей М. Татарников<sup>1</sup>, Анна А. Татарникова<sup>1</sup>,  
Александр В. Додин<sup>1</sup>, Борис С. Сафонов<sup>1</sup>

E-mail: *maslennikova.na16@physics.msu.ru*

Симбиотические звезды — тесные двойные системы, состоящие из красного гиганта и горячего компонента, обычно белого карлика. В настоящее время известно менее 300 таких систем в нашей Галактике, что значительно меньше опубликованных теоретических оценок (до 100 000 звезд). Такое большое различие, возможно, связано со сложностью открытия симбиотических звезд: подтвердить симбиотическую природу объекта можно только по спектру, в котором присутствуют как полосы поглощения красного гиганта, так и линии излучения с высоким потенциалом ионизации. Исторически, большинство симбиотических звезд было открыто по спектральным обзорам с объективными призмами или случайно, например, при изучении вспыхнувших объектов. В последнее время появилось несколько работ по поиску кандидатов в симбиотические звезды по данным фотометрических обзоров с использованием машинного обучения: при этом сравниваются потоки в широком диапазоне длин волн (от рентгена до инфракрасной области) (например [1], [2]), либо объекты классифицируются на основе их переменности (например, [3]). В нашей работе мы представляем результаты спектральных наблюдений ряда кандидатов в СЗ, отобранных из списков [1-3], полученных на 2.5 метровом телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. Для 7 объектов из 33, для которых были получены спектры в диапазоне 3600-7400 Å, установлена их симбиотическая природа. Из аппроксимации спектров получены оценки параметров компонентов систем.

[1] S. Akras, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 519 (2023) 6044.

[2] X. j. Xu, Y. Shao, X. D. Li, Astrophysical Journal 962(2024), 126.

[3] L. Rimoldini, B. Holl, P. Gavras, et al. Astronomy and Astrophysics 674 (2023) A14.

### Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский научный фонд”, грант 23-12-00092

---

<sup>1</sup> Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга, Россия

## Полвека с Новой Лебеда 1975 г.

Е. П. Павленко<sup>1</sup>

E-mail: *eppavlenko@gmail.com*

Новая Лебеда 1975 г. (V1500 Cyg) уникальна не только своими особенностями, но и тем, что позволила проводить детальное исследование этих особенностей в течение пятидесяти лет. V1500 изучалась как методами наземных наблюдений так и космическими обсерваториями Einstein, XMM, Hubble и TESS, благодаря которым получены физические параметры двойной системы. Это первая общепризнанная классическая новая — асинхронный поляр. В докладе рассмотрены все этапы орбитально-вращательной синхронизации белого карлика и методы её определения; обнаружение синодического периода и его долговременные изменения; представлен результат слежения за остыванием белого карлика после нагрева, вызванным термоядерным взрывом 1975 г.; рассмотрена эволюция вкладов в общее излучение эффектов отражения и эллипсоидальности вторичного компонента на полувековой шкале; отмечено появление циклотронного излучения; обнаружено вековое уменьшение орбитального периода, предложены различные объяснения данного феномена.

---

<sup>1</sup> КрАО РАН

# Параметры аккреции поляр $\Pi$ Leo в низком состоянии

Михаил В. Сусликов<sup>1,2,3</sup>, Александр И. Колбин<sup>2</sup>

E-mail: *mvsuslikov@gmail.com*

Поляры являются магнитными катаклизмическими переменными, состоящими из белого карлика с сильным магнитным полем ( $B \sim 10^6 - 10^7$  Гс) и холодного красного или коричневого карлика. При заполнении донором своей полости Роша вещество перетекает по баллистической траектории и захватывается магнитным полем аккретора, которое направляет его вдоль силовых линий к магнитным полюсам. Падающий газ формирует аккреционную колонку, охлаждающуюся за счёт рентгеновского тормозного излучения и циклотронного излучения в оптическом или инфракрасном диапазоне. Нами исследована короткопериодическая ( $P_{\text{orb}} = 82$  мин) система  $\Pi$  Leo в низком состоянии. На основе долговременной фотометрии на протяжении  $\sim 20$  лет наблюдений обнаружены изменения блеска  $\sim 2 - 3^m$ , связанные со сменой режима аккреции. С помощью периодограммного анализа мы уточнили эфемериды орбитальной переменности. Описание фотометрических ультрафиолетовых и оптических потоков спектрального распределения энергии с применением плоскопараллельных ЛТР моделей атмосфер водородных белых карликов [1] позволило определить параметры аккретора:  $T_{\text{eff}} = 12\,700 \pm 360$  К,  $\log(g) = 8.2 \pm 0.4$ ,  $M_1 = 0.74 \pm 0.05 M_{\text{солн}}$ . Выполнено моделирование фазово-разрешенной спектроскопии БТА/SCORPIO-1 и VLT/XSHOOTER с использованием модели сегментированного аккреционного пятна на поверхности вращающегося белого карлика. Расчет циклотронного излучения проведен в рамках «бомбардировочного приближения» [2], реализуемого в сильном магнитном поле при низких темпах аккреции. В результате восстановлена ориентация магнитного диполя белого карлика и получена оценка темпа аккреции  $(2 \div 4) \times 10^{-12} M_{\text{солн}}/\text{год}$ , что характерно для поляр в низком состоянии. Напряженность магнитного поля белого карлика  $B \approx 40.5$  МГс независимо определена на основе двух методов: из описания циклотронных гармоник и по зеемановскому расщеплению атмосферной абсорбции  $H\beta$ . Для расчета длин волн переходов атома водорода в сильном магнитном поле использовался программный код [3]. Получено описание динамического спектра эмиссии  $H\alpha$  комбинированной моделью двух источников. Восстановленные доплеровские томограммы указывают на наличие струевой аккреции в системе. Полученные результаты уточняют геометрию магнитного поля и физические параметры аккреции в  $\Pi$  Leo, что важно для понимания эволюции магнитных катаклизмических переменных.

[1] D. Koester, Mem. Soc. Astron. Ital. 81 (2010) 921.

[2] U. Woelk, K. Beuermann, Astron. Astrophys. 280 (1993) 169.

[3] C. Schimeczek, G. Wunner, Astrophys. J. Suppl. Ser. 212 (2014) 26.

**Исследование проведено при поддержке:**

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

<sup>3</sup> Академия наук Республики Татарстан, ул. Баумана 20, 420111 Казань, Россия

1. “Российский научный фонд”, грант 22-72-10064

# Исследования катаклизмических переменных, обнаруженных проектом NMW, с помощью роботизированных телескопов ИНАСАН

Александр Н. Тарасенков<sup>1</sup>

E-mail: [tarasenkov.an20@physics.msu.ru](mailto:tarasenkov.an20@physics.msu.ru)

Обсуждаются результаты наблюдений на роботизированных телескопах ИНАСАН по алертам широкопольного обзора New Milky Way. Проект New Milky Way (NMW) осуществляет обзор северного неба с целью обнаружения астрофизических транзиентов до 14<sup>m</sup>. Большая часть из обнаруженных вспышек представляют из себя вспышки карликовых новых и других катаклизмических переменных. На роботизированных телескопах ИНАСАН проводятся мониторинговые фотометрические наблюдения таких объектов. В докладе рассматриваются алгоритмы организации этих автоматических наблюдений, а также координация с наблюдателями из других обсерваторий.

Обсуждаются результаты исследований следующих катаклизмических переменных:

TSP J18173469+1803499 — карликовая новая типа WZ Sge. Была обнаружена 2024-09-27.8058 UT, как источник с блеском 12.6<sup>m</sup>. Наблюдалась в полосах BVRI с 28 сентября по 12 октября 2024 г. в течение девяти ночей на 50-см телескопе Astrosib RC500 Кисловодской обсерватории ИНАСАН. Была прослежена эволюция сверхгорбов и определен их период (0.0592 суток).

TSP J07222683+220548 — переменная типа AM CVn, обнаруженная 2025-01-20.9416 UTC. В результате скоординированной наблюдательной кампании на телескопах ИНАСАН и VSNET была получена кривая блеска на протяжении 2 месяцев. Помимо основной вспышки амплитудой 7.6<sup>m</sup> звезда продемонстрировала повторные поярчения (ребрайтенинги). Во время первого поярчения наблюдались сверхгорбы с периодом  $0.032546 \pm 0.000084$  суток ( $46.87 \pm 0.12$  минут). Классификация объекта, как системы типа AM CVn подтверждена по отсутствию линий водорода в спектрах, полученных на 2.5-метровом телескопе КГО ГАИШ.

LINEAR 23795703 — затменная катаклизмическая переменная в зоне «period gap» с орбитальным периодом 0.11414 суток. Вспышка наблюдалась на более чем 10 телескопах, в начальной ее стадии обнаружены положительные сверхгорбы.

Также описываются наблюдения ряда катаклизмических переменных типа WZ Sge по алертам NMW и VSNET, осуществленные с помощью нового 0.5-м телескопа Российско-Кубинской обсерватории.

Также обсуждается применение данных широкопольных обзоров (TESS, ZTF, ASAS-SN, ATLAS) для исследования карликовых новых и других катаклизмических переменных.

Работа выполнена при поддержке гранта Минобрнауки РФ №075-15-2025-290 («Российско-Кубинской обсерватория как глобальная наземная сеть оптических телескопов: развитие инфраструктуры, астроклимат, поиск мест для новых наблюдательных пунктов, расширение исследований по астероидно-кометной опасности и астрофизике»).

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Диски в симбиотических системах

Анна А. Татарникова<sup>1</sup>, Андрей М. Татарников<sup>1</sup>, Наталия А. Масленникова<sup>1</sup>

E-mail: *anna.2005@mail.ru*

Симбиотические звезды представляют собой долгопериодические двойные системы, одним из компонентов которых является красный гигант, а второй — компактный объект — обычно белый карлик. Можно ожидать формирования в таких системах аккреционных дисков вокруг горячих компонентов, особенно в случае, если холодный компонент заполняет свою полость Роша. Однако, проблема существования аккреционных дисков в симбиотических звездах разных подклассов далека от окончательного решения. В работе рассматриваются основные признаки наличия аккреционного диска в системе: появление на некоторых стадиях дополнительного компонента, излучающего в континууме в ближнем УФ и оптическом диапазонах, несферическая форма (это следует из анализа затмений некоторых СЗ) этого компонента, «сверхгорбы» на кривой блеска, а так же быстрая переменность блеска (фликкер-эффект). Представлено исследование необычной дисковой структуры вокруг горячего компонента симбиотической двойной V1413 Aql (=AS338).

Работа Н. А. Масленниковой (обработка спектров, наблюдения и анализ фотометрических данных) поддержана грантом РФФ №23-12-00092.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

## 8 Двойные и кратные звёздные системы

# Параметры звездного ветра массивного компонента рентгеновской двойной системы Паруса X-1

Нина Бескровная<sup>1,2</sup>, Назар Ихсанов<sup>1,3</sup>, Виталий Ким<sup>1,4</sup>

E-mail: *beskrovnaya@yahoo.com*

Обсуждаются параметры процесса ветровой аккреции в массивной рентгеновской двойной системе Паруса X-1. Мы показываем, что наблюдаемая интенсивность рентгеновского излучения аккреционного пульсара, входящего в эту систему, позволяет ограничить скорость звездного ветра ее массивного компонента, эжектируемого в плоскости орбиты двойной системы, неравенством  $v_w < 650$  км/с. Полученная нами оценка существенно меньше оцененной по наблюдениям скорости ветра из полярных областей, что указывает на мульти-компонентную природу звездного ветра от массивного компонента системы. Мы также приводим аргументы, свидетельствующие в пользу присутствия достаточно сильного магнитного поля в звездном ветре массивного компонента, значительно влияющего на процесс обмена массой между компонентами системы.

---

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

<sup>2</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

<sup>3</sup> Институт прикладной астрономии Российской академии наук

<sup>4</sup> Астрофизический Институт им. Фесенкова, Казахстан

## Фотометрическая переменность звезды-аналога $\gamma$ -Cas EM\*AS 14

Т. С. Гришина<sup>1</sup>, Е. Г. Ларионова<sup>1</sup>, С. С. Савченко<sup>1</sup>, Д. А. Морозова<sup>1</sup>,  
А. А. Васильев<sup>1</sup>, И. С. Троицкий<sup>1</sup>, Е. В. Шишкина<sup>1</sup>, П. А. Новикова<sup>1</sup>

E-mail: *azt8@mail.ru*

Благодаря наблюдавшейся эмиссии в линии  $H\alpha$  [1] переменную звезду EM\*AS 14 относят к классу Be-звезд. Присутствие в ее спектре жесткого рентгеновского излучения (2.0-10.0 кэВ) побуждает исследовать ее, как кандидата в массивные рентгеновские двойные системы [2]. При этом, уровень рентгеновской светимости  $L_X \sim 10^{32}$  эрг/сек помещает EM\*AS 14 среди немногочисленных звезд-аналогов  $\gamma$ -Cas [3]. Природа жесткого рентгеновского излучения EM\*AS 14 пока точно не установлена.

Мы представляем результаты оптического мониторинга EM\*AS 14, проведенного нами на телескопе СПбГУ LX-200 (диаметр главного зеркала 0,4 м.) в фильтрах BVRcIc с августа 2024 года по август 2025 года. EM\*AS 14 продемонстрировал в этот период переменность блеска с амплитудами от 0,<sup>m</sup>15 в полосе B, до 0,<sup>m</sup>40 в полосе Ic, а также покраснение показателей цвета во время повышения блеска. Предполагаем, что обнаруженная в этот период фотометрическая переменность EM\*AS 14 обусловлена динамикой оболочки Be-звезды.

[1] Kohoutek L. and Wehmeyer R. *Astron. Astrophys., Suppl. Ser.*, 134 (1999) 255.

[2] Nebot Gomez-Moran A., Motch C. et al. *Astronomy and Astrophysics*, 553 (2013) A12.

[3] Naze Y., Motch C. et al. *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, 493 (2020) 2511.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

# Наблюдательные особенности и физика магнитных катаклизмических переменных

Александр И. Колбин<sup>1</sup>

E-mail: *kolbinalexander@mail.ru*

Катаклизмические переменные представляют собой тесные двойные системы, состоящие из аккрецирующего белого карлика и маломассивной звезды-донора. Примерно 30% таких систем содержат замагниченный белый карлик, который значительно разнообразит их наблюдательные свойства. В представленном докладе рассматриваются наблюдательные особенности трех типов магнитных катаклизмических переменных: классических полярных, асинхронных полярных и промежуточных полярных. Также обсуждаются современные представления об аккреции, природе магнитных полей и особенностях эволюции катаклизмических переменных с магнитными аккреторами. Особое внимание уделяется результатам наблюдений магнитных катаклизмических переменных, выполненных в Специальной астрофизической обсерватории РАН.

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Наблюдаемые особенности периодичности рентгеновского пульсара Her X-1

Владислав М. Ревнивцев<sup>1,2</sup>

E-mail: [vlad.revnivtsev@gmail.com](mailto:vlad.revnivtsev@gmail.com)

Her X-1 — один из первых рентгеновских пульсаров, открытых спутником UHURU, интерес к которому, спустя многие десятилетия наблюдений, не падает до сих пор. Her X-1 представляет из себя затменную рентгеновскую двойную систему промежуточной массы, на излучении которой в широком диапазоне энергий сказываются многие факторы. Как пример, исторически, Her X-1 это первый источник с обнаруженным рентгеновским прогревом звезды-компаньона. Непостоянство этого прогрева связано с поведением аккреционного диска, особенности и причины поведения которого исследуются давно и продолжаются до сих пор [1-3]. В докладе будет представлен анализ наблюдаемой периодичности Her X-1 в данных мониторов всего неба за срок более 15 лет, дополненный наблюдениями на телескопе ART-XC им. М. Н. Павлинского обсерватории СРГ. Главной особенностью рентгеновской двойной системы Her X-1 является 35-дневный суперорбитальный период. Моделей, объясняющих эту периодичность много, мы же будем пользоваться моделью прецессирующего диска, согласно которой прецессия является результатом суммарного воздействия приливных эффектов и динамического воздействия аккрецируемого вещества [3]. Особенности прецессии диска в системе Her X-1 приводят к тому, что момент главного включения пульсара, то есть выхода нейтронной звезды из затмения аккреционным диском, должен приходиться преимущественно на орбитальные фазы вблизи фаз 0.25 и 0.75. Такое поведение прослеживается в данных мониторов всего неба на промежутке времени более 15 лет. Прецессирующий наклонный диск также должен испытывать нутацию, то есть покачивание диска в дополнение к прецессии. Период такого покачивания будет заметно меньше — порядка 0.9 дня, а его влияние можно будет отследить только в низком состоянии источника, где изменение положения аккреционного диска дает большее воздействие на удельный регистрируемый поток. Такой эффект в данных мониторов всего неба отследить сложно, но возможно отследить в данных точечных наблюдений относительно жестких рентгеновских телескопов, где Her X-1 все еще излучает значительную часть энергии, но где различные эффекты поглощения мягкого диапазона уже несущественны. 25-26 августа 2023 года телескопом ART-XC были проведены наблюдения системы Her X-1 в диапазоне энергий 4-25 кэВ, когда источник находился в низком состоянии перед главным включением [4]. В данных этих наблюдений прослеживается влияние нутации аккреционного диска. Исследование выполнено при поддержке гранта РФФ 5-12-00012.

[1] S. Schandl & F. Meyer (1994) A&A 289 149.

[2] R. A. M. J. Wijers & J. E. Pringle (1999) MNRAS 308 207.

[3] N. I. Shakura, N. A. Ketsaris, M. E. Prokhorov & K. A. Postnov (1998) MNRAS 300 992.

<sup>1</sup> Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ, Россия

<sup>2</sup> Институт космических исследований Российской академии наук

[4] V. M. Revnivtsev, K. A. Postnov, S. V. Molkov, N. I. Shakura, A. A. Lutovinov, I. Yu. Lapshov, D. A. Kolesnikov, A. Yu. Tkachenko (2025) *A&A* 698 A166.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 5-12-00012

# Образование классических Be-звезд раннего спектрального подкласса в случае неконсервативного переноса массы в тесных двойных системах

Евгений Старицин<sup>1</sup>

E-mail: [evgeny.staritsin@urfu.ru](mailto:evgeny.staritsin@urfu.ru)

Аккрецирующая компонента тесной двойной системы получает вращение, типичное для звезд типа Be, если доля аккрецированной массы превышает 30% финальной массы аккретора. Во время переноса массы меридиональная циркуляция переносит часть момента импульса аккрецированного вещества к поверхности аккрецирующей компоненты. Эта часть момента импульса может быть отведена от аккрецирующей компоненты диском. После окончания переноса массы в двойной системе большая часть момента импульса аккрецирующей компоненты находится в аккрецированной массе.

Если масса аккрецирующей компоненты увеличивается только на 5-15%, вращение компоненты зависит от многих нерешенных вопросов.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “Министерство науки и образования”, грант FEUZ-2023- 0019

---

<sup>1</sup> Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина

# Оптическая и рентгеновская переменность двойных Ве звезд

А. Ф. Холтыгин<sup>1</sup>

E-mail: [afkholtygin@gmail.com](mailto:afkholtygin@gmail.com)

Свыше 50% звезд во Вселенной являются двойными системами. Эволюция двойных звезд существенно отличается от эволюции одиночных звезд и приводит к формированию таких необычных звездных систем, как рентгеновские двойные звезды, катаклизмические переменные звезды, сверхновые звезды типа Ia и другие необычные объекты. Особый интерес представляют двойные Ве звезды, состоящие из массивной Ве звезды и менее массивного компактного компонента: нейтронной звезды, белого карлика или Oe/Ве субкарлика. Наличие у Ве звезды околозвездного декреционного диска приводит к сложной картине взаимодействия звездного ветра самой Ве звезды, ее декреционного диска и компактного компонента и формированию мощного рентгеновского излучения при аккреции вещества декреционного диска на компактный компонент. Понимание природы и эволюции столь сложно устроенных звездных систем требует анализа их спектральной и фотометрической переменности в оптической и рентгеновской областях спектра. Представлены результаты анализа оптической и рентгеновской переменности двойных Ве звезд, в том числе классических Ве звезд, звезд типа  $\gamma$  Cassiopeiae и массивных рентгеновских Ве/X-ray двойных с Ве компонентами на разных временных шкалах от секунд и минут до суток и лет. Описаны различные механизмы формирования рентгеновского излучения двойных Ве звезд и отклик вариаций рентгеновского блеска этих звезд на их оптическую переменность.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский университет, Санкт-Петербург

## **9 Поздние стадии эволюции звёзд. Компактные объекты. Рентгеновские спектры звёзд**

# Влияние различных факторов на частоту встречаемости магнитных белых карликов

Виталий Н. Аитов<sup>1</sup>, Геннадий Г. Валявин<sup>1</sup>

E-mail: *vit9517@mail.ru*

Увеличение частоты встречаемости магнитных белых карликов с возрастом (то есть с уменьшением температуры) было отмечено рядом авторов, однако объяснения этого эффекта нет до сих пор. Для исследования этого явления нами были смоделированы функции светимости МБК при различных факторах, влияющих на неё: подавление конвекции магнитным полем и различные темпы звездообразования для данного вида объектов. Мы сравнивали полученные модельные кривые с наблюдениями белых карликов в объеме радиусом 20 пк, т. к. эту выборку можно считать наиболее полной для магнитных объектов с температурами менее 6000 К. Моделирование объектов с полной остановкой конвекции (для магнитных полей более 1 МГс) без учета переменного темпа звездообразования не дает полного описания наблюдаемой частоты встречаемости (модельная кривая сдвинута на 1 звездную величину в более холодную область относительно наблюдаемой). При моделировании переменного темпа звездообразования без учета подавления конвекции не получается достигнуть наблюдаемого роста частоты встречаемости. Однако при учете обоих процессов нами получены кривые, наиболее удовлетворяющие наблюдениям.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “Российский научный фонд (РНФ)”, грант 25-1200003

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

## Популяционный синтез одиночных нейтронных звезд в Галактике

М. Д. Афолина<sup>1,2</sup>, А. В. Бирюков<sup>1,3</sup>, С. Б. Попов<sup>1</sup>

E-mail: [afonina.md19@physics.msu.ru](mailto:afonina.md19@physics.msu.ru)

Мы представляем результаты популяционного синтеза одиночных нейтронных звезд в Млечном Пути на большом масштабе времени порядка времени жизни Галактики и получаем верхнюю границу на потенциальное количество источников в данных eROSITA. По сравнению с предыдущими исследованиями, мы используем более детальные модели межзвездной среды и магнитовращательной эволюции нейтронных звезд. Мы показываем, что если стадия пропеллера достаточно короткая, чтобы позволить нейтронным звездам начать аккрецию вещества из межзвездной среды, и если эффективность аккреции высока, то число аккрецирующих одиночных нейтронных звезд в данных eROSITA может достигать от десятков до сотен. Тем не менее, неопределенности в эффективности замедления вращения на стадии пропеллера и в эффективности процесса аккреции могут радикально уменьшить это число. Мы предполагаем, что будущие наблюдения нейтронных звезд в широких маломассивных двойных системах, недавно открытых астрометрическим спутником *Gaia*, помогут ограничить законы эволюции нейтронных звезд.

---

<sup>1</sup> Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>3</sup> Тель-Авивский университет, Тель-Авив

## Особенности вспышечной активности в системе SS 433

Татьяна Р. Ирсмамбетова<sup>1</sup>

E-mail: *veratri@yandex.ru*

Микроквazar SS 433 в оптическом диапазоне спорадически демонстрирует состояния продолжительной активности (60-90 дней), сопровождающиеся повышением среднего уровня блеска и кратковременными (порядка 1 сутки) вспышками. Вспышки могут возникать в любых фазах орбитального и прецессионного циклов и даже в моменты главного минимума, что свидетельствует о том, что источник оптических вспышек не затмевается. Состояние вспышечной активности сильно деформирует кривые блеска, соответствующие спокойному состоянию. Наибольшее превышение блеска в активном состоянии приходится на прецессионные фазы T1 и T2, когда аккреционный диск виден «с ребра», а джеты расположены в картинной плоскости. Наблюдается синхронность вспышечной активности в оптическом и радиодиапазонах. Также в период активности обнаруживаются аномальные отклонения в доплеровских смещениях линий джетов ( $z$ ) от предсказанной кинематической модели как в оптическом, так и в рентгеновском диапазонах. Предполагается, что причина возникновения вспышек и их локация может быть связана с возмущениями в релятивистских джетах.

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. Штернберга

# Радиус магнитосферы звезды, аккрецирующей из диска

Назар Р. Ихсанов<sup>1,2</sup>, Нина Бескровная<sup>1</sup>

E-mail: *nazar.ikhsanov@mail.ru*

Рассматривается процесс дисковой аккреции на звезду с сильным магнитным полем. Мы исходим из сценария, в котором взаимодействие диска с магнитным полем звезды приводит к формированию ее магнитосферы, размер которой превосходит радиус звезды. На границе магнитосферы аккреционный поток проникает с внутреннего радиуса диска в магнитное поле звезды и переходит в режим свободного падения, двигаясь вдоль силовых линий поля. Методика оценки величины внутреннего радиуса диска в рамках такого сценария является предметом нашего обсуждения. Мы показываем, что оценку искомого параметра удастся получить в ходе решения уравнения неразрывности аккреционного потока на внутреннем радиусе диска. Величина радиуса магнитосферы в предлагаемом нами подходе определяется механизмом проникновения аккреционного потока из диска в магнитное поле звезды и достигает своего минимально возможного значения в рамках диффузионного приближения. Эффективность полученного результата мы демонстрируем на примере конкретных аккреционных источников.

---

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук

<sup>2</sup> Институт прикладной астрономии Российской академии наук

## Анализ наблюдений затменного поляра SDSS J002637.06+242915.6

В. Ю. Кочкина<sup>1</sup>, А. И. Колбин<sup>1</sup>, Т. А. Фатхуллин<sup>1</sup>, А. С. Винокуров<sup>1</sup>, Н. В. Борисов<sup>1</sup>

E-mail: *nikainspace@gmail.com*

В работе выполнен анализ фазово-разрешенной фотометрии и спектроскопии затменного поляра SDSS J002637.06+242915.6. В фазовой кривой блеска проявляется М-образный максимум, который был промоделирован в рамках простой модели аккрецирующего магнитного белого карлика. В профилях линий водорода выделяется узкая компонента, которая образуется на поверхности донора вследствие эффекта переизлучения. Анализ доплеровских томограмм показывает различия в расположении областей формирования эмиссий водорода и ионизированного гелия. В спектрах проявляется абсорбционный зеемановский триплет линии  $H\alpha$ , образующийся в холодном гало вокруг аккреционного пятна при индукции магнитного поля  $B = 15.1 \pm 1.3$  МГс. Спектры имеют красный циклотронный континуум, орбитальная переменность которого была интерпретирована в рамках простой модели аккреционного пятна. На основе анализа кривой блеска затмения и лучевых скоростей области переизлучения получены оценки наклона орбиты  $77.2^\circ \leq i \leq 80.6^\circ$ , отношения масс  $0.23 \leq q \leq 0.43$ , массы белого карлика  $0.72 \geq M_1/M_\odot \geq 0.42$ .

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

## Рентгеновское излучение цефеид по данным миссии «Спектр-РГ»

Артём А. Матрохин<sup>1</sup>, Михаил Е. Сачков<sup>1</sup>, Дана А. Ковалева<sup>1</sup>

E-mail: *msachkov@inasan.ru*

Классические цефеиды являются важными «стандартными свечами» при определении шкалы расстояний во Вселенной и интересными объектами для понимания звездной эволюции. Обнаружение рентгеновского излучения у некоторых звезд данного класса актуализировало вопросы происхождения этого излучения в цефеидах, а также его изменения в течение пульсационного периода. Были предприняты попытки обнаружения рентгеновского излучения у выборки цефеид с помощью телескопов Chandra и XMM-Newton. В настоящей работе представлены результаты нашего анализа первого всенебесного обзора миссии «Спектр-РГ» (телескоп E-ROSITA) с целью обнаружения новых цефеид с рентгеновским излучением.

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

## Связь между вспышечной активностью и долгосрочными вариациями рентгеновского излучения звезд типа $\gamma$ Cas

Елизавета Б. Рыспаева<sup>1</sup>

E-mail: *e.ryspaeva@yandex.ru*

К загадочному подклассу звезд типа  $\gamma$  Cas (аналогов  $\gamma$  Cas) относятся одиночные или двойные Be-звезды с маломассивным спутником и с необычным рентгеновским излучением. У этих объектов рентгеновская светимость выше, чем у типичных Be-звезд, но ниже, чем у рентгеновских двойных систем с Be-компонентами, а в предположении о полностью тепловой природе рентгеновского излучения звезд типа  $\gamma$  Cas, температура излучающей плазмы должна достигать 10-20 кэВ и даже выше. Рентгеновские наблюдения звезд типа  $\gamma$  Cas проведенные через длительные промежутки времени показали, что в рентгеновских спектрах по крайней мере некоторых объектов подкласса присутствуют долгосрочные изменения, по-видимому, связанные с изменениями параметров декреционных дисков (масса, плотность, угол наклона и другие). Многие авторы объясняют формирование рентгеновского излучения загадочных звезд пересоединением силовых линий локальных магнитных полей звезд и их декреционных дисков. Такое рентгеновское излучение должно состоять из большого числа коротких вспышек (вспышечно-подобных событий, быстрых вспышек). В статье [1] были обнаружены 1615 таких событий длительностью от секунд до полутора минут в рентгеновских кривых блеска звезды аналога  $\gamma$  Cas BZ Cru (HD 110432, B0.5IVpe). В настоящей работе сделано предположение о связи числа и мощностей быстрых вспышек с изменениями в рентгеновских спектрах аналогов  $\gamma$  Cas. Для проверки выполнен поиск быстрых вспышек в рентгеновских кривых блеска 5 звезд загадочного подкласса с обнаруженными долгосрочными изменениями в рентгеновских спектрах методом [1] с нашими корректировками ([2]). Показано, что в кривых блеска присутствуют эпизоды частых быстрых вспышек и длительные эпизоды без вспышек. При уменьшении рентгеновских потоков число быстрых вспышек уменьшается, но характеристики самих вспышек при этом существенно не меняются. Сделано предположение, что наблюдения звезд аналогов  $\gamma$  Cas со сниженными рентгеновскими потоками соответствуют состояниям звезд без вспышек или с малым числом вспышек. Уменьшение числа вспышек может быть связано с увеличением расстояния от звезды до декреционного диска, а также с уменьшением толщины диска, что приводит к уменьшению числа событий пересоединения силовых линий локальных магнитных полей звезды и магнитного поля диска.

[1] Smith M. A., Lopes de Oliveira R., Motch C., 2012, *The Astrophysical Journal*, 755:64 (11 pp).

[2] Рыспаева Е. Б., в сборнике трудов XXI Конференции молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования» ИКИ РАН, Москва, 10–12 апреля 2024.

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

## Пульсар Геминга: уточнение радиопортрета

Дарья А. Теплых<sup>1</sup>

E-mail: *niko-t@yandex.ru*

Геминга (PSR J0633+1746) один из немногих представителей «радиотихих» пульсаров, импульсное радиоизлучение зарегистрировано только в метровом диапазоне длин волн [1-3]. Также Геминга — самый близкий из известных подобных объектов. В работе представлены новые наблюдения радиоизлучения пульсара Геминга. Наблюдения проводились в Пуцзинской радиоастрономической обсерватории на высокочувствительном радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Ранее известные профили импульсов дополняются выявленным интеримпульсом — сигналом между двумя главными импульсами. Этот новый элемент профиля значительно обогащает картину радиоизлучения Геминги и ставит перед исследователями важные вопросы относительно механизмов формирования и распространения сигналов.

- [1] А. Д. Кузьмин, Б. Я. Лосовский, Письма в АЖ 23, 323 (1997).
- [2] V. M. Malofeev and O. I. Malov, Nature 389, 697 (1997).
- [3] Yu. P. Shitov and V. D. Pugachev, New Astronomy 3, 101 (1998).

---

<sup>1</sup> Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

# Наблюдения пульсаров в ПРАО

Мария А. Тимиркеева<sup>1</sup>

E-mail: *timirkееva@prao.ru*

Для обнаружения слабых и экзотических типов пульсаров, а также вращающихся транзиентов типа RRAT (rotating radio transient) и быстрых радиовспышек — FRB (fast radio burst) — нужны особенные условия наблюдений. Эта возможность основана на реализации единственного в мире проекта ежедневного обзора половины небесной сферы с сохранением сырых данных.

Ежедневные наблюдения на телескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц, покрывающим склонения от  $-9^\circ$  до  $+55^\circ$  позволяют не только искать новые пульсары, но и исследовать известные источники. По данным 10-летнего мониторинга был проведен поиск слабых пульсаров в рамках программы «Многолучевого поиска пульсаров в Пушино» (PUMPS).

Высокая чувствительность антенны в сочетании с регулярными наблюдениями за 10 лет обеспечили открытие около 90 пульсаров, многие из которых на порядок слабее известных на сегодняшний день. Поиск пульсаров осуществлялся в суммированных спектрах мощности от более чем 3000 наблюдательных сессий. Для обнаружения использовался новый метод представления данных в виде карт P/DM, отображающих одновременно около 5000 спектров мощности на одной карте. По отдельным импульсам пульсаров в рамках программы PUMPS было обнаружено открыто около 100 RRAT и 1 FRB.

Было проведено исследование гамма-пульсаров на телескопе БСА ФИАН на низких частотах. Радиотелескоп БСА ФИАН дает редкую возможность регистрации слабого радиоизлучения от известных гамма-пульсаров. Особенный интерес вызывают пульсары типа Геминга. Эти пульсары считаются радио-тихими, но при этом яркими в гамма-диапазоне. Результатом является впервые зарегистрированное слабое, периодическое импульсное излучение от гамма-пульсаров J1836 + 5925 и J0357 + 3205 на частоте 111 МГц.

## Исследование проведено при поддержке:

1. “РНФ”, грант 22-12-00236-П

---

<sup>1</sup> Физический институт им. П. Н. Лебедева Российской академии наук

# Источник X5 в шаровом скоплении 47 Тукана: первый объект класса HOFNAR или важный тест теории эволюции тесных двойных звёзд

Андрей Чугунов<sup>1</sup>, Дмитрий Зюзин<sup>1</sup>, Анна Карпова<sup>1</sup>, Аида Кириченко<sup>1</sup>, Михаил Гусаков<sup>1</sup>

E-mail: *andr.astro@yandex.ru*

Согласно предложенной нами в 2014 году гипотезе, в результате эволюции мало-массивных рентгеновских двойных (LMXB) могут рождаться не только миллисекундные пульсары, но и нейтронные звёзды нового класса — HOFNAR (от HOt and Fast Non-Accreting Rotators). Гипотеза основана на теоретическом анализе эволюции аккрецирующих нейтронных звёзд, подверженных неустойчивости г-мод колебаний, связанной с излучением гравитационных волн, уносящих угловой момент, высвобождая энергию вращения. При этом, часть высвобожденной вращательной энергии не уносится гравитационными волнами, а остаётся в звезде и раскачивает колебания и, в конечном счете, превращается в тепло за счет диссипации. Запас вращательной энергии очень велик и этот механизм может поддерживать высокую температуру звезды до сотен миллионов лет, даже после прекращения аккреции. Проведенный в 2014 году анализ литературы показал, что гипотеза HOFNAR может являться альтернативной интерпретацией нескольких известных источников, классифицированных как кандидаты в LMXB системы в спокойном состоянии (qLMXB), на основании теплового рентгеновского спектра, хотя они никогда не наблюдались в состоянии активной аккреции. При этом, был намечен план, по которому анализ оптических наблюдений должен был позволить выбрать наиболее правдоподобную интерпретацию: в случае qLMXB высокая температура нейтронной звезды связана с транзиентной аккрецией, а, значит, должен существовать компаньон заполняющий полость Роша. Для интерпретации как объекта HOFNAR компаньон должен либо отсутствовать, либо существенно не заполнять полость Роша, исключая значимую аккрецию на нейтронную звезду.

В докладе этот план реализован с использованием архивных наблюдений одного из кандидатов в HOFNAR, известного как рентгеновский источник X5 в шаровом скоплении 47 Тукана. В результате, компаньон X5 отождествлен в оптическом и инфракрасном диапазонах; измерены потоки в 8 фильтрах. По спектру были определены его температура и радиус, согласующиеся с изохронами звёзд малой металличности с массой  $M = (0.45-0.52)$  масс Солнца. С учетом орбитального периода (8.67 ч) и радиуса, такая масса соответствует малой степени заполнения полости Роша ( $\sim 0.6$ ). Это свидетельствует в пользу интерпретации источника X5 в шаровом скоплении 47 Тукана как первого объекта HOFNAR. Тем не менее, анализ длительности рентгеновских затмений соответствует размеру затмеваемого объекта, превосходящему радиус звезды, установленный по оптическим данным. Длительность затмений может согласовываться с размером полости Роша при массе компаньона  $\sim 0.3$  массы Солнца. Это затрудняет окончательный вывод о природе источника X5, делая этот объект интересным тестом теории эволюции двойных систем.

Работа поддержана грантом Российского Научного Фонда № 22-12-00048-П.

---

<sup>1</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “Российский Научный Фонд”, грант 22-12-00048-П

# Звезды Вольфа-Райе и черные дыры: распределения масс и эволюционная связь

Иван А. Шапошников<sup>1</sup>, Константин А. Постнов<sup>1</sup>, Анатолий М. Черепашук<sup>1</sup>

E-mail: *iv.shaposhnikov@gmail.com*

В работе представлены эмпирические распределения масс звёзд Вольфа-Райе (WR) в двойных системах типа WR+OB и чёрных дыр (ЧД) в рентгеновских двойных системах. Распределения масс как WR, так и ЧД хорошо аппроксимируются логнормальными функциями. Если предположить, что звёзды WR являются прародителями ЧД, то схожая форма распределений масс до и после коллапса предполагает степенную зависимость между ними:  $M_{\text{ЧД}} = (0.39 \pm 0.09)M_{\text{WR}}^{1.13 \pm 0.09}$  (для  $M_{\text{WR}} > 6M_{\odot}$ ), что указывает на возможную связь между массой ЧД и CO-ядра коллапсирующей звезды  $M_{\text{ЧД}} \sim 0.9M_{\text{CO}}$ , используемую в расчетах популяционного синтеза.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “Российский научный фонд”, грант 23-12-00092

---

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

## 10 Постеры

## Многоцветные наблюдения карликовой новой в пробеле периодов OT J064833.4+065624 в 2025 г.

Оксана И. Антонюк<sup>1</sup>, Елена П. Павленко<sup>1</sup>, Кирилл А. Антонюк<sup>1</sup>, Алексей А. Сосновский<sup>1</sup>

E-mail: [sana\\_duka@mail.ru](mailto:sana_duka@mail.ru)

Представляем результаты многоцветных наблюдения карликовой новой OT J064833.4+065624, полученных в 2025 г. Сет наблюдений охватил интервал от спокойного состояния за 3 дня до сверхвспышки, саму сверхвспышку, ребрайтинг и возвращение к спокойному состоянию системы. Характер изменений O-C для максимумов сверхгорбов во время сверхвспышки соответствует данным, полученным для предыдущей подобной сверхвспышки в 2014 г.

Найденный период колебаний блеска системы до сверхвспышки соответствует орбитальному периоду 0.0953(4) сут. и отношению масс  $m_2/m_1=0.22(1)$ , что хорошо согласуется с теоретической зависимостью. Профили кривых блеска в минимуме указывают на то, что в голубой области основной вклад вносит горячее пятно, а в инфракрасной — эффект эллипсоидальности вторичного компонента. Изменения показателей цвета во время сверхвспышки демонстрируют «петлю».

---

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт "Крымская астрофизическая обсерватория"

# Влияние темпа фотоионизации на внутренний зазор радиопульсара J0901-4046

Дмитрий П. Барсуков<sup>1</sup>, Александр Н. Попов<sup>1</sup>

E-mail: *bars.astro@mail.ioffe.ru*

Рассматривается влияние темпа фотоионизации позитрониев рентгеновскими фотонами с поверхности нейтронной звезды на генерацию несвязанных позитронов во внутреннем зазоре и нагрев полярной шапки радиопульсара J0901-4046, вызванный обратным током позитронов текущим через внутренний зазор. Внутренний зазор считается работающим в стационарном состоянии в режиме свободного истечения электронов с поверхности. При рождении электрон-позитронных пар учитывается только поглощение в магнитном поле квантов изгибного излучения первичных электронов. Рассмотрение ограничено только интервалом температур поверхности звезды  $10^5 - 3 \cdot 10^5$  К. Вкладом фотонов с горячей полярной шапки в фотоионизацию позитрониев пренебрегается.

---

<sup>1</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

## Спектроскопия повторной новой U Sco во время вспышки 2022 года

Полина О. Болдырева<sup>1</sup>, Илья С. Потравнов<sup>2,1</sup>, Максим В. Еселевич<sup>3</sup>

E-mail: *st117497@student.spbu.ru*

В докладе представлены результаты спектроскопического исследования повторной новой U Sco, являющейся самым активным объектом этого типа и потенциальным кандидатом на вспышку в качестве SN Ia. Спектры низкого разрешения ( $R \sim 1200$ ) были получены во время вспышки 2022 года на фазе падения блеска с помощью 1.6-м. телескопа АЗТ-33 ИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН. Нами рассмотрена спектральная эволюция вспышки, проанализированы профили линий серии Бальмера и He II. Показано, что как и во время предыдущих вспышек, спектр демонстрирует две системы эмиссионных линий, формирующихся в областях, различающихся по своим физическим характеристикам. Получена оценка массы сброшенной оболочки.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Институт астрономии Российской академии наук

<sup>3</sup> Институт солнечно-земной физики Сибирского отделения Российской академии наук

## Моделирование ветра LBV звезды AF And в горячем состоянии

Евгений О. Дедов<sup>1</sup>, Александр Е. Костенков<sup>1</sup>,  
Александр С. Винокуров<sup>1</sup>, Аркадий Н. Саркисян<sup>1</sup>

E-mail: *evdedov@sao.ru*

Яркие голубые переменные (Luminous blue variables, LBVs) — проэволюционировавшие звезды высокой светимости ( $L_{\text{Bol}} > 10^5 L_{\text{Sun}}$ ) начальной массой более  $25 M_{\text{Sun}}$  [1]. Они характеризуются сильной спектральной и фотометрической переменностью. Характер наблюдаемой вариации блеска известен как переменность типа S Dor, при котором болометрическая светимость остается приблизительно постоянной, а изменение блеска звезды происходит из-за изменения температуры и радиуса фотосферы. Определение параметров подобных звёзд представляет собой сложную задачу в силу невыполнения условий ЛТР в ветре звезды и комплексного влияния фундаментальных параметров на ионизационное состояние, и как следствие, вид спектра. В работе мы применяем не-ЛТР код CMFGEN [2], позволяющий рассчитывать сферически симметричные модели звездных атмосфер с учетом оттока вещества в ветре. Вместо широко употребляемого  $\beta$ -закона [3], представляющего собой аппроксимацию распределения скорости вещества в ветре, мы применяем форму скоростного закона, полученную на основе расчета гидродинамических моделей, учитывающих баланс радиальных сил в ветре, в том числе, включающих вклад вращения звезды. Для корректного описания вклада металлов в ускорение ветра применялась обширная атомная модель с полным числом связанно-связанных переходов близким к 140 000. Для моделирования был выбран спектр AF And в горячем состоянии, полученный на телескопе ММТ в диапазоне 3550 — 8050 Å со спектральным разрешением около 2 Å. По результатам моделирования получены оценки фундаментальных параметров объекта, в том числе светимости, темпа потери массы, эффективной температуры, терминальной скорости ветра и обилия химических элементов в атмосфере звезды. На основе полученных результатов обсуждается эволюционный статус AF And.

[1] R. M. Humphreys, K. Weis, K. Davidson, ApJ. 790 (2014) 48.

[2] D. J. Hillier, D. L. Miller, ApJ. 496 (1998) 407.

[3] D. J. Hillier, T. Lanz, S. R. Heap, et al. ApJ. 588 (2003) 1039.

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

## Исследование магнитного поля HD 13404

Елена П. Корчагина<sup>1</sup>, Иосиф И. Романюк<sup>1</sup>

E-mail: *belkalenka2010@yandex.ru*

В рамках данной работы были получены спектры с круговой поляризацией на БТА и проведено методом Зеемана измерение продольного компонента магнитного поля химически пекулярной звезды HD 13404. Построенная кривая магнитного поля не демонстрирует переменность знака и значимой амплитуды переменности продольного компонента магнитного поля, в среднем  $B_e = -3629$  Гс. Это позволяет предположить, что с периодом вращения у звезды виден один магнитный полюс. Для исследования переменности магнитного поля в отдельных химических пятнах было проведено отождествление спектральных линий с линиями синтетического спектра, построенного с подбором химического состава звезды и ее физических параметров ( $T_{\text{eff}} = 7500$  К,  $\log g = 4.26$  dex). В итоге мы отобрали спектральные линии с эффективным коэффициентом Ланде ( $g \geq 1$ ) химических элементов: Fe, Ti, Cr, Mn, La и Gd. Величины магнитного поля по линиям данных элементов, в числе которых линии редкоземельных металлов, что непосредственно связаны с магнитным полем также не демонстрируют значимых амплитуд переменности магнитного поля с периодом вращения, что подтверждает предположение о видимости одного магнитного полюса звезды HD 13404 и свидетельствует о близком расположении магнитного полюса и оси вращения.

### Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский научный фонд (РНФ)”, грант 25-1200003

---

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

# Космология Калуцы—Клейна по данным сверхновых типа Ia

Виктор Р. Крым<sup>1</sup>

E-mail: *v.krym@spbu.ru*

Известно, что теория Калуцы—Клейна позволяет осуществить естественное объединение гравитационных и калибровочных взаимодействий. Космология Калуцы—Клейна использует многомерное пространство-время с произвольным масштабным множителем перед «калибровочной» частью метрики. Эволюция Вселенной в этой теории начинается с многомерного  $4+d$  состояния, но затем этот масштабный множитель быстро стремится к нулю, что означает переход к обычному 4-мерному состоянию Вселенной (динамическая компактификация). Работы по космологии Калуцы—Клейна обычно используют дополнительные предположения о втором масштабном множителе.

В настоящей статье в качестве пространства-времени мы рассматриваем прямое произведение  $M^4 \times SU(2)$  пространства Фридмана—Леметра—Робертсона—Уолкера  $M^4$  и группы Ли  $SU(2)$  (3-сфера) с биинвариантной метрикой [1]. Мы докажем, что риманова кривизна группы Ли  $SU(2)$  дает ненулевой вклад в скалярную кривизну многообразия  $M^4 \times SU(2)$ , причем этот вклад в точности соответствует космологической постоянной  $\Lambda$ . В тензоре энергии-импульса возникает дополнительное «калибровочное» давление  $\sigma$ . Если считать обычную материю пылевидной, а для  $\sigma$  выбрать приближение «давление пропорционально плотности», то плотность материи  $\frac{\rho}{\rho_0} = \left(\frac{a}{a_0}\right)^{-3} \left(\frac{b}{b_0}\right)^{-3\gamma_1}$ . Параметры модели оценивались с помощью нелинейной регрессии по данным о светимости сверхновых типа Ia. Оценка расстояний с помощью сверхновых Ia основана на том, что их светимость практически постоянна, а остаточные вариации можно оценить с помощью двух параметров. Матрица ковариаций всех этих параметров для выборки из 740 сверхновых Ia [2] была использована в регрессионной задаче для определения параметров модели. Наилучшие значения представляют собой полосу, т.е. при различных  $\gamma_1$  наилучшие значения очень близки между собой по показателю  $\chi^2$ . При  $\gamma_1 = 0.1$   $\Omega_m = 0.20$  и  $\Omega_\Lambda = 0.52$   $\chi^2_{\min} = 634.6$ . При  $\gamma_1 = 0.3$   $\Omega_m = 0.24$  и  $\Omega_\Lambda = 0.55$   $\chi^2_{\min} = 634.8$ . Это соответствует кривизне  $\Omega_\kappa = 0.21$ . Если кривизна  $\Omega_\kappa = 0.15$ , то возраст Вселенной может лежать в интервале  $14 \leq t_0 \leq 17$  млрд лет. Эта оценка отличается от оценки стандартной космологической модели и в принципе позволяет объяснить происхождение «ранних галактик». Если принять, что Вселенная практически плоская, как это следует из данных о реликтовом излучении, то предсказания предлагаемой модели совпадут со стандартной космологией.

[1] В.Р. Крым. *Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 1. Математика. Механика. Астрономия*, (4) 2025 (в печати).

[2] M. Betoule, R. Kessler, J. Guy, J. Mosser, D. Hardin, R. Biswas, P. Astier, P. El-Hage, M. König, S. Kuhlmann, et al. *Astronomy & Astrophysics*, **568**:A22, 2014.

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

# Исследование неупругих процессов при столкновениях цинка и водорода методом токов вероятностей

Вероника В. Мазаева<sup>1</sup>

E-mail: *veronika.mazaeva2000@mail.ru*

Характеристики неупругих процессов столкновений атомов и ионов цинка с атомами и ионами водорода, такие как сечения и константы скоростей, важны для определения свойств газовых и плазменных сред. В работе рассчитаны сечения и константы скоростей неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и ионов, с учетом тонкой структуры атомов цинка, методом токов вероятности. В расчетах использовался адиабатический подход Борна-Оппенгеймера, позволяющий разделить электронную и ядерную подсистемы. Работа включает 17 ковалентных и одно ионное состояния квазимолекулы ZnH. Для исследования электронной структуры применен асимптотический подход [1] с учетом тонкой структуры. Для низколежащих состояний использовались данные *ab initio* расчетов из работы [2]. Применен метод токов вероятности [1] для вычисления вероятностей неупругих процессов. Рассчитаны сечения неупругих процессов возбуждения, девозбуждения, нейтрализации и образования ионной пары для энергий столкновения от  $10^{-3}$  до 100 эВ, а также константы скоростей для температур от 1000 до 10 000 К. Полученные сечения и константы скоростей неупругих процессов столкновений системы ZnH позволят смоделировать форму спектральной линии в различных плазменных и газовых сред, содержащих эти элементы.

[1] A. K. Belyaev Model approach for low-energy inelastic atomic collisions and application to  $\text{Al} + \text{H}$  and  $\text{Al}^+ + \text{H}^-$  // *Physical Review A - Atomic, Molecular, and Optical Physics*. – 2013. – Vol. 88. – Art. 052704.

[2] Zhao Shu-Tao, Liang Gui-Ying, Li Rui, Li Qi-Nan, Zhang Zhi-Guo, Yan Bing Theoretical study on the electronic structure and transition properties of excited state of ZnH molecule // *Acta Physica Sinica*. – 2017. – Vol. 66. – Art. 063103.

---

<sup>1</sup> РГПУ им. А. И. Герцена

# Исследование неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и ионов хрома и водорода при низких энергиях

Анастасия А. Мамонтова<sup>1</sup>, Светлана А. Яковлева<sup>1</sup>

E-mail: *fukk15tsumi07@gmail.com*

Работа посвящена теоретическому исследованию низкоэнергетических неупругих процессов при столкновениях атомов и ионов хрома с атомами и ионами водорода с использованием модельного асимптотического подхода [1]. Изучение неупругих столкновений важно для спектроскопического анализа, понимания химических реакций и процессов в звёздных атмосферах. Применение подхода Борна–Оппенгеймера [2] позволяет разделить задачу на расчет электронной структуры и исследование ядерной динамики. Модель Ландау–Зинера [3] применяется для расчета вероятностей неадиабатических переходов, которые нужны для определения сечений неупругих столкновений и констант скоростей. В исследовании учтено 16 ковалентных состояний  $\text{Cr}(3d5nl\ 5,7L) + \text{H}$  и 1 ионное состояние  $\text{Cr}(3d5\ 6S) + \text{H}^-$ , а также 38 ковалентных состояний  $\text{Cr}(3d4\ 4s\ nl\ 5,7L) + \text{H}$  и 1 ионное состояние  $\text{Cr}(3d4\ 4s\ 6D) + \text{H}^-$ . Рассчитаны константы скоростей возбуждения, девозбуждения, взаимной нейтрализации и образования ионной пары для температур от 1000 до 10 000 К. Актуальность исследования обусловлена недостатком экспериментальных данных в области низкоэнергетических столкновений  $\text{CrH}$ , что требует теоретических расчетов. Результаты исследования способствуют развитию моделей, описывающих химические и физические процессы в системах, содержащих хром и водород.

[1] Belyaev A. K. Model approach for low-energy inelastic atomic collisions and application to  $\text{Al} + \text{H}$  and  $\text{Al}^+ + \text{H}^-$  // *Physical Review A*, V.88, 052704 (2013).

[2] Born M., Oppenheimer R. Zur Quantentheorie der Molekeln // *Annalen der Physik*. 1927. Vol. 389, no. 20. Pp. 457–484.

[3] L. D. Landau, *Phys.Z. Sowietunion* 1, 88 (1932); 46(1932); C. Zener, *Proc.Roy. Soc. A* 137, 696 (1932).

---

<sup>1</sup> РГПУ им А. И. Герцена, Россия

# Гидродинамика и излучение в аккреционных каналах докритических рентгеновских пульсаров

Иван Д. Маркозов<sup>1,2</sup>

E-mail: *markozoviv@mail.ru*

Проведено самосогласованное радиационно-гидродинамическое моделирование аккреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров. Учен процесс резонансного комптоновского рассеяния и поляризация вакуума. Исследованы спектр и поляризация излучения, выходящего из аккреционного канала. Показано, что излучение в циклотронной линии определяется гидродинамическими характеристиками течения в аккреционном канале, а спектральное положение центроида циклотронной линии смещается с увеличением темпа аккреции в область более высоких энергий, что соответствует наблюдаемой корреляции положения циклотронной линии со светимостью пульсара для докритических темпов аккреции. Работа поддержана грантом РНФ №24-12-00320.

Исследование проведено при поддержке:

1. "РНФ", грант 24-12-00320

---

<sup>1</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

<sup>2</sup> Институт космических исследований Российской академии наук

## Влияние эффектов ОТО на момент инерции внешнего магнитного поля пульсара

Арам А. Матевосян<sup>1</sup>, Дмитрий П. Барсков<sup>2</sup>, Виктор В. Дубов<sup>1</sup>

E-mail: *aramverner1@gmail.com*

Радиопульсары — это быстро вращающиеся нейтронные звезды, которые находятся в области, имеющую сильное магнитное поле  $B \sim 10^{11} - 10^{14}$  Гс. Это магнитное поле, как и увлекаемые им частицы, создают вокруг нейтронной звезды вращающуюся вместе с ней магнитосферу. Она простирается от поверхности нейтронной звезды вплоть до светового цилиндра, где ее «скорость вращения» приближается к скорости света. За световым цилиндром и вещество и поле уже не могут вращаться вместе с нейтронной звездой и «отрываются» от нее, формируя уходящий на бесконечность пульсарный ветер. Таким образом в области между поверхностью нейтронной звезды и световым цилиндром мы имеем вращающиеся вместе с нейтронной звездой магнитное поле, заметно более слабое электрическое поле, а также увлеченные ими частицы вещества. В первом приближении магнитное поле пульсара можно считать дипольным и соответственно плотность его энергии на магнитных полюсах и магнитном экваторе отличается примерно в 4 раза. Т.е. данная масса распределена вокруг звезды не изотропно. Поскольку она вращается твердотельно вместе со звездой то мы можем рассматривать ее как бы «прикрепленную» к звезде. В результате чего звезда приобретает «отличную от сферической форму» и возникает отличие ее момента инерции от сферического порядка  $10^{-14} - 10^{-12}$  от ее полного момента. Что приводит к появлению возможности свободной прецессии нейтронной звезды с периодом  $10^3 - 10^4$  лет. Как видно в работе [1], низкочастотная компонента красного шума и высокие индексы торможения пульсаров возможно как раз и связаны с данной прецессией. Возможна и иная интерпретация данного процесса [2]. В рамках нее действие на звезду вращающейся вместе с ней магнитосферы описывается в рамках «аномального тормозящего момента», который оказывает влияние на внешние слои нейтронной звезды [3]. Однако данный подход, несмотря на его большую физическую точность, требует гораздо более сложных и трудоемких вычислений для получения тех же самых результатов [3]. Поэтому в данной работе мы используем только первый подход. Помимо дипольного магнитного поля нейтронные звезды могут обладать сравнимым или даже превосходящим его в разы мелкомасштабным магнитным полем, с характерным масштабом изменения поля порядка 1-3 км, которое также приносит свой вклад в момент инерции.

В данной работе рассматривается влияние искривления пространства в рамках метрики Шварцшильда на вклад мелкомасштабного магнитного поля вне нейтронной звезды в отличие момента инерции пульсара от сферического. В противопоставлении с работой [4], в которой рассмотрение ограничено только случаем осесимметричного магнитного поля, в данной работе рассматривается оба случая: как осесимметричного, так и не осесимметричного мелкомасштабного поля. В работе продемонстрировано, что не смотря на формально значительные, вплоть до  $10^3 - 10^5$  раз, искажения мелкомасштабного поля в метрики

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

<sup>2</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

Шварцшильда, при фиксированном значении величины мелкомасштабного магнитного поля на поверхности звезды отличие от случая пространства плоской метрики не велико: вклад мелкомасштабного поля вне звезды в отличие тензора инерции пульсара от сферического из-за влияния искривления пространства уменьшается всего в несколько раз по сравнению со случаем плоского пространства. И, следовательно, добавка к индексу торможения пульсара, связанная с его свободной прецессией, вызванной внешним магнитным полем, также изменяется всего лишь в несколько раз по сравнению со случаем плоской метрики.

- [1] A. Viryukov, G. Beskin, S. Karpov, MNRAS v. 420, p. 103 (2012).
- [2] В. С. Бескин, УФН, т. 188, с. 377 (2018).
- [3] В. С. Бескин, А. А. Желтоухов, УФН т. 184, с. 865 (2014).
- [4] А. А. Матевосян, Д. П. Барсуков, ЖТФ вып. 12 с. 1815 (2023).

## Молодое рассеянное скопление alpha Per в обзоре eРОЗИТА/СРГ

Степан С. Панарин<sup>1,2</sup>, Ирек М. Хамитов<sup>1,2</sup>, Ильфан Ф. Бикмаев<sup>1,2</sup>,  
Марат Р. Гильфанов<sup>3,4</sup>, Рашид А. Сюняев<sup>3,4</sup>

E-mail: [steppanarinastro@gmail.com](mailto:steppanarinastro@gmail.com)

В работе исследована рентгеновская активность звезд молодого рассеянного скопления Альфа Персея, используя данные обзора неба телескопом eРОЗИТА орбитальной обсерватории «Спектр-РГ» и оптический каталог из 1406 членов скопления, построенный на основе данных GAIA DR3. В результате перекрестной идентификации найдено 526 рентгеновских источников, ассоциированных со звездами скопления, включая 479 объектов, ранее не наблюдавшихся в рентгеновском диапазоне. 98 источников содержат информацию о двойственной природе. Зависимость « $B-V_0 - \log(L_X)$ » для источников eРОЗИТА при сравнении каталогом ROSAT позволила выделить новые группы рентгеновских звезд, обнаруженных благодаря более высокой чувствительности eРОЗИТА. Для 117 источников дополнительно определены периоды вращения по данным орбитальной обсерватории TESS. Для этих звезд периоды не были опубликованы ранее, что позволяет расширить выборку объектов для построения зависимости рентгеновской активности от вращения. Характер зависимости величины  $R_X = \log(L_X/L_{bol})$  от числа Россби  $R_o$  различен для звезд разных спектральных классов. Для K- и M-звезд при малых  $R_o$  наблюдается насыщение ( $R_X \approx -3$ ), при  $R_o > \sim 0.25$  у K-звезд фиксируется падение рентгеновской активности, тогда как M-звезды с большими числами Россби в нашей выборке отсутствуют. По подвыборке K-звезд определено положение точки излома  $R_{o,break} = 0.275_{+0.038}^{-0.030}$ . Размер выборки F- и G- звезд не позволяют описать характер зависимости рентгеновской активности от вращения.

**Исследование проведено при поддержке:**

1. “РНФ”, грант 23-12-00292.

---

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>2</sup> Академия наук РТ, Казань, Россия

<sup>3</sup> Институт космических исследований Российской академии наук, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт астрофизики общества Макса Планка, Мюнхен, Германия

# Моделирование гравитационно-волнового сигнала от рентгеновских пульсаров

Георгий К. Пименов<sup>1</sup>, Иван Д. Маркозов<sup>2,3</sup>

E-mail: *pimenovpima@gmail.com*

Работа посвящена моделированию гравитационного волнового сигнала от рентгеновских пульсаров — нейтронных звёзд в составе двойной системы с аккрецией от звезды-компаньона. Нейтронная звезда рассматривается как свободно прецессирующий трёхосный эллипсоид. Гравитационно-волновой сигнал рассчитывается в квадрупольном приближении, в поперечной бесследовой калибровке строятся профили плюс- и крест-поляризаций. При использовании параметров, полученных по результатам наблюдений рентгеновского поляриметра IXPE, предсказывается профиль гравитационно-волнового излучения для реальных пульсаров.

---

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup> Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук

<sup>3</sup> Институт космических исследований Российской академии наук

## BM H $\gamma$ i: магнитная Si-звезда с рекордными химическими аномалиями редкоземельных элементов

Анна М. Романовская<sup>1</sup>, Татьяна А. Рябчикова<sup>1</sup>, Илья С. Потравнов<sup>1</sup>,  
Юрий В. Пахомов<sup>1</sup>, Алексей Князев<sup>2</sup>

E-mail: [annarom@inasan.ru](mailto:annarom@inasan.ru)

На основе самосогласованного анализа спектров, полученных на телескопе SALT (South African Large Telescope) со спектрографом высокого разрешения HRS, и спектрофотометрических наблюдений определены фундаментальные параметры (эффективная температура, логарифм ускорения силы тяжести и радиус) с учетом индивидуального химического состава магнитной химически пекулярной звезды BM H $\gamma$ i (HD 10840), расположенной в южном полушарии. Содержание химических элементов определено в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТР) по спектрам в противоположных фазах вращения для 12-ти элементов от He до Cr. Картина химического состава типична для Ap-звезд: наблюдается дефицит He, избытки Si, Cr и Fe до 1.5 dex и избытки редкоземельных элементов (РЗЭ) на 4-5 dex по сравнению с солнечными значениями. Сравнение с известной звездой Пшибыльского, спектр которой состоит только из РЗЭ, а также с двумя другими более горячими звездами показало, что в настоящее время звезда HD 10840 является рекордсменом по содержанию РЗЭ.

Разница между содержанием химических элементов в двух фазах вращения достигает 1.0 dex, что указывает на наличие пятен на поверхности звезды. Неоднородность поверхности звезды дополнительно подтверждается сильной переменностью профилей спектральных линий (Si и РЗЭ) по пяти спектрам высокого разрешения в разных фазах вращения, полученным с телескопов SALT/HRS и VLT/UVES (Very Large Telescope/Ultraviolet and Visual Echelle Spectrograph).

Данная работа поддержана грантом РНФ №24-22-00237, <https://rscf.ru/en/project/24-22-00237/>

### Исследование проведено при поддержке:

1. “Российский научный фонд”, грант 24-22-00237

---

<sup>1</sup> Институт астрономии Российской академии наук

<sup>2</sup> Южно-Африканская астрономическая обсерватория, а/я 9, 7935, Обсерватория, Кейптаун, Южно-Африканская Республика

## Оптическая и ИК переменность ВН Сер

Р. В. Садыков<sup>1</sup>, А. Н. Ростопчина-Шаховская<sup>1</sup>, Д. Н. Шаховской<sup>1</sup>

E-mail: *krym-4@mail.ru*

ВН Сер (F5e) классифицируется разными авторами как звезда Ae/Be Хербига, звезда Т Тау раннего типа, или малоактивная звезда типа UX Ori. Мы использовали данные фото-поляриметрического UBVRI мониторинга в КрАО; оптическую фотометрию ASAS-SN, TESS; и ИК фотометрию NEOWISE для комплексного анализа переменности на временах от нескольких часов до десятков лет. В видимом диапазоне на коротких временах переменность соответствует классу «stochastic dipper» с характерными временами 0.5-10 дней без видимой периодичности. Похожая переменность наблюдается в среднем ИК диапазоне (3-4 мкм), однако без значимой корреляция с переменностью в видимом диапазоне. Эта ИК переменность хорошо описывается моделью переменного источника с постоянной температурой около 950 К, и, вероятно, вызвана запыленным дисковым ветром вблизи границы магнитосферы звезды. Анализ кривой блеска длительностью более 40 лет показал наличие очень долговременной переменности с характерным временем около 19 лет, причем на протяжении ряда ИК наблюдений NEOWISE длительностью 10 лет наблюдается синхронное понижение блеска в ИК и увеличение в видимом диапазонах. Анализ поляризационной переменности показывает нехарактерную для звезд типа UX Ori хаотическую переменность позиционного угла поляризации и слабую корреляцию степени поляризации с блеском. Анализ РЭС указывает на некоторую депрессию спектра около 10 мкм, что можно объяснить существованием пробела в диске на радиусе несколько а. е. Это позволяет интерпретировать 19-летнюю цикличность как связанную с этой структурной особенностью. Её связь с ИК переменностью на 3-4 мкм, вызванной горячей пылью, указывает на её влияние также и на процессы вблизи внутренней границы диска.

---

<sup>1</sup> КрАО РАН

# Система учета моделей околозвездных пылевых оболочек webMCRT

Борис С. Сафонов<sup>1</sup>, Дмитрий А. Крючковский<sup>2</sup>, Иван А. Страхов<sup>1</sup>

E-mail: [safonov@sai.msu.ru](mailto:safonov@sai.msu.ru)

Звезды на разных стадиях эволюции оказываются окружены газопылевыми оболочками. В окрестностях молодых звезд присутствуют остатки протозвездного облака, аккрецирующие на звезду, у звезд главной последовательности обнаруживают осколочные и экзозодиакальные диски, звезды на поздних стадиях эволюции сами являются источником запыленного ветра. Во всех этих случаях геометрические, физические и химические свойства оболочки могут быть исследованы с помощью ряда методов наблюдательной астрономии: фотометрия, в т. ч. анализ переменности, получение прямых изображений, спектроскопия, длинноволновая интерферометрия. Весьма эффективна также поляриметрия, которая может быть скомбинирована с любым из вышеперечисленных методов. Практика показывает что при построении модели какого-либо объекта целесообразно использовать различные методы, результат оказывается более надежным, а также полезным в смежных работах. При интерпретации наблюдений стандартом является моделирование переноса излучения методом Монте-Карло, см. например [1].

В этом сообщении мы описываем webMCRT — разрабатываемый нами веб-сервис для моделирования наблюдаемых проявлений пылевых оболочек звезд. Элементы его функциональности включают: формулировка задач моделирования, удаленное и распределенное выполнение задач моделирования, хранение наблюдений, отображение результатов моделирования и их сравнение с наблюдениями. Управление осуществляется через веб-интерфейс. Для вычислений мы используем существующие коды расчета оптических свойств пыли `optool` [2] и переноса излучения методом Монте-Карло `RADMC3D` [1]. webMCRT обеспечивает совместную работу нескольких пользователей. Основным назначением сервиса является интерпретация наблюдений — поиск модели (или их семейства), удовлетворительно объясняющей наблюдаемые свойства некоторого объекта. Однако система также может быть рассмотрена как архив разнородных наблюдений и репозиторий моделей. Возможно также и педагогическое применение, с помощью webMCRT студенты учатся использовать инструменты моделирования пылевых оболочек. Сервис доступен по адресу [circum.sai.msu.ru](http://circum.sai.msu.ru).

[1] Dominik, C., Min, M., & Tazaki, R. (2021) [ascl:2104.010](https://arxiv.org/abs/2104.010).

[2] Dullemond, C. P., Juhasz, A., Pohl, A., et al (2012) [ascl:1202.015](https://arxiv.org/abs/1202.015).

---

<sup>1</sup> Государственный Астрономический Институт им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия

<sup>2</sup> Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, Россия