

Всероссийская конференция с международным участием
«Физика звёзд: теория и наблюдения»
Москва, ГАИШ МГУ, 26-30 июня 2023 г.

Абстракты устных докладов по направлениям

Прогресс в методах наблюдательной астрофизики (2)

ID = 081 (приглашённый)

Наблюдательные средства наземной астрономии в задачах звездной астрофизики - современное состояние и перспективы.

В.В.Власюк(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Н.Архыз, Россия

Представлен обзор наблюдательных возможностей, представляемых заявителям на оптических телескопах России и мира, применяющихся для решения задач звездной астрофизики - спектрографов различных типов, мультиобъектных и панорамных систем. Обсуждаются их характеристики, преимущества и недостатки. Также в докладе описан ряд реализуемых в настоящее время проектов. Отмечен ряд проблем с изготовлением основных узлов и и компонентов, возникающих при их выполнении, с которыми сталкиваются разработчики в нашей стране.

ID = 110

Исследования звёзд в ультрафиолете и перспективы проекта «Спектр-УФ».

Сачков М.Е.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Рассматриваются примеры астрофизических задач, для которых наблюдения звёзд в УФ принципиально важны. Среди основных отмечаются задачи исследования радиальных пульсаций звёзд (классические Цефеиды, звезды типа RR Lyr), исследования областей звездообразования (звезды типа T Tau), исследования химически-пекулярных звёзд, субкарликам спектральных классов O и B, белых карликов. УФ-данные, полученные с помощью орбитальных инструментов спутников IUE, GALEX, HST и др., позволяют исследовать структуру звездных атмосфер, химический состав, физические процессы, происходящие в атмосферах звёзд. Рассматриваются перспективы готовящегося к запуску проекта «СПЕКТР-УФ» («Всемирная космическая обсерватория – Ультрафиолет», ВКО-УФ) – космической обсерватории для проведения наблюдений в вакуумном и ближнем УФ-диапазонах электромагнитного спектра 115–310 нм.

Фундаментальные параметры звёзд (9)

ID = 043 (приглашённый)

Физические свойства молодых звезд малых масс с протопланетными дисками и без них.

Гранкин К.Н.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Республика Крым

Знание надежных физических параметров молодых звезд позволяет проверить и ограничить различные модели начальной звездной эволюции и понять, как формируются и эволюционируют звезды, протопланетные диски и сами планеты в течение первых десятков миллионов лет. На примере представительной выборки молодых звезд из области звездообразования (O3) Тельца-Возничего обсуждены методики определения надежных значений светимости, радиуса, массы и возраста звезд с протопланетными дисками и без них. Дан краткий обзор наиболее часто используемых моделей начальной звездной эволюции

(наборов эволюционных треков и изохрон). Обозначены основные источники ошибок вычисления звездной светимости, ключевого параметра для определения других фундаментальных свойств звезды: радиуса, массы и возраста. Обсуждена оригинальная методика определения надежных значений межзвездной экстинкции с использованием длительных многоцветных фотометрических данных. Определены надежные значения основных физических параметров более девяти десятков молодых звезд из ОЗ Тельца-Возничего с использованием последних данных Gaia DR3 о расстояниях до этих объектов. Выполнено сравнение свойств 32 звезд с аккреционными дисками и 36 звезд без таких дисков с возрастом от 1 до 10 млн лет. Показано, что светимости и радиусы звезд с аккреционными дисками в среднем несколько больше, чем аналогичные параметры звезд без дисков, что согласуется с эволюционным статусом этих двух подгрупп молодых объектов. Обсуждены зависимости светимости, радиуса и возраста от массы молодых звезд. В случае звезд малой массы ($0.3 - 0.9 M_{\text{sun}}$) средний возраст звезд без дисков (~2.6 млн лет) хорошо согласуется со средней длительностью фазы аккреции вещества протопланетного диска на звезду (~2.3 млн лет). При этом, средний возраст молодых звезд с аккреционными дисками (~1.9 млн лет) в среднем на 0.7 млн лет меньше, чем возраст звезд без дисков. Таким образом, стадия рассеивания протопланетных дисков в ОЗ Тельца-Возничего очень короткая, что не противоречит теоретическим оценкам времени диссипации первичного диска после прекращения фазы аккреции (< 0.5 млн лет).

ID = 098 (тематический)

Использование фотометрических методов и данных Gaia для определения фундаментальных параметров звезд классов K-F.

Пахомов Ю.В.

Институт астрономии РАН, Москва

Наблюдаемое распределение энергии в спектре (SED) звезды определяется ее эффективной температурой (T_{eff}), ускорением силы тяжести ($\log g$), металличностью $[\text{Fe}/\text{H}]$, угловым диаметром, а также поглощением света $E(\text{B}-\text{V})$ в межзвездной среде. Первый и последний факторы являются определяющими для формы SED, а $\log g$ и $[\text{Fe}/\text{H}]$ влияют не так значительно, угловой диаметр - это лишь масштабный фактор. Сервис VizieR Photometry viewer (<http://vizier.cds.unistra.fr/vizier/sed>) дает возможность построить SED на основе опубликованных фотометрических данных. Используя ИК диапазон, где мало поглощение света в межзвездной среде и влияние неопределенностей параметров звезд, можно оценить угловой диаметр. При наличии параллакса из проекта Gaia получаем хорошую оценку линейного радиуса, который совместно с предварительным значением T_{eff} дает оценку массы звезды из эволюционных треков, а затем и значение $\log g$. При фиксированных значениях $[\text{Fe}/\text{H}]$ и $E(\text{B}-\text{V})$, определяемом из карт поглощения, по наблюдаемому SED оценивается T_{eff} . Для этого используются теоретические SED, вычисленные на основе моделей MARCS для холодных звезд с температурой до 8000 К. Затем все значения итеративно уточняются. Метод работает как для звезд скоплений и карликовых галактик ($E(\text{B}-\text{V})$ известно), так и для одиночных звезд (точность, конечно, зависит от точности $E(\text{B}-\text{V})$). В работе приводится сравнение результатов определения звездных параметров.

ID = 015

Итоги исследований предкатаклизмических переменных с sdB-субкарликами

Дёмина Н.Р. (1), Шиманский В.В. (2, 1)

(1) Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

(2) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Изучены условия формирования и предложены методы модельного анализа оптического излучения, определены и обобщены наборы фундаментальных параметров с анализом их

общих особенностей для большой группы молодых предкатаклизмических переменных (ПП) с sdB-субкарликами. С применением целевых наблюдений на телескопах БТА САО РАН, Цейсс-1000 САО РАН и РТТ-150 и разработанных нами методов моделирования исследовано оптическое излучение 4 ПП. В работе исследованы фундаментальные параметры четырех ПП с sdB-субкарликами: V1828 Aql, Lan30, SDSS J162256 и HS2231+2441. Проведен модельный анализ оптического излучения данных тесных двойных систем (ТДС) и найдены наборы их параметров. Исследована эффективность моделирования кривой лучевых скоростей для определения масс компонент. Оценена возможность нахождения параметров для незатменных систем. Изучена однородность параметров, получаемых с разными методиками моделирования излучения. Показана эффективность исследования наблюдений на средних телескопах. Построены фундаментальные зависимости для вторичных компонент. Показано, что для них имеется систематический избыток радиуса по сравнению со звездами Главной последовательности (ГП). Представляемая работа на данный момент является наиболее полным исследованием систем с sdB-субкарликами.

ID = 016

Фундаментальные параметры систем типа SU UMa и WZ Sge

Дудник А.А.(1), Шиманский В.В.(2)

(1) Казанский федеральный университет, Казань, Россия

(2) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

В работе представлены параметры большой группы катаклизмических переменных типов SU UMa и WZ Sge полученные при численном моделировании их оптических спектров. Спектроскопические наблюдения выполнялись на БТА в САО при нахождении систем в спокойном состоянии с оптически тонким аккреционным диском и доминированием излучения белого карлика. Первоначальная обработка спектров выполнялась с помощью программного комплекса в IDL. Моделирование спектров выполнялось с использованием заранее рассчитанными моделями атмосфер белых карликов с $T_{\text{eff}} = 10000-90000$ К и силой тяжести $\log g = 6.75-9.25$. Параметры атмосфер белых карликов во всех системах определялись методом автоматического согласования теоретических и наблюдаемых спектров образом с применением количественных критериев. Фундаментальные параметры главных и вторичных компонент а так же систем в целом найдены итерационным способом с привлечением теоретических моделей строения белых карликов и звезд Главной Последовательности.

ID = 021

Межзвездный титан как индикатор расстояния в Галактике

Г.А. Галазутдинов (КРАО РАН, САО РАН), Т.А. Santander (Universidad Catolica del Norte, Chile), Бабина Е.В. (КРАО РАН), J. Krelowski (University of Rzeszow, Poland)

Эквивалентные ширины межзвездных линий поглощения TiII 3383.759 Å, измеренные для ~250 покрасневших звезд, показали хорошую корреляцию с расстояниями до звезд фона, оцененными по параллаксам GAIA DR3. Для очень ярких объектов, недоступных для GAIA, использовались тригонометрические параллаксы Hipparcos. Методика оценки расстояния на основе TiII аналогична хорошо известному CaII-методу (Megier et al. 2009, 2005). Однако у TiII есть как минимум 3 преимущества: в отличие от межзвездных линий CaII H и K, блендирование TiII со звездными линиями не является проблемой даже для поздних В-звезд; TiII в гораздо меньшей степени подвержен влиянию эффекта насыщения; измеряется только одна линия, а не две, т. е. необходимо учитывать только одну погрешность измерения. Связь между эквивалентной шириной TiII и расстоянием определяется простым уравнением $d \sim 30 * EW$, где d — расстояние в пк, а EW — эквивалентная ширина линии TiII 3383.759 Å в mÅ.

ID = 034

Независимая проверка оценок эффективной температуры в каталоге Gaia DR3.

Авдеева А.С.(1), Ковалева Д.А.(1), Малков О.Ю.(1)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Новый релиз данных Gaia, вышедший в свет в середине 2022 года, содержит фундаментальные астрофизические параметры (эффективная температура, ускорение свободного падения на поверхности звезды и металличность) для 470 миллионов объектов по всему небу. Эти параметры предоставляют возможность для исследования звезд, звездных групп и межзвездной среды с беспрецедентным количеством данных. Указанные параметры, однако, получены с помощью спектроскопии низкого разрешения (BP/RP спектрометры, $R \sim 50$). Более того, указанные астрофизические параметры, а также поглощение A_0 , подбираются в совокупности для получения самосогласованного решения. Таким образом, значения температуры могут быть отягощены систематическими ошибками. В данной работе мы исследуем распределение покраснения с расстоянием в выделенных площадках неба, используя температуры Gaia DR3 для вычисления собственного показателя цвета BP-RP, а также сравниваем температуры Gaia DR3 с температурами из других независимых источников. Это позволяет независимым образом оценить надежность значений эффективной температуры в зависимости от характеристик источников Gaia.

ID = 059

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СТАТУС МАГНИТНОЙ ЗВЕЗДЫ ϵ UMa.

С. Г. Алиев, В. М. Халилов, З. М. Алышова

Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им. Н.Туси, Баку, Азербайджан

На базе комплексных наблюдений определены фазы соответствующие максимально пекулярной (P) и относительно нормальной области (N) на поверхности звезды ϵ UMa = HD112185, с учетом спектральных и иных переменностей (эффекта пекулярности). Выявлено, что все фазовые зависимости магнитного поля (B_e), блеска (V) и эквивалентных ширин (W_λ) линий пекулярных элементов (Si, Cr, Sr и др.) носят синхронный характер; то есть экстремумы величин B_e , V и W_λ в пределах ошибки ($\phi = \pm 0, 05$) совпадают. По профилям линий водорода (H γ , H δ) были определены фундаментальные параметры (T_{eff} и $\log g$) для относительно нормальной ($T_{\text{eff}} = 9400 \pm 250$, $\log g = 3.75 \pm 0.15$) и наиболее пекулярной ($T_{\text{eff}} = 10500 \pm 250$, $\log g = 3.90 \pm 0.15$) области на поверхности звезды. По найденным эффективным температурам ($T_{\text{eff}}(P) = 10500$ и $T_{\text{eff}}(N) = 9400$) с помощью стандартных соотношений были вычислены радиусы ($R(N) = 3.07$, $R(P) = 3.55$). Найдены спектральные индексы пекулярности для CrII, SrII, EuII, которые характеризуют степень аномалии химического состава звезды ϵ UMa. Оценки масса звезды ϵ UMa и ее светимости были найдены с помощью стандартных соотношений. Определены абсолютная звездная величина $M_V = -0, 225 \pm 0, 05$ и светимость $\log(L/L_{\text{sun}}) = 2.01 \pm 0.03$. Установлено положение звезды ϵ UMa на диаграмме Герцшпрунга - Рассела и тем самым определен ее эволюционный статус. Получено, что звезда HD112185 расположена ближе к верхней границе (ТАМС) полосы ГП, где расположены проэволюционировавшие магнитные звезды.

ID = 061

Спектроскопические и астрофизические параметры звезд в Gaia DR3: независимый тест с каталогом широких пар звезд,

Ковалева Дана Александровна,

ИНАСАН

Каталог широких двойных звезд El-Badry et al. (2021), созданный на основании данных Gaia EDR3 и включающий более миллиона пар, использован для тестирования спектроскопических и астрофизических характеристик звезд, опубликованных в рамках Gaia DR3. Сравнение независимо определенных в рамках каталога Gaia DR3 характеристик компонентов одной пары позволило исследовать, насколько связана вероятность неслучайного объединения компонентов с близостью их характеристик. Высокая степень связи степени согласия характеристик с надежностью пары обнаружена для лучевых скоростей. Качественное согласие наблюдается для оценок металличностей $[Fe/H]$ и, в меньшей степени, для оценок поглощения A_G . Для возрастов звезд согласие не обнаружено, что говорит о большой неопределенности этой величины. С использованием параметров компонентов пар из Gaia DR3 выполнена независимая оценка неопределенностей значений лучевых скоростей и металличностей в зависимости от видимой звездной величины G источников. Предложены оценки вероятных медианных значений ошибок лучевых скоростей и металличностей источников Gaia DR3. В зависимости от видимой звездной величины они превышают медианные значения ошибок, приведенных в каталоге: для лучевых скоростей в 1.5 – 3 раза, для металличностей $[Fe/H]$ в 7–25 раз.

ID = 088

О применении калибровочных соотношений для звезд ГП к другим классам светимости

Малков О.Ю.(1), Ковалева Д.А.(1), Авдеева А.С.(1,2)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

(2) Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики", Москва, Россия

Третий релиз данных миссии Gaia является самым большим всенебесным однородным источником астрометрических, фотометрических и спектроскопических данных. Для полноценного использования этих данных требуются калибровочные соотношения между различными параметрами. Так, например, для оценки величины межзвездного поглощения желательно иметь представление о собственном показателе цвета звезды (связанном с эффективной температурой), а применение этого и других фундаментальных соотношений (известных, преимущественно, только для звезд главной последовательности) требует информации о классе светимости объекта. В работе обсуждаются (i) возможность применения калибровочных соотношений, созданных для звезд главной последовательности, к звездам других классов светимости и (ii) особенности выделения (в частности, среди объектов Gaia) звезд главной последовательности по значениям их атмосферных параметров.

Атмосферы звёзд: наблюдения и моделирование (10)

ID = 052 (приглашённый)

Химически пекулярные Ar/Vr звёзды на ранних стадиях эволюции.

Потравнов И.С.(1)

(1) Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

Среди звёзд с аномалиями поверхностного химического состава магнитные Ar/Vr звёзды демонстрируют наиболее сильные отклонения содержания большинства элементов от солнечных. Распределение содержаний, наблюдаемое в атмосферах Ar/Vr звёзд, находит объяснение в рамках механизма селективной диффузии. Эффективная диффузия, в свою очередь, требует высокой степени стабилизации атмосферы, которая по современным представлениям может быть достигнута во время нахождения звезды на Главной Последовательности. Тем не менее, рост наблюдательной статистики показывает, что аномалии химического состава Ar/Vr типа могут проявляться также и на самых ранних фазах эволюции звёзд. Изучение молодых химически пекулярных звёзд позволяет глубже

понять механизмы и временные шкалы образования поверхностных аномалий химического состава, а также такие фундаментальные аспекты физики звёзд как эволюция углового момента и роль магнитных полей в стабилизации атмосферы. В докладе будет представлен обзор современных данных наблюдений о проявлениях пекулярности Ар/Вр типа на ранних стадиях эволюции. Обсуждаются возможные механизмы и специальные условия, приводящие к эффективной вертикальной сепарации элементов на стадии до Главной Последовательности.

При поддержке гранта РФФ №21-72-00022.

ID = 069 (тематический)

Не-ЛТР исследования химического состава звёзд классов К-F

Коротин Сергей Анатольевич,

КрАО РАН

Использование не-ЛТР подхода к определению содержания химических элементов позволяет избежать ошибок из-за упрощающего предположения о локальном термодинамическом равновесии. При этом удается использовать значительно более широкий набор спектральных линий исследуемого элемента, повышается точность и надежность результата. Применение неЛТР-анализа позволяет получать надежные оценки обилия таких ключевых элементов эволюции звезд, как углерод, азот и кислород. Для всех этих элементов характерно, что их спектральные линии имеют очень различные величины неЛТР-поправок. Например, линии кислорода 6300 и 6363 Å практически не испытывают влияния неЛТР-эффектов, в то время, как для ИК-триплета 7771-7775 можно использовать только неЛТР-расчеты, так как отклонения могут достигать 1 dex. Все линии C-N-O в ближней ИК-области значительно усилены из-за неЛТР-эффектов. При детальном расчете достигается хорошее описание синтетическим спектром всех наблюдаемых линий используя близкие значения содержания элемента. Приведены примеры использования полученных неЛТР оценок содержания C-N-O для определения эволюционного статуса звезд разных спектральных типов. Приведено сравнение ЛТР и неЛТР подхода к определению содержания меди у звезд с дефицитом металлов. Показано, что учет эффектов отклонения от ЛТР позволяет согласовать содержание меди, полученное по линиям Cu I и Cu II; уменьшить аномальный дефицит меди у звезд пониженной металличности. НеЛТР-эффекты могут оказывать значительное влияние на слабые спектральные линии, образующиеся в глубине фотосферы. Анализ влияния неЛТР-эффектов на резонансные линии Rb I показал, что применение классического подхода приводит к завышению содержания рубидия на Солнце на 0.12 dex. В целом же для резонансных линий рубидия неЛТР-поправки могут изменяться от 0 до 0.3 dex. При этом величина неЛТР-поправок сильно зависит от метода учета ударных взаимодействий с атомами водорода. Показано, что созданная модель атома бериллия для неЛТР-расчетов позволила устранить расхождение между содержанием бериллия в атмосфере Солнца $A(\text{Be})_{\text{NLTE}} = 1.32$ и получаемое при исследовании метеоритов - $A(\text{Be}) = 1.31$. ЛТР-подход дает содержание бериллия на 0.07 dex больше.

ID = 009

Рентгеновское излучение звезд типа γ Cas в разных состояниях их звездных дисков
Рыспаева Е. Б. (1), Холтыгин А. Ф. (2)

(1) Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

(2) Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

К загадочному подклассу звезд типа γ Cas относятся Ве-звезды с аномально высокой температурой плазмы, излучающей в рентгеновском диапазоне, равной 5-10 кэВ и даже более, если считать это излучение полностью тепловым. Рентгеновское излучение аналогов γ Cas может образовываться либо в результате взаимодействия декреционного диска с

магнитным полем звезды, либо исходить от невидимого вырожденного компонента. Нельзя исключать и возможность нетеплового рентгеновского излучения этих звезд в результате обратного комптоновского рассеяния излучения звезды на релятивистских электронах. Рентгеновские наблюдения звезд типа γ Cas, выполненные в разные годы, показали, что эти объекты характеризуются периодами сильного и слабого рентгеновского излучения. Подобные вариации могут быть связаны с изменениями в звездных дисках. В данной работе проанализированы рентгеновские наблюдения четырех звезд – аналогов γ Cas, выполненные на спутниках «XMM-Newton» и «Chandra» в разные фазы интенсивности их рентгеновского излучения. Моделирование рентгеновских спектров показало, что температура излучающей плазмы и спектральный индекс возможной нетепловой компоненты излучения существенно не изменяются при переходе из одного состояния звезды в другое. Сделано предположение о том, что и тепловое, и возможное нетепловое рентгеновское излучение аналогов γ Cas должно формироваться близко к поверхности звезды или/и вырожденного спутника, а уменьшение интенсивности излучения обусловлено изменением ориентации диска или орбитальной фазы спутника относительно наблюдателя.

ID = 019

Обнаружение первой звезды подкласса CEMP-r/s в балдже Галактики
Машонкина Л.(1), Арентсен А.(2), Агуадо Д.(3), Смогоржевский А.(1,4)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

(2) Институт астрономии, университет Кембриджа, Великобритания

(3) Канарский Институт астрофизики, Испания

(4) МГУ им. М.В. Ломоносова, ГАИШ

Полагают, что звёзды с большим дефицитом металлов (VMP , $[Fe/H] < -2$) в балдже является старейшими в Галактике и изучение их химического состава может дать информацию о первых звёздах и начальном химическом обогащении галактического вещества. Спектры высокого разрешения получены лишь для очень небольшого числа таких звёзд. В докладе представлены результаты определения по спектру UVES/VLT параметров атмосферы и химического состава звезды Pr184237, идентифицированной в обзоре PIGS (Pristine Inner Galaxy Survey) как CEMP (carbon-enhanced metal-poor) звезда. Расчёт орбиты по данным Gaia показал максимальное удаление от центра Галактики 2.6 кpc. Обнаружены изменения лучевой скорости. Звезда является гигантом ($T_{eff} = 5100$ K, $\log g = 2.0$, $[Fe/H] = -2.60$), но ещё не прошедшим стадию выноса продуктов нуклеосинтеза из ядра. Параметры атмосферы и содержание 13 элементов от Na до Pb определены без использования предположения ЛТР. Всего, содержание получено для 32 элементов, в том числе, для 15 тяжёлых элементов (от Sr до Pb). Относительное содержание элементов в диапазоне Na-Zn - типично для звёзд Галактического гало. Подтверждён большой избыток углерода - $[C/Fe] = 1.8$. Впервые у звезды в балдже Галактики определено отношение содержания изотопов углерода, и оно оказалось низким - $(^{12}C)/(^{13}C) = 7$, указывая на загрязнение веществом, произведённым более массивным компаньоном на его стадии AGB и перенесённым на поверхность звезды Pr184237. Обнаружены большие избытки N, O и тяжёлых элементов, синтезируемых как в s-, так и в r-процессе. На основании полученных данных звезда классифицирована как CEMP-r/s. Это первая звезда подкласса CEMP-r/s, идентифицированная в балдже Галактики. Проведено сравнение с моделями s- и i-процесса и показано, что наблюдаемое распределение содержания тяжёлых элементов можно объяснить загрязнением продуктами нуклеосинтеза в i-процессе, который действовал на стадии AGB у звезды с $[Fe/H] \sim -3.0$ и начальной массой 1.0-2.0 солнечных.

ID = 025

Анализ химического состава в атмосферах медленно вращающихся A звезд

Романовская А.М.(1), Рябчикова Т.А.(1), Пахомов Ю.В.(1), Коротин С.А.(2), Машонкина Л.И.(1), Ситнова Т.М.(1)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

(2) Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, Республика Крым

Мы представляем химический состав и фундаментальные параметры (T_{eff} , $\log g$, R/R_{sun}) для А звезд γ Gem (HD 41705), α Peg (HD 214994), θ Vir (HD 114330) и ν Cap (HD 193432). Наш анализ основан на самосогласованном анализе спектров высокого разрешения и спектрофотометрических наблюдений в широком диапазоне длин волн. Анализ содержаний 26-ти химических элементов от He до La проводился, в основном, в условии отказа от термодинамического равновесия (не-ЛТР, 17 элементов), а для остальных 9-ти элементов использовался ЛТР подход. Содержание элементов до Fe в атмосферах γ Gem и ν Cap соответствует солнечной металличности, а для элементов нейтронных захватов наблюдается повышенное содержание относительно солнечных значений, что уже было отмечено для нормальных звезд в работе Mashonkina et al (2020). α Peg и θ Vir показывают увеличенное содержание элементов железного пика, а также избыток элементов нейтронного захвата больше чем у нормальных звезд, что позволяет классифицировать их как Am звезды, однако не выполняется классический классификационный критерий, принятый для Am звезд - дефицит Ca и Sc. Обсуждается зависимость избытка содержания элементов нейтронных захватов от температуры в атмосферах нормальных А звезд.

ID = 027 (дистанционно)

Содержание лития и изотопное отношение $\text{Li}7/\text{Li}6$ у старых звёзд с высоким содержанием лития.

Ситнова Т.М.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

В работе представлен новый метод определения содержания лития и изотопного отношения $\text{Li}7/\text{Li}6$, основанный на анализе резонансной линии $\text{Li I } 6707 \text{ \AA}$ и субординатной линии $\text{Li I } 6103 \text{ \AA}$. Профили линий рассчитаны с учётом отклонений от локального термодинамического равновесия, а также с применением гидродинамических поправок (3D), основанных на литературных данных. Метод протестирован на выборке звёзд с дефицитом металлов с нормальным содержанием лития, линии которых не чувствительны к принятому изотопному отношению. Для 22 звёзд получено, что в не-ЛТР обе линии дают одинаковое содержание. В ЛТР содержание по резонансной линии в среднем на 0.09 ± 0.06 больше, чем по субординатной. Применение метода к звёздам с высоким содержанием лития показало, что в них есть и редкий изотоп $\text{Li}6$, который по современным представлениям не может образоваться в результате эволюции звёзд. Причины этого противоречия пока не выяснены.

ID = 044

Моделирование спектров суммарного излучения внегалактических шаровых скоплений.

Маричева М.И.(1), Шарина М.Е.(1), Шиманский В.В.(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Мы представляем результаты моделирования спектров суммарного излучения шаровых скоплений в соседней гигантской спиральной галактике M31 и ее спутниках с целью определения возраста и химсостава скоплений по результатам наблюдений на БТА. Основы методики анализа спектров изложены в работе Шариной и соавторов 2020 года. Расчет синтетических спектров скоплений выполняется с использованием моделей звездных атмосфер на основе ATLAS 9, изохрон звездной эволюции и функции масс звезд. Метод опирается на изучение вклада звезд горизонтальной ветви в спектры скоплений.

Исследуемые шаровые скопления находятся на расстоянии порядка 1 Мпк от нас. Их изучение с использованием спектроскопии высокого разрешения в широком диапазоне длин

волн на крупнейших телескопах мира требует значительного наблюдательного времени. Анализ спектров низкого разрешения ($R \sim 1000$), выполняемый нами, позволяет решать задачи более эффективно. Мы определили для скоплений возрасты старше 10 млрд. лет. Диапазон по металличности исследуемых объектов велик: $[Fe/H]$ от -2.8 dex до -0.7 dex. Мы сравниваем полученные данные с таковыми у шаровых скоплений и звезд нашей Галактики, а также с имеющимися в литературе для некоторых объектов выборки. Наша работа вносит вклад в изучение процессов эволюции и обогащения химическими элементами галактики M31 и ее спутников.

ID = 051

Оптические спектры и классификация ИК-источников в областях звездообразования.

Магакян Т.Ю. (1), Мовсисян Т.А. (1), Андреасян А.Р. (1), Моисеев А.В. (2)

(1) Бюраканская астрофизическая обсерватория НАН РА, Армения

(2) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Карачаево-Черкесия, Россия

В ходе проведения обзора по поиску новых потоков Хербига-Аро в ряде областей звездообразования были обнаружены ИК-объекты, являющиеся источниками коллимированных истечений и наблюдаемые также и в оптическом диапазоне. Для уточнения их природы мы провели их длиннощелевую спектроскопию на 6-м телескопе САО РАН. Предварительные результаты наблюдений 15 объектов позволили разделить их на три группы: 1) объекты с континуальным спектром без заметных деталей, с узкой эмиссией $H\alpha$; 2) объекты с сильной эмиссией $H\alpha$ и интенсивными запрещенными линиями ударного возбуждения; 3) звезды с развитым эмиссионным спектром, не типичным для звезд типа Т Тау, а также фуороподобные объекты. Только два объекта могут рассматриваться как предположительные WTTS (звезды типа Т Тау со слабыми линиями).

ID = 058

Данные о неупругих процессах при столкновениях с водородом: последние достижения и проблемы

Яковлева С.А.(1), Беляев А.К.(1)

РГПУ им. А.И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

В рамках подхода Борна-Оппенгеймера предложено несколько различных модельных подходов для исследований низкоэнергетических столкновительных процессов. Проведены расчеты констант скоростей неупругих процессов, происходящих при столкновениях атомов и положительных ионов различных химических элементов, таких как Zn, Ni, В, Y, Cr, с атомами и отрицательными ионами водорода. Применение того или иного модельного подхода, включение в рассмотрение конкретных атомных состояний, возможность учета тонкой структуры атома - все это определяется электронными конфигурациями рассматриваемых состояний и индивидуально для каждой столкновительной системы.

ID = 086

Все что вы хотели знать о методах расчетов атомных данных при столкновениях с водородом для моделирования атмосфер звезд.

А. К. Беляев (1), Я. В. Воронов (1).

(1) Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

За последние 10 лет произошел значительный прогресс в исследованиях неупругих процессов при столкновениях атомов и ионов различных химических элементов с атомами и анионами водорода. Существенно увеличилось число исследуемых процессов, значительно возросла точность расчетов, достигнуто понимание основных механизмов процессов, а следовательно, понимание того, какие процессы наиболее важны и почему. Определены

основные направления дальнейших исследований. В докладе будет дан обзор методов с оценками точности расчетов атомных данных о неупругих процессах, происходящих при атомных и ионных столкновениях различных химических элементов с атомами и ионами водорода, т.е. данные, которые являлись камнем преткновения в NLTE моделировании атмосфер звезд и форм спектров 10 лет назад. Будут представлены дальнейшие перспективы развития теории столкновения, особенно, в направлении генерации атомных данных, востребованных в физике звезд.

Работа поддержана грантом РФФИ 22-23-01181.

Магнитные поля звезд (4)

ID = 005 (приглашённый)

Магнитные поля звезд: взгляд со стороны физики Солнца

Соколов Д.Д. (1, 2)

(1) МГУ, Москва, Россия

(2) ИЗМИРАН, Москва, Россия

В докладе рассматриваются современные сведения о магнитных полях звезд, их конфигурации, временной эволюции и происхождении с точки зрения человека, интересующегося прежде всего магнитными полями Солнца и постепенно расширяющего круг своих интересов к звездам солнечного типа, другим типам звезд и только потом обращающегося, скажем, к нейтронным звездам.

ID = 096 (тематический)

Наблюдения магнитных полей ОВА звезд в САО РАН

Якунин И.А.(1), Романюк И.И.(1), Семенко Е.А.(1), Моисеева А.В.(1), Кудрявцев Д.О.(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

Основной звездный спектрограф (ОЗСП) телескопа БТА, расположенный стационарно в фокусе Нэсмита, уже несколько десятков лет используется для измерения магнитных полей звезд на различных стадиях эволюции. Текущая конфигурация прибора позволяет получать однопорядковые циркулярно-поляризованные спектры с разрешением $R = 14000$ и шириной 500 \AA объектов до 12 зв. величины. Подавляющее большинство выделяемого наблюдательного времени используется для изучения наблюдательных проявлений химически пекулярных звезд. В докладе представлены результаты спектрополяриметрических исследований звезд, выполняемых на 6-м телескопе с ОЗСП. Дано краткое описание текущего состояния прибора, представлены основные программы, выполняемые на нем, обсуждаются последние полученные результаты.

ID = 45

ДОКАЗАТЕЛЬСТВА РЕЛИКТОВОЙ ПРИРОДЫ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД.

И.И. Романюк, Е.А. Семенко, И.А. Якунин, А.В. Моисеева, Д.О. Кудрявцев, В.Н. Аитов
САО РАН

В результате многолетних спектрополяриметрических исследований большой выборки (более 100 объектов) магнитных химически пекулярных звезд на 6м телескопе получены прямые доказательства реликтовой природы магнитных полей этих объектов. Наблюдались звезды разного возраста. В ассоциации молодых звезд Орион OB1 измерены магнитные поля 56 объектов. Найдено, что доля магнитных звезд и величина магнитных полей объектов с возрастом 1-2 млн лет в три раза больше (среднеквадратическое продольное поле в среднем 3 кГс), чем для объектов с возрастом 8-10 млн лет (в среднем 1 кГс). Мы исследовали более 50 магнитных звезд в пяти более старых рассеянных скоплениях (с возрастом от нескольких

десятков до нескольких сотен млн лет). Только в одном объекте было измерено продольное поле более 2 кГс и еще в двух - более 1 кГс. А в целом - менее 500 Гс в среднем. Достоверно показано, что магнитное поле звезд в молодых скоплениях больше, чем в старых. Мы считаем, что очень сильное поле в Орионе и быстрое его уменьшение с возрастом вызваны не быстрым распадом поля, а особыми условиями, которые имели место в разных частях в ассоциации в Орионе. Получены доказательства того, что очень сильные поля - это короткоживущая стадия при формировании звезды. Таким сильных полей, как в Орионе не найдено в других скоплениях. Сравнение с картами скопления Орион OB1, полученными на спутнике Планк, показывает хорошее согласие этих данных с нашими результатами по магнитным полям.

ID = 089

Магнитные поля ВНВ звезд. Индексы Копылова как индикаторы магнитного поля.

Мокшин Д. Н. (1), Якунин И. А. (2), Холтыгин А. Ф. (1)

Санкт-Петербургский Государственный Университет, Санкт-Петербург, Россия

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Одной из важнейших проблем астрофизики остается вопрос о влиянии магнитных полей на звездную эволюцию. Наиболее точную и надежную информацию о взаимном влиянии поля и процессов в звездных атмосферах на эволюцию звезд, можно получить из анализа классических химически пекулярных (СР) звезд, значительная часть которых обладает магнитным полем. Для упрощения поиска магнитных звезд и предварительной оценки их магнитных полей часто используются индикаторы магнитного поля, которые можно оценить из фотометрических данных, которые получить существенно легче. В настоящем исследовании впервые проанализированы индексы пекулярности Копылова как индикаторы магнитного поля для двух СР звезд: КИС 6065699 и КИС 10324412. Определены фундаментальные параметры и измерены магнитные поля этих звезд, первая из которых оказалась магнитной, а у второй магнитное поле не было обнаружено. Для них был вычислен коэффициенты корреляции R между значениями продольного магнитного поля B_l и индексами пекулярности для различных фаз вращения. Получены значения R , равные 0.19, 0.13 для КИС 6065699 и КИС 10324412 соответственно при уровнях значимости 0.29 и 0.36. Малость значений коэффициентов корреляции показывает, что индексы пекулярности Копылова не являются надежным индикатором наличия у звезды магнитного поля. Потомками магнитных химически пекулярных СР звезд считаются ВНВ (Blue Horizontal Branch - ВНВ) звезды. Нами были проанализированы спектрополяриметрические наблюдения группы из 6-ти звезд этого типа, магнитное поле которых до сих пор не было обнаружено. У двух звезд нашей выборки, а именно у BD +25 2602 и HD 128801 измеренные значения продольного магнитного поля B_l более чем в три раза превышают ошибки их измерений: -289 ± 68 Гс и 345 ± 62 Гс, соответственно, что свидетельствует в пользу наличия у них глобального магнитного поля.

Вспышечная активность звёзд (6)

ID = 063 (приглашённый)

Мощные звёздные вспышки

Кацова М.М.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Впервые вспышка на непекулярной (нормальной) звезде была обнаружена Э.Герцшпрунгом почти 100 лет назад. С тех пор благодаря развитию астрофизических методов и международной кооперации наблюдателей сформировались представления о

нестационарных явлениях на звёздах нижней части главной последовательности. Полная современная картина этих процессов тщательно изложена в монографическом издании Р.Е.Гершберга, Н.И.Клиорина, Л.А.Пустильника и А.А.Шляпникова (2020) «Физика звёзд средних и малых масс с активностью солнечного типа». В представленном докладе обсуждаются современные наземные наблюдения и результаты космических миссий, в результате которых на таких звёздах обнаружены очень мощные вспышечные явления, на несколько порядков превышающие наиболее сильные вспышки на Солнце. Рассматриваются базовые характеристики мощных вспышек, такие как временное поведение, энергетика, частота появления, а также запятнённость звёзд и их магнитная активность в зависимости от возраста. Показано, что, если учесть методические различия, то наблюдательные данные об энергии солнечных и звёздных вспышек можно описать единой моделью зависимости от запятнённости. (M. M.Katsova, V.N.Obridko, D.D.Sokoloff, and I.M.Livshits (2022) «Solar and Stellar Flares: Frequency, Active Regions, and Stellar Dynamo; ApJ, 936:49 (9pp)). Таким образом, проблема происхождения мощных нестационарных явлений на звёздах солнечного типа сводится к поискам возможных отличий в механизмах генерации магнитных полей и возникновения гигантских пятен с площадями, на 2-3 порядка превышающими предельные значения площадей солнечных пятен. Можно полагать, что такие условия могут быть реализованы на быстровращающихся звёздах, т.е. значительно более молодых, чем Солнце.

ID = 014

Фотометрические и спектральные наблюдения Ве звезды Хербига AS 310

Исмаилов Н.З., Алышев С.А., Исмайлова Ш.К.

Шамахинская Астрофизическая Обсерватория им.Н.Туси, пос.Ю.Маммадалиева, Азербайджан AZ 5626

В работе приводятся результаты спектральных и фотометрических исследований звезды Ве Хербига AS 310. Фотометрические наблюдения в полосах BVRCIc, выполненные в 2016-2021 гг. показали, что амплитуда сезонных изменений блеска звезды по разным годам меняется в плавном виде, и достигает максимума $\Delta V \sim 0.6$ mag в 2018 г. Звезда чаще находится в слабом состоянии, но время от времени происходит увеличение блеска. Наблюдается покраснение цвета с ослаблением блеска, что объясняется значительным избыточным излучением в ближней инфракрасной (ИК) области спектра. Выполненный поиск периодических изменений блеска не выявил значимых периодов переменности. Спектральные наблюдения звезды с низким разрешением, полученные на 2 м телескопе ШАО, выявили необычных для звезд AeVe Хербига узких эмиссионных компонент в линии H α и H β . Интенсивности этих компонент показывают переменность со временем. В спектре обнаруживаются линии He I 4026, 4387, 4417, 4922, 6678 Å, [NII] 6548 и 6584 Å, DIBs, FeII и др. Спектральный класс соответствует B0-B2, а по светимости звезда близка к нормальным гигантам типа III.

ID = 035

Эволюция физических параметров вспышки SOL 2012-07-05 по оптическим наблюдениям в линиях водорода

Ю.А. Купряков(1,2), К.В. Бычков(2), О.М. Белова(2), А.Б. Горшков (2)

(1) Astronomical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic, Ondřejov Observatory

(2) Астрономический институт им. П.К. Штернберга, МГУ, Москва, Россия

Целью работы является изучение поведения потоков излучения в линиях бальмеровской серии водорода в процессе развития вспышки и сравнение результатов с расчетными значениями. Наблюдения проводились на горизонтальной солнечной установке HSFA-2 (Ondřejov observatory). Мы выбрали вспышку 2012-07-05 класса M1.8 в активной области NOAA 11515. Особенность вспышки состоит в том, что она произошла в полутени

большого пятна, что потребовало разработки новой оригинальной методики обработки спектров. Также, впервые за все время наших наблюдений, мы обнаружили резонансную линию нейтрального алюминия 3961.54 \AA в излучении. Теоретический поток излучения рассчитан в модели газа определённой концентрации, нагретого до определённой температуры. Приняты во внимание все существенные процессы заселения и опустошения уровней, непрозрачность в частотах спектральных линий учитывалась в рамках модели вероятности выхода фотона. Источники энергии не уточнялись, ими могли быть как затухание идущих снизу МГД-волн, так и поток горячих частиц сверху. Конкретные значения плотности и температуры слоёв подбирались таким образом, чтобы теоретические потоки излучения оказались близки наблюдаемым. В четырёх эпизодах из пяти оказалась существенной неоднородность газа. Она учитывалась в предположении о двух полупрозрачных слоях, излучение которых складывается на луче зрения с учётом поглощения в линиях. Так, например, для момента 10:46:58 UT первый слой имеет концентрацию $N = 2.5 \cdot 10^{12} \text{ см}^3$, высоту $H = 2000 \text{ км}$, электронную температуру $T = 9000 \text{ К}$, а второй слой -- $N = 3.2 \cdot 10^{12} \text{ см}^3$, $H = 1500 \text{ км}$, $T = 18500 \text{ К}$. При таких параметрах наблюдаемые и рассчитанные потоки в линиях $H\alpha$, $H\beta$, $H\epsilon$ бальмеровской серии водорода совпадают. Приведены наблюдаемые потоки в спектральных линиях и расчетные значения в процессе развития вспышки. Проведен анализ полученных результатов.

ID = 062

Исследование характера и параметров волновых процессов в вспышечной области солнечной атмосферы.

Гусейнов Ш. Ш., Гусейнов С. Ш.

Шамахинская Астрофизическая Обсерватория имени Н. Туси, Баку, Азербайджан

В работе приводятся результаты одновременных наблюдений флуктуаций интегрального потока радиоизлучения во вспышечной области Солнца, генерируемой в переходном слое ($\lambda=10.7 \text{ см}$) и нижней короне ($\lambda=27.8 \text{ см}$). Наблюдения проводились на радиотелескопе РТ-12 Института Ионосферы Республики Казахстана 7 июня 2011 г., 25 октября 2013 г. и 20 февраля 2014 г. По измерениям временных профилей между колебаниями интенсивности радиоизлучения, имеющими квазипериодический характер, найдено, что для периодов 20-350 секунд всегда наблюдается распространение возмущений от хромосферы в корону с временным запаздыванием 20-100 секунд. С использованием ряда моделей для активного Солнца, проведены оценки скоростей распространения возмущений 200-2500 км/сек и диапазоны обнаруженных периодов. Показано, что они соответствуют скорости альфвеновских и быстрых магнитоакустических волн. Таким образом, мы заключаем, что в нашем исследовании квазипериодичность во вспышечной области Солнца связана с МГД-колебаниями.

ID = 103

Исследование переменности красных карликов с землеподобными экзопланетами по результатам широкоугольного оптического обзора с системой ММТ-9

Ляпсина Н.В. (1), Бескин Г.М. (1,2), Карпов С.В. (1,3), Бирюков А.В. (2,4,5), Гутаев А.Г. (1,2), Иванов Е.А. (1, 6), Перков А.В. (1, 6)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН

(2) Казанский (Приволжский) федеральный университет

(3) CEICO, Institute of Physics, Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic

(4) Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга (ГАИШ)

(5) Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики"

(6) АО НПК "СПП" СОИ "Архыз"

Проведено исследование переменности звезд спектрального класса М с землеподобными экзопланетами в зоне жизни по данным фотометрического обзора ММТ-9. Их вспышки могут существенно влиять на условия для возникновения и сохранения жизни на этих экзопланетах. Для поиска таких событий использовалась база фотометрических данных ММТ-9, накопленных за 9 лет для 11 звезд вплоть до 14,5 звездной величины из каталога Potential Habitable Lands (PHL). Обнаружена стохастическая переменность красных карликов на масштабе месяцев/лет с амплитудой несколько десятых звездной величины.

ID = 108

Суб-ТГц излучение Солнца и звёзд.

Мельников В.Ф.(1), Горбачёва Ю.А.(2)

(1) Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия

(2) Университет Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

Наблюдения на ALMA открыли новое, суб-терагерцовое (суб-ТГц), окно в исследованиях вспышечной активности на звёздах и на Солнце. Недавнее обнаружение суб-ТГц вспышек на М-карликах (Проксима Центавра и AU Mic) и К-карликах (ϵ Эридани) демонстрируют похожие временные характеристики. Все они имеют относительно короткую продолжительность (~ 10 сек), а также примерно симметричный подъем и спад. Также они характеризуются наличием линейной поляризации, чем резко отличаются от солнечных вспышек. Однако, отмечается, что в отличие от суб-ТГц всплесков на Проксима Центавра и AU Mic всплески на ϵ Эридани имеют положительный наклон частотного спектра. В данном докладе мы детально обсуждаем возможную физическую природу указанных суб-ТГц всплесков на основе анализа кинетики излучающих электронов в магнитных структурах и рассчитанных характеристик их гиротронного излучения.

Переменные и пульсирующие звёзды (6)

ID = 046 (Приглашённый)

Нелинейные пульсации красных гигантов

Фадеев Юрий Александрович

Институт астрономии РАН

Обсуждаются результаты моделирования пульсирующих звезд асимптотической ветви гигантов на основе согласованных расчетов звездной эволюции и нелинейных звездных пульсаций. Возбуждение пульсаций красного гиганта происходит в слоях частично ионизованного водорода, поэтому неустойчивость относительно колебаний в фундаментальной моде или первом обертоном зависит от положения внутренней границы зоны ионизации водорода относительно узла обертона. Рассматривается теоретическая зависимость период-светимость мирид, существование которой является следствием эволюционного возрастания светимости и радиуса звезды. В ходе эволюции увеличивается амплитуда колебаний, нелинейность которых приводит к менее регулярным изменениям блеска. У нескольких процентов мирид наблюдаются вековые изменения периода, которые связаны с изменениями структуры звезды вследствие циклических тепловых вспышек гелиевого слоевого источника. Анализ наблюдаемых изменений периода пульсаций мириды позволяет получить теоретические оценки ее массы и радиуса

ID = 094 (тематический)

Изменяемость периодов цефеид и лирид

Бердников Л.Н.

ГАИШ МГУ

Цефеиды и лириды - пульсирующие переменные, которые часто используются в качестве индикаторов расстояний, при этом необходимо знать периоды их пульсаций, а в ряде случаев и стабильность этих периодов. Исследования показали, что при наблюдениях в течение 100 лет и больше, почти 90% классических цефеид показывают эволюционные (вековые) изменения их периодов, часто сопровождающиеся квазипериодическими колебаниями, то есть, О-С диаграммы не являются гладкими параболами - на них накладываются волны с "периодами" в несколько десятков лет. Найденные скорости эволюционных изменений периодов согласуются с теоретическими вычислениями, что позволяет определить номер пересечения полосы нестабильности, что, в свою очередь, позволит построить зависимости период-светимость для каждого пересечения и тем самым уточнить шкалу расстояний. Периоды цефеид населения II изучены хуже, но характер их изменений напоминает таковой у классических цефеид. На диаграммах О-С изученных лирид парабол не найдено, периоды изменяются скачкообразно, иногда случаются очень резкие скачки периодов.

ID = 006

Переменность оптических и рентгеновских спектров звезд типа γ Cassiopeia

Холтыгин А.Ф. (1), Рыспаева Е.Б. (2), Якунин И.А. (3), Циопа О.А. (4)

(1) Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

(2) Крымская Астрофизическая обсерватория, Россия

(3) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия

(4) Главная (Пулковская) обсерватория РАН, Россия

Звезды типа γ Cas (γ Cassiopeia analogs) относятся к малой группе Ве звезд с аномально жестким рентгеновским излучением и высокой рентгеновской светимостью $1e32$ - $1e33$ эрг/с. Представлены результаты анализа оптических спектров звезд типа γ Cas по программе наблюдений на БТА «Переменность профилей линий в спектрах ОВА-звезд и природа их рентгеновского излучения» и результаты исследования архивных рентгеновских спектров этих звезд по наблюдениям на спутниках XMM-Newton и Chandra. Обнаружена переменность профилей линий в оптических спектрах и переменность рентгеновского блеска звезд типа γ Cas на шкалах от нескольких минут до часов. Предположено, что эта переменность связана с высокими модами нерадиальных пульсаций звезд данного типа. Периоды оптической и рентгеновской переменности оказались близки, что позволяет высказать гипотезу о модуляции структуры ветра в результате нерадиальных фотосферных пульсаций. Представлены результаты измерения магнитных полей звезд типа γ Cas. Аномально жесткое рентгеновское излучение таких звезд может быть объяснено в рамках гипотезы о вкладе возможного нетеплового рентгеновского излучения, возникающего в результате обратного комптоновского рассеяния УФ фотонов на релятивистских электронах.

ID = 053

Моделирование пылевой оболочки углеродной звезды V Cyg

Желтоухов С.Г.(1,2), Татарников А.М.(1,2), Шенаврин В.И.(1), Малик Е.Д.(2)

(1) Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

(2) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, 119991 Россия

В работе мы представляем модель пылевой оболочки, окружающей углеродную звезду V Cyg, построенную на основе наших фотометрических и спектральных наблюдений в инфракрасном диапазоне длин волн, а также архивных наземных и космических наблюдений. Модель получена с помощью программы расчета переноса излучения в пылевой среде RADMC-3D в предположении о сферической симметрии оболочки. Излучение центрального источника задавалось с помощью моделей атмосфер углеродных звезд. Согласно результатам

моделирования, эффективная температура центральной звезды в максимуме блеска равна 2400К, пылевая оболочка состоит из углеродных и SiC частиц в соотношении 3:1 (по массе), внешний и внутренний радиус оболочки составляют 11 и ~ 30000 а.е. соответственно.

Суммарная масса пыли в оболочке — $6 \cdot 10^{-5}$ масс Солнца. Боллометрический поток от V Cyg составляет $2.3 \cdot 10^{-9}$ Вт/м², что при расстоянии 545 пк соответствует светимости ~ 21000 L_{sun} в максимуме блеска.

ID = 100

Исследования T Северной Короны во время состояния высокой активности

Масленникова Н.А.(1,2), Татарников А.М.(1,2), Татарникова А.А.(1)

(1) Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

(2) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, 119991 Россия

В докладе представлен анализ фотометрических и спектральных наблюдений повторной симбиотической новой T CrB, полученных в состоянии высокой активности системы, начавшемся в 2015 г. Ранее у T CrB наблюдались две вспышки по типу классических новых: в 1866 и 1946 годах, и по оценкам Schaefer (2019) T CrB может вспыхнуть как новая в ближайший год. Наши наблюдения были получены в КГО и КАС ГАИШ МГУ. Для расширения спектрального диапазона мы использовали данные космической обсерватории Swift. Из аппроксимации распределения энергии в широком спектральном диапазоне были получены параметры компонентов системы, их эволюция в течение периода наблюдений. С конца апреля 2023 г. наблюдается значительное изменение спектров: вклад аккреционного диска в суммарное излучение системы стал значительно меньше, появились большие колебания потока в ультрафиолетовом континууме. Амплитуда быстрой переменности блеска (фликкер-эффекта) после апреля 2023 года значительно выросла и достигла величин, наблюдавшихся в "низком" состоянии до 2015 г.

ID = 107

Спектроскопия белого гипергиганта 6 Cas

Ислентьева Е.С.(1) и Клочкова В.Г.(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

В работе представлены результаты спектральных наблюдений в 2020--2023 гг. гипергиганта 6 Cas A (Sp A3 Ia-0). В спектрах высокого разрешения, полученных на БТА в сочетании с эшелле спектрографом НЭС, изучена сложная структура профилей линий H α и H β , а также многокомпонентные профили межзвездных линий. H α имеет переменный профиль типа P~Cyg, для ряда дат на ее профиле выделены два дискретных абсорбционных компонента (DACs). Переменность присуща и профилям сильных линий ионов металлов. Профили слабых абсорбций FeII, HeI, CNO-элементов не испытывают значительных изменений профилей, за исключением спектра за 13.11.2021, в котором прослеживается уширение профилей сильных линий и смещение на ~12 км/с положений слабых линий в длинноволновую область спектра. Этот эффект имеет физическую природу, поскольку положение межзвездных линий и DIBs в спектрах остаются постоянными. Скорость по диффузным межзвездным полосам V_r(DIBs) $\approx -20 \pm 0.2$ км/с. Лучевая скорость по совокупности слабых фотосферных абсорбций V_r $\approx -51 \pm 2$ км/с.

Тесные двойные системы (11)

ID = 057 (приглашённый)

Тесные двойные системы: лаборатории, созданные природой

Антохин И.И.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Москва, Россия

Двойные звезды чрезвычайно широко распространены во Вселенной. Большая часть массивных звезд являются двойными и порядка 70 % из них взаимодействуют в течение их времени жизни, приобретая статус тесных двойных. Двойственность среди звезд меньших масс встречается реже, но является определяющей при формировании катаклизмических переменных, рентгеновских двойных, коротких Гамма-всплесков и событий гравитационного слияния. Двойные звезды оказывают существенное влияние на эволюцию галактик. В докладе будут кратко перечислены достижения в исследовании тесных двойных систем, а также обсуждены некоторые проблемы и вызовы, имеющиеся в этой области астрофизики.

ID = 031

Исследование неразрешенных двойных и кратных звезд в рассеянных звездных скоплениях.

Михневич В.О.(1), Селезнев А.Ф.(1)

(1) Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

Эта работа является продолжением исследования неразрешенных двойных и кратных звезд в рассеянных звездных скоплениях. Используя фотометрическую диаграмму (H-W2)-W1 - W2 (BP-K), мы оценили содержание неразрешенных двойных и кратных звезд, а также распределение двойных звезд по отношению масс компонент q в скоплениях Alessi Teutsch~8, NGC~2301, NGC~2360, NGC~2516, NGC~3114, NGC~3532, NGC~6281 и NGC~6475. Подсчет звезд на диаграмме производился автоматически, для учета ошибок фотометрии использовался метод bootstrap.

ID = 048

Наблюдения SS433 на Кавказской Горной обсерватории и Крымской станции ГАИШ МГУ. Открытие эволюционного изменения орбитального периода.

Черепашук А.М.(1), Додин А.В.(1), Постнов К.А.(1), Белинский А.А.(1), Бурлак М.А.(1), Иконникова Н.П.(1), Ирсамбетова Т.Р.(1).

(1) Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга, Москва, Россия

Многолетние спектральные и фотометрические наблюдения SS433 привели к открытию векового эволюционного увеличения орбитального периода этого микроквара. Это позволило установить, что расстояние между компонентами SS433 вековым образом возрастает со временем, а размеры полости Роша оптической звезды в среднем постоянны. Поэтому общая оболочка в системе SS433 не образуется. Релятивистский объект в системе SS433 является черной дырой с массой более 8 солнечных, что типично для массивных рентгеновских двойных систем.

ID = 050 (дистанционно)

Образование быстровращающихся Be-звезд в массивных тесных двойных системах.

Старицин Е.И.

Астрономическая обсерватория УрФУ

Увеличение момента импульса аккректора во время обмена массой в массивной тесной двойной системе в пробеле Герцшпрунга изучено в зависимости от интенсивности поступления момента импульса из внутреннего края аккреционного диска на стадии докритического вращения аккректора, содержания момента импульса в аккрецируемом веществе на стадии критического вращения аккректора и от эффективности переноса момента импульса в недрах аккректора турбулентностью. В результате аккреции вращающегося вещества в недрах аккректора образуются две ячейки, скорость меридиональной циркуляции в

которых существенно больше, чем в одиночных звездах. На стадии докритического вращения образуется ячейка, в которой циркуляция переносит момент импульса аккрецированного вещества внутрь аккретора. На стадии критического вращения образуется вторая ячейка, в которой циркуляция переносит часть момента импульса аккрецированного вещества к поверхности аккретора. Предполагается, что эта часть момента импульса может быть отведена от звезды аккреционным диском. В рассмотренном случае обмена массой, когда на аккретор выпадает половина массы, потерянной донором, состояние вращения аккретора после окончания обмена массой не зависит от интенсивности поступления момента импульса из внутреннего края аккреционного диска и содержания момента импульса в аккрецируемом веществе, если момент импульса аккрецируемого вещества превышает половину кеплеровского значения, определенного на границе аккретора. В случае пониженной эффективности турбулентности в недрах аккретора момент импульса аккретора получается меньше. Тем не менее аккретор получает к окончанию стадии обмена массой вращение, типичное для классических Be-звезд.

ID = 054

Спектроскопический поиск эволюционных изменений орбитального периода WR+OB затменных двойных систем CQ Cep и CX Cep

Шапошников И.А.(1,2), Черепашук А.М.(1), Додин А.В.(1), Постнов К.А.(1,3)

(1) Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Университетский пр., 13, 119234 Москва, Россия

(2) Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы, 1-2, 119991 Москва, Россия

(3) Казанский федеральный университет, Кремлевская, 18, 420008 Казань, Россия

Представлены результаты спектроскопических наблюдений двух затменных систем WR+OB-типа - CQ Cep и CX Cep, выполненных в 2020-2023 годах с помощью щелевого спектрографа низкого разрешения TDS на 2,5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ.

Для CQ Cep построены кривые лучевых скоростей звезды WN6, обсуждается проблема видимости спектроскопических следов OB-звезды, оценивается отношение масс компонентов. Для CX Cep построены кривые лучевых скоростей для компонентов WN5 и O5, что позволяет уточнить их массы и элементы круговой орбиты. Сравнение кривых лучевых скоростей этих систем, полученных в разные эпохи, позволило вывести скорость изменения орбитальных периодов систем спектроскопическим методом, которые оказались в хорошем согласии с оценками, полученными при сравнении моментов главных минимумов затмений. Обсуждаются перспективы применимости спектроскопического метода для изучения орбитальной эволюции галактических WR+OB двойных и связанных с ними объектов. Мы также обсуждаем влияние конечных размеров звезд с потерей массы звездным ветром в тесных двойных системах на их орбитальную эволюцию.

ID = 060

Оптическое исследование аккреции в поляре VM CrB

Колбин А.И.(1,2), Борисов Н.В.(1), Буренков А.Н.(1), Бикмаев И.Ф.(2)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН,

(2) Казанский (Приволжский) федеральный университет.

В работе выполнено спектральное и фотометрическое исследование поляра VM~CrB. На основе данных обзора ZTF выявлено три состояния блеска поляра и признаки перехода от однополюсного к двухполюсному режиму аккреции при увеличении среднего блеска системы. Показано, что при переходе от низкого состояния к высокому происходит изменение долготы главного аккреционного пятна ($\sim 17^\circ$) и увеличение его протяженности ($\sim 10^\circ$). В спектрах присутствуют зеемановские абсорбции линии H α , которые формируются в

магнитном поле напряженностью $B = 15.5 \pm 1$ МГс. Источником этих абсорбций может быть холодное гало, простирающееся от аккреционного пятна на $\approx 1/4$ радиуса белого карлика. Моделирование поведения эмиссионной линии $H\alpha$ показывает, что основным источником эмиссии является участок аккреционной струи вблизи точки Лагранжа L_1 , который периодически затмевается звездой-донором. В спектрах проявляется циклотронная компонента, формируемая в аккреционном пятне. Ее моделирование простой моделью аккреционного пятна дает ограничения на напряженность магнитного поля $B = 15-40$ МГс и температуру $T_e \gtrsim 15$ кэВ.

ID = 076

V379 Vir - слабоаккрецирующий поляр с коричневым карликом.

Сусликов М.В.(1,2), Колбин А.И.(1,2), Борисов Н.В.(1), Буренков А.Н.(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, Россия

(2) Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Казань, Россия

Поляры являются магнитными катаклизмическими переменными, состоящими из белого карлика с сильным магнитным полем и холодного красного или коричневого карлика главной последовательности. Особенностью данной системы является избыток излучения в ближнем ИК диапазоне, наличие в спектре сильных абсорбционных компонент зеемановского расщепления бальмеровских линий, а также слабый темп аккреции. Для исследования фотометрических и спектральных особенностей были выполнены наблюдения на телескопах РТТ-150/TFOSC (TUBITAK) и БТА/SCORPIO-1 (САО РАН). На основе продолжительных временных рядов, полученных из обзора ZTF, уточнен орбитальный период системы $P_{orb} = 89$ мин. В результате моделирования спектрального распределения энергии определены параметры белого карлика $R_{wd} = 0.012 R_{sun}$, $M_{wd} = 0.64 M_{sun}$ и коричневого карлика $R_{bd} = 0.116 R_{sun}$, $M_{bd} = 0.03 M_{sun}$ спектрального класса L7. Из моделирования циклотронного излучения в ближнем ИК диапазоне получена оценка темпа аккреции $\dot{M} \sim 10^{-13} M_{sun}/год$. По изменению положения слабой эмиссии $H\alpha$ получена кривая лучевых скоростей вторичной компоненты с полуамплитудой $K_2 = 335$ км/с. Доплеровская томография эмиссии $H\alpha$ показывает наличие струевой компоненты. На основе анализа орбитально-модулируемых зеемановских компонент нами построена кривая изменения магнитного поля $B = 4.5 - 7.5$ МГс, которая была описана в рамках дипольного приближения.

ID = 084

Спектральные и фотополариметрические исследования полярра 1RXS J184542.4+483134.

Кочкина В.Ю.(1,2), Колбин А.И.(1,2), Бикмаев И.Ф.(2), Борисов Н.В.(1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

(2) Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

В данной работе выполнены спектральное, фотометрическое и полариметрическое исследования полярра 1RXS J184542.4+483134. По спектральным наблюдениям, полученным на телескопе БТА САО РАН, проведен анализ поведения эмиссионной линии $H\alpha$ в течение орбитального периода, восстановлены доплеровские томограммы. В некоторых фазах орбитального периода эмиссионные линии сменяются на абсорбционные, что указывает на покрытие диска белого карлика аккреционной струей. Путем моделирования циклотронных спектров определены напряженность магнитного поля белого карлика и температуры аккреционных пятен. Выполнен анализ изменения кривой блеска в зависимости от состояния аккреции на основе данных обзора ZTF, сделаны предположения о положении аккреционного пятна. По фотометрическим данным, полученным на РТТ-150, определена продолжительность затмения белого карлика, позволившая сделать оценку масс звездных компонент и наклона орбитальной плоскости. На основе фотополариметрических наблюдений, полученных на БТА САО РАН, выполнено моделирование кривых блеска и

круговой поляризации с определением ориентации магнитного диполя и положения аккреционных пятен. Проанализированы рентгеновские и ультрафиолетовые наблюдения J1845, полученные телескопами XRT и UVOT орбитальной обсерватории Swift.

ID = 102

Рентгеновские двойные: поляризационные, фотометрические и спектральные исследования с привлечением рентгеновских данных.

Карицкая Е.А.

ИНАСАН

Доклад посвящен памяти Николая Геннадиевича Бочкарева и является кратким обзором полученных совместно с ним результатов. Наибольшее внимание уделено исследованию двойных систем Лебедь X-1, Геркулес X-1, расчету линейной поляризации излучения деформированной звезды и аккреционного диска. Наиболее сильные поляриметрические эффекты ожидаются в ультрафиолетовом диапазоне.

ID = 104

Эволюция экваториального диска Ве-звезды в двойной массивной рентгеновской системе IGR J21343+4738

Николаева Е.А.(1,2), Бикмаев И.Ф.(1,2)

(1) Казанский (Приволжский) Федеральный университет, Казань, Россия

(2) Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия

В докладе будут представлены результаты исследования переменного экваториального диска Ве-звезды в двойной массивной рентгеновской системе IGR J21343+4738 на протяжении 17 лет. С 2007 по 2023 гг. на Российско-Турецком телескопе РТТ-150 (Национальная Обсерватория ТЮБИТАК, Анталья, Турция) были выполнены фотометрические и спектроскопические наблюдения исследуемого объекта. Показано как менялись со временем блеск системы (блеск ослабевал, когда диск затмевал звезду), профиль линии H α (расстояние между эмиссионными пиками пропорционально размеру диска, а отношение интенсивностей пиков V/R показывает движение волн плотности по диску) и их корреляция.

ID = 113

Оптические отождествления и исследования новых тесных двойных систем, обнаруживаемых космической рентгеновской обсерваторией “Спектр-Рентген-Гамма”.

Бикмаев И.Ф., Хамитов И.М., Иртуганов Э.Н., Склянов А.С., Галиуллин И.И., Николаева Е.А., Сусликов М.В., Сахибуллин Н.А., Горбачев М.А. (КФУ, АН РТ), Гильфанов М.Р., Хорунжев Г.А., Медведев П.С., Сазонов С.Ю., Лутовинов А.А., Буренин Р.А., Мещеряков А.В., Сюняев Р.А. (ИКИ РАН), Колбин А.И., Шиманский В.В., Моисеев А.В., Малыгин Е.А., Шабловинская Е. (САО РАН), Родригес А., Кулкарни Ш. (Калифорнийский университет, США), Балман Ш. (Стамбульский университет, Турция)

В докладе будут представлены результаты оптических отождествлений, фотометрических и спектральных наблюдений на российских и зарубежных телескопах новых тесных двойных звездных систем в рамках наземной оптической поддержки рентгеновской орбитальной обсерватории “Спектр-Рентген-Гамма”. Будут приведены примеры обнаружения тесных двойных систем с белыми карликами различных типов и исследования их физических параметров.

Поздние стадии эволюции звёзд и компактные объекты (8)

ID = 109 (приглашённый)

Сверхновые, похожие на SN1987A (Refsdal, SN 2018hna и др.), и эволюционные пути их образования

С.И. Блинников

ИТЭФ

Знаменитая сверхновая SN1987A была очень слабой по абсолютной звёздной величине (как было предсказано И.С. Шкловским), но обладала обычной для сверхновых кинетической энергией взрыва около 1 foe. Наши радиационно-гидродинамические модели дают для SN Refsdal почти 5 foe. Есть и другие примеры объектов того же пекулярного типа II как SN1987A, но с повышенной энергией взрыва. В то же время предсверхновая SN2018hna по нашим моделям имела радиус $\sim 45 R_{\text{sun}}$ (т.е. была голубым сверхгигантом), массу выброса (13.7-17.7) M_{sun} , а кинетическую энергию (1.0-1.2) foe. Из небулярных линий [OI] получается оценка массы кислорода (0.44-0.73) M_{sun} , тогда на главной последовательности масса предсверхновой была $<16 M_{\text{sun}}$. В обычной эволюции одиночных звёзд такие малые массы не доходят до коллапса на стадии голубого сверхгиганта. Так что скорее всего в этом случае, как и в SN1987A, была эволюция в двойной системе (возможно, при меньших массах компонент).

ID = 077 (тематический)

Яркие голубые переменные: методы их поиска и наблюдательные свойства.

Соловьева Ю. Н. (1), Винокуров А. С. (1), Костенков А. Е. (1), Саркисян А. Н. (1), Шолухова О. Н. (1), Тихонов Н. А. (1), Фабрика С. Н. (1)

(1) Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Яркие голубые переменные (LBV) представляют собой редкий тип звезд высокой светимости, обладающих сильной фотометрической и спектральной переменностью. Вопрос об их происхождения остается открытым, поскольку существуют две противоположные точки зрения: LBV – стадия эволюции массивной одиночной звезды, и LBV — результат эволюции массивных тесных двойных. Известно немногим более 40 звезд этого типа в нашей и других галактиках, в основном принадлежащих Местной группе. В докладе будут обсуждаться различные методы поиска LBV в зависимости от расстояния и их результаты, и особое внимание будет уделено поиску LBV в галактиках за пределами Местной группы по данным БТА САО РАН.

ID = 018

Влияние эффектов неидеальности в плотной плазме на эволюцию и наблюдаемые характеристики белых карликов

Ляпина Д.А.(1),(2) , Блинников С.И.(1),(2)

(1) Курчатовский комплекс теоретической и экспериментальной физики Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия

(2) Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга, Москва, Россия

Недавно ставшие возможными наблюдения холодных и слабых белых карликов на телескопах GAIA и др. дают богатый материал для уточнения моделирования финальной стадии их эволюции, что в свою очередь может использоваться для изучения поведения вещества при экстремальных условиях. В настоящей работе было проведено моделирование тепловой эволюции белых карликов для разных составов атмосфер с использованием гидродинамического кода Блинникова С.И. и Дуниной-Барковской Н.В., позволяющего изучать эволюцию объекта до времен порядка возраста Вселенной. Новым в этом коде было введение уравнений состояния для неидеальной плотной плазмы, разработанных Потехиным А.Ю. В моделировании использовалось приближение однокомпонентной плазмы, состоящей из углерода, либо кислорода. Ранее использовавшееся уравнение состояния Надёжина Д.К. с кулоновскими поправками И.Ибена для идеальной плазмы было рассчитано на горячие белые карлики и не учитывало эффектов, наступающих на поздних стадиях их эволюции, например, эффекта кристаллизации. Для расширения кода на область холодных и старых

белых карликов были необходимы уравнения, включающие эффекты неидеальности в плотной плазме. Как и ожидалось, после наступления фазы кристаллизации, происходит небольшой выброс тепла, а затем скорость остывания увеличивается. Особенно этот эффект существенен для массивных белых карликов (масса $\sim 1.3 M_{\odot}$), для которых время остывания до $T_{\text{eff}} \sim 3 \cdot 10^3$ К уменьшается почти в 10 раз.

ID = 020 (дистанционно)

Мониторинг нейтринных вспышек в Галактике.

Ю.Ф. Новосельцев, Е.А. Горбачева, Р.М. Гулиев, И.М. Дзапарова, М.М. Кочкаров, А.Н. Куреня, Е.С. Мартаков, Р.В. Новосельцева, В.Б. Петков, П.С. Стриганов, И.Б. Унатлоков, А.Ф. Янин

Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия

Представлен обзор детекторов, способных регистрировать нейтринную вспышку от сверхновой (СН) и статус эксперимента по поиску нейтринных вспышек на Баксанском Подземном Сцинтилляционном Телескопе ИЯИ РАН. Обсуждается связь нейтрино от СН с легкой темной материей (с массой частиц $O(<\sim \text{МэВ})$).

ID = 041

Эволюция углов между осью вращения и магнитным моментом в радиопульсарах

З.В.Кенько(1), И.Ф.Малов(2)

(1) Белорусский государственный университет ,

(2) Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН

Получено распределение углов между магнитным моментом и осью вращения для радиопульсаров с периодами в интервале $0,1 \text{ сек} < P < 2 \text{ сек}$. Это распределение оказалось довольно широким со средним значением угла, равным 23 градуса. Для большей части пульсаров характерны умеренные значения углов от 20 до 45 градусов. Обнаружена полезная зависимость между кинематическим возрастом пульсара и его характеристическим возрастом. Такая зависимость даёт возможность по характеристическому возрасту, указанному в каталоге ATNF, оценить его более близкий к реальному кинематический возраст. Показано, что углы наклона в пульсарах с $0,1 \text{ сек} < P < 2 \text{ сек}$ уменьшаются с возрастом. Обнаруженное уменьшение лучше всего описывается степенным законом. Были также вычислены углы наклона в пульсарах, находящихся в настоящий момент в остатках сверхновых. Эти углы не показывают заметного изменения в течение 10^5 лет. Их уменьшение начинается при значительно больших возрастах.

ID = 083

Космическое содержание железа

Чугай Николай Николаевич,

ИНАСАН

Исследуется возможность оценки верхнего предела современного содержания железа в барионном веществе. Верхний предел определяется минимальным содержанием, при котором фон гамма-излучения от распада изотопа ^{56}Ni , синтезированного во Вселенной до настоящего времени вступает в противоречие с наблюдаемым гамма-фоном в МэВ-ном диапазоне. Рассчитана яркость гамма-фона от сверхновых SNe-Ia и SNe-II с учётом эффектов рассеяния и поглощения гамма-квантов в оболочках сверхновых. Показано, что модельная яркость гамма-фона не противоречит наблюдаемому гамма-фону в МэВ-ном диапазоне, если содержание железа в барионном не превышает 15% от солнечного содержания.

ID = 087

Углы между магнитным моментом и осью вращения. Структура магнитосферы пульсаров.

Тимиркеева М.А.(1), Малов И.Ф.(1)

Физический институт им. П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия

В настоящее время известно более 3000 пульсаров. В основном они излучают на радиочастотах [1], порядка 300 объектов зарегистрированы как пульсары в гамма-диапазоне [2], теплое и нетеплое рентгеновское излучение зарегистрировано от нескольких десятков объектов [3-4]. Данное исследование посвящено вычислению углов между магнитным моментом и осью вращения в радиопульсарах, излучающих также в гамма- и рентгеновском диапазонах. Этот параметр позволяет понять не только специфику излучения конкретного радиопульсара, также построенные распределения углов для объектов, излучающих в разных диапазонах, могут установить четкие различия в исследуемых группах. Угол между магнитным моментом и осью вращения также является ключевым для проверки предлагаемых моделей излучения пульсаров. Для последующего анализа были сформированы три группы пульсаров: в первую группу входят только радио-громкие пульсары; вторая группа - это радиопульсары с зарегистрированным гамма-излучением - радио-громкие гамма-пульсары; третья группа состоит из рентгеновских радиопульсаров. Из выборки исключены пульсары, находящиеся в двойных системах и шаровых скоплениях для того, чтобы избежать влияния компаньонов. Были вычислены значения углов по наблюдаемой ширине импульса на уровне 10% для нескольких сотен известных радиопульсаров. Полученные значения, в совокупности с оценками на основе других методов, могут дать информацию об ориентации осей в пульсарах и послужить дальнейшему развитию теоретических представлений о структуре магнитосферы пульсара.

Исследование выполнено за счет гранта РФФИ 22-12-00236, <https://rscf.ru/project/22-12-00236/>.

[1] R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh et al., *Astronomical Journal*, 129, 4, 1993 (2005)

[2] A. A. Abdo, M. Ajello, A. Allafort et al., *The Astrophysical Journal Supplement*, 208, 2, 1 (2013)

<https://confluence.slac.stanford.edu/display/GLAMCOG/Public+List+of+LAT-Detected+Gamma-Ray+Pulsars>

[3] A. Possenti, R. Cerutti, M. Colpi et al., *Astronomy and Astrophysics*, 387, 993 (2002)

[4] T. Prinz and W. Becker, arXiv:1511.07713 (2015)

ID = 097

Поиск и исследование радиоизлучение от гамма-пульсара J1836+5925

Теплых Д.А., Малофеев В.М., Малов О.И., Малов И.Ф., Тимиркеева М.А.

Пушчинская радиоастрономическая обсерватория Физического института им. П.Н.Лебедева РАН

В Пушчинской радиоастрономической обсерватории ведется поиск и исследования пульсаров на антенне БСА ФИАН на частоте 111 МГц, включая объекты, излучающие в других диапазонах электромагнитных волн. В результате длительного поиска в течение более ста дней наблюдений в 2020-2023 годах удалось обнаружить слабое и редкое импульсное излучение у Геминга-подобного гамма-пульсара J1836+5925. Кроме отдельных индивидуальных импульсов в нескольких сеансах удалось получить интегральный профиль. Представлены особенности радиоизлучения этого пульсара: интегральный профиль и индивидуальные импульсы, мера дисперсии и оценка плотности потока.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (номер 22-12-00236, <https://rscf.ru/project/22-12-00236/>)

Околозвёздные диски и экзопланеты (11)

ID = 039 (приглашённый)

Моделирование распада облака во вращающейся среде протопланетного диска.

Демидова Т.В.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Крым, Россия

Обсуждается эволюция возмущения плотности во вращающемся протопланетном диске звезды до главной последовательности. Предполагается, что возмущение плотности возникло в результате аккреции на диск сгустков вещества из остатков протозвездного облака. Поэтому скорости возмущения плотности могут иметь остаточный наклон относительно начальной плоскости диска. Трехмерное газодинамическое моделирование протопланетного диска с возмущением было выполнено на вековой шкале времени. Рассмотрены два случая: маломассивное возмущение на периферии диска и массивное возмущение вблизи звезды. Показано, что в первом случае компактные возмущения плотности трансформируются в долгоживущие спиральные и кольцевые структуры, подобные тем, которые наблюдаются на изображениях дисков в миллиметровом диапазоне. А во втором -- наблюдается вспышка темпа аккреции на звезду, по форме похожая на вспышку FUORa. А в области начального положения возмущения образуется неоднородное газовое кольцо, которое в течение нескольких оборотов вокруг звезды объединяется с внутренним диском и образует наклонный диск. Таким образом, результаты моделирования показывают, что процесс распада возмущений плотности во вращающейся среде протопланетных дисков позволяет объяснить широкий спектр крупномасштабных возмущений, обнаруженных при наблюдениях их родительских звезд.

ID = 055 (тематический)

Проект EXPLANATION: первые результаты исследования экзопланет

Валявин Геннадий Геннадьевич,

Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Мы представляем первые результаты исследования экзопланет в рамках совместного российско-корейского проекта, сокращенно именуемого EXPLANATION (EXoPLANet And Transient events InvestigatiON). Цель проекта — массовый поиск нестационарных событий во Вселенной с помощью фотометрических, спекл-интерферометрических, спектральных и других методов наблюдений, а также изучение экзопланет. Кроме первых результатов по части экзопланетных исследований, представляем также философию проекта, его инструментарий и дальнейшие перспективы.

ID = 012

Кандидат в экзопитеры FL Lyr b по данным космических аппаратов Kepler и TESS

В. С. Козырева (1), **А. И. Богомазов** (1), Б. П. Демков (2), Л. В. Зотов (3,1), А. В. Тутуков (4)

(1) ГАИШ МГУ

(2) Индивидуальный предприниматель

(3) ВШЭ, МИЭМ имени А. Н. Тихонова

(4) ИНАСАН

В работе изучается световое уравнение затменной двойной системы FL Lyr в данных космических телескопов Kepler и TESS. Показано, что в системе есть кандидат в экзопитеры FL Lyr b с вероятным значением орбитального периода около 22 лет.

ID = 017

АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ G1 414 A С ДВУМЯ ПЛАНЕТАМИ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ПОТЕРЮ МАССЫ АТМОСФЕРОЙ ПЛАНЕТЫ G1 414 A b

Саванов И.С.(1)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Представлены результаты исследования проявлений активности карлика спектрального класса K7 G1 414A с двумя планетами, одна из которых (планета G1 414A b) при

эксцентриситете $e = 0.45$ на протяжении большей части своей орбиты находится в пределах зоны обитаемости. Наш анализ показал, что наиболее достоверным определением периода вращения Gl 414A следует признать результаты анализа фотометрических наблюдений звезды, выполненных обзором Kilodegree Extremely Little Telescope (KELT), указывающие на период ее вращения $P = 42$ сут. Однако, по периодограммам, построенным по другим наблюдениям Gl 414A, наличие такого периода не подтверждается. Цикл долговременной активности звезды составляет величину порядка 3800 сут. (10.4 лет). Полученные результаты изучения активности звезды использованы для оценки потери вещества атмосферы планеты Gl 414A b по аппроксимационной формуле для модели потери атмосферы с ограничением по энергии. По 486 оценкам параметра SHK были выполнены расчеты потери вещества атмосферой Gl 414A b в течение интервала в 5805 суток (15.9 лет). Величины этих потерь в основном лежат в интервале $\log(M_{\text{loss}})$ от 7.15 до 7.50, а медианное значение равно 7.30. При величине эксцентриситета 0.45 расстояние от центральной звезды до Gl 414A b варьируется в пределах от 0.13 до 0.34 а.е., для них получены оценки потери вещества атмосферы - 16.21×10^7 г/с и 2.37×10^7 г/с, соответственно.

ID = 022

Влияние звездного ветра на нетепловое убегание атмосферы экзопланеты *pi Men c*

Автаева А.А., Шематович В.И.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Исследования экзопланет и их атмосфер дает возможность изучить эволюцию планет и их атмосфер в зависимости от разных параметров системы. С запуском новых космических телескопов, появляются все новые и новые данные о планетных атмосферах. Большой интерес представляют так называемые горячие экзопланеты, которые находятся близко к своим родительским звездам. Под действием звездного излучения и звездного ветра, планеты начинают терять свою атмосферу. Исследованием строения и эволюции, за счет процессов убегания, планетных атмосфер занимаются многие группы ученых. В большинстве разработанных моделей учитываются только тепловые процессы потери атмосферы, такие как гидродинамическое истечение вещества, но не учитываются нетепловые процессы, такие как диссоциация молекулярного водорода под действием жесткого УФ излучения родительской звезды или разбрызгивание атмосферы вследствие воздействия звездного ветра. В наших предыдущих работах, показано, что для горячих планет, потоки убегания атмосферы за счет нетепловых процессов сравнимы с тепловыми потоками убегания вещества из атмосферы и должны учитываться в атмосферных моделях. Предлагается расширить модель для расчета атмосферных потерь за счет учета влияния звездного ветра на атмосферу экзопланет земного типа. Модель применена для супер-земли *Pi Men c*, для расчета атмосферных потерь и сравнения с наблюдательными данными. Работа выполнена при поддержке проекта РФФ 22-22-00909.

ID = 024

Экзо-астероиды в системах с нейтронными звездами/черными дырами

Ибрагимов М.А.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Два неожиданных наблюдательных факта обнаруживаются в одиночных и двойных системах, включающих нейтронные звезды/черные дыры (НЗ/ЧД). Факт 1 - это инфракрасные околозвездные или "осколочные" диски (debris disks). Такой осколочный диск обнаружен, например, вокруг молодой изолированной нейтронной звезды 4U 0142+61, которая принадлежит к (немногочисленному, меньше 10 объектов) классу аномальных рентгеновских пульсаров. Факт 2 - это быстрые (длительностью от субсекунд до нескольких секунд) оптические красные вспышки, которые наблюдались, например, в системе V404 Cyg

(рентгеновская двойная с черной дырой). В докладе демонстрируются и обсуждаются конкретные наблюдательные проявления упомянутых дисков и вспышек по опубликованным данным. ИК/осколочные диски вокруг НЗ объясняются эффектом "обратной" (fallback) аккреции. Красные вспышки в системах с НЗ/ЧД пока не имеют непротиворечивого объяснения. В докладе впервые выдвигается гипотеза о том, что наблюдаемые ИК/осколочные диски и красные вспышки могут быть "генетически" связаны. ИК/осколочные диски являются естественным "домом" для малых экзо-тел (экзо-астероиды и экзо-кометы) в системах с НЗ/ЧД. Малые характерные размеры ИК/осколочных дисков (несколько радиусов Солнца против сотен радиусов Солнца в типичных околозвездных дисках) приводят к заметному (на порядок) увеличению кеплеровских скоростей малых экзо-тел и, как следствие, значительному (на несколько порядков) увеличению их кинетической энергии. Орбитальные пертурбации и взаимные столкновения таких энергетически "накаченных" малых экзо-тел в системах с НЗ/ЧД естественным образом объясняют появление красных вспышек. В докладе приводится сравнение и сопоставление оптических красных вспышек (длительности, амплитуды, частота вспышек и др.), наблюдаемых в обычных звездах и в системах с НЗ/ЧД.

ID = 032

Влияние испарения пыли и тепловой неустойчивости на распределение температуры в протопланетном диске.

Топчиева А.П.(1), Павлюченков Я.Н.(1), Акимкин В.В.(1), Воробьев Э. И.(1)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

Тепловая неустойчивость аккреционных дисков активно используется для объяснения активности катаклизмических переменных, однако ее проявление в газопылевых дисках у молодых звезд исследовалось менее подробно. Представлена полуаналитическая стационарная модель для расчета экваториальной температуры газопылевого диска вокруг молодой звезды. В модели учитывается непрозрачность, обусловленная пылью и газом, а также испарение пыли при температурах свыше 1000 К. С помощью данной модели рассчитаны распределения экваториальной температуры газопылевого диска при различных предположениях об источнике непрозрачности и присутствия пыли.

Показано, что во внутренних областях протопланетных дисков действительно возникают условия для развития тепловой неустойчивости, что необходимо учитывать при моделировании их структуры и эволюции. Периодический характер аккреции возникает при использовании α -параметризации турбулентной вязкости, которая обеспечивает положительную обратную связь между темпом аккреции и температурой. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ 22-72-10029.

ID = 036

О границах потенциального обнаружения биомаркера NO для разных родительских звезд и экзопланет с помощью Спектр-УФ.

Цуриков Г.Н. (1), Бисикало Д. В.(2),(1)

(1) Институт астрономии РАН, Москва, Россия

(2) Национальный Центр Физики и Математики, Саров, Россия

Среди всех прочих необходимых условий обитаемости экзопланет земного типа, одним из определяющих является наличие у экзопланеты N₂-O₂ доминантной атмосферы. Данный фактор может свидетельствовать о наличии геологических и биологических процессов на экзопланете. Окись азота, в свою очередь, один из нескольких потенциально наблюдаемых индикаторов такой атмосферы. В работе исследуется возможность обнаружения NO в атмосферах типичных экзопланет земного типа (экзо-земель, супер-земель, суб-нептунов) с помощью спектрографов обсерватории Спектр-УФ. Для этого проведено моделирование

процессов трансмиссии и флуоресценции света для наиболее сильных спектральных признаков NO в ближнем ультрафиолетовом диапазоне (γ -полосы, 203 — 248 нм). Результаты моделирования использовались для параметрических расчетов наблюдательного времени, необходимого для регистрации данных спектральных признаков, для разных планетных систем. В данных расчетах использовались спектры родительских звезд спектральных классов G2V — M5V в рассматриваемом диапазоне длин волн, а также средние потоки GALEX для звезд с экзопланетами. По результатам работы установлено, что с помощью спектрографа LSS ($R = 1000$) обсерватории Спектр-УФ за разумное наблюдательное время (< 120 часов) потенциально возможно зарегистрировать сигналы трансмиссии и эмиссии NO в γ -полосах в атмосферах типичных супер-земель и суб-нептунов с родительскими звездами G2V — M5V спектрального класса на небольших расстояниях от Земли (< 5 пк). Граничные для наблюдения расстояния зависят от спектрального класса звезды, условий в атмосфере экзопланеты. В работе также представлены накладываемые ограничения и возможные пути их решения для регистрации данного сигнала на более далеких экзопланетах.

ID = 065

Моделирование падения компактного облака на протопланетный диск.

Григорьев В.В.(1), Демидова Т.В.(1)

(1) ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория" РАН, Крым, Россия

Численное моделирование самогравитирующих массивных дисков показало, что в подобных системах возможны выбросы компактных сгустков вещества в межзвездное пространство (Basu & Vorobyev, 2012). Такие объекты могут сталкиваться с другими протопланетными дисками. Выпадение компактного облака на протопланетный диск может привести к искажению плоскости диска, а также ряду фотометрических особенностей, которые могут быть обнаружены в наблюдениях. Для исследования данного процесса произведено трехмерное газодинамическое моделирование падения компактного газового сгустка, сравнимого по массе с Юпитером, на протопланетный диск, вращающийся вокруг звезды, похожей на Солнце. Столкновение сгустка с протопланетным диском происходит на расстоянии ~ 5 а.е. от звезды. В расчетах учитывались вязкость и теплопроводность в газе. В ходе динамической эволюции внутренние области исходного диска были деформированы, образовав внутренний наклоненный к первоначальной плоскости диск меньшего размера. Были проанализированы особенности данного процесса: угол наклона внутреннего диска и его эволюция, тем аккреции внутрь области 0.2 а.е., кривая блеска, форма дисков.

ID = 106

Динамика тороидальных магнитных силовых трубок в аккреционных дисках молодых звезд.

Бартая Н.В. (1), Хайбрахманов С.А. (1,2,3)

(1) Челябинский государственный университет, Челябинск, Россия

(2) Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

(3) Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

Работа посвящена численному моделированию динамики тороидальных магнитных силовых трубок (МСТ) в аккреционном диске молодой звезды типа Т Тельца. Уравнения динамики МСТ записываются с учетом сил плавучести и сопротивления, магнитного поля диска и натяжений внутреннего магнитного поля МСТ. Рассматривается случай эффективного теплообмена с окружающим газом. Структура аккреционного диска рассчитывается с помощью магнитогазодинамической (МГД) модели аккреционных дисков Дудорова и Хайбрахманова (2013, 2014). Для расчета вертикальной структуры диска используется уравнение состояния политропного газа. Динамика МСТ моделируется для различных начальных координат, малого и большого радиусов, а также интенсивности магнитного поля

МСТ. Расчеты показывают, что МСТ быстро всплывают к поверхности диска и затем стягиваются по направлению к звезде. В ходе эволюции МСТ могут расширяться до размеров, сравнимых со шкалой высоты аккреционного диска, и формировать истекающую замагниченную корону диска. Всплывающие МСТ служат как механизм отвода избыточного магнитного потока из внутренних областей диска, где степень ионизации достаточно высока и магнитное поле вмерозено в вещество. Оценки периодов образования и всплытия МСТ, а также их вклада в поток излучения диска, показывают, что магнитная плавучесть может обуславливать наблюдаемую инфракрасную переменность молодых звездных объектов.

ID = 112

Эволюция углового момента в процессе коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков

Каргальцева Н.С.(1,2), Хайбрахманов С.А. (1,2)

(1)Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

(2)Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

В докладе представляются численные расчеты изотермической стадии коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков солнечной массы. Моделирование осуществляется с помощью двумерного МГД-кода Enlil. Начальное состояние облака характеризуется пламмеровским степенным распределением плотности с показателем степени от 0.5 до 2. Начальное магнитное поле вычисляется из условия вмерозенности в предположении сферически-симметричного сжатия среды. С помощью расчетов исследуется эволюция углового момента облаков с различной начальной вращательной энергией. Анализируется роль амбиполярной диффузии в процессе коллапса протозвездного облака с сильным магнитным полем. Расчеты показывают, что полный угловой момент облака уменьшается при увеличении начальной магнитной энергии облака и при увеличении показателя степени в начальном пламмеровском распределении плотности. Эффективность магнитного торможения определяет свойства образующихся в дальнейшем протозвездных дисков. Сравнение результатов расчетов с данными наблюдений показывает, что наблюдаемые особенности распределения скоростей и углового момента в протозвездных облаках могут отражать их эволюционный статус и свойства внутренней иерархии.

Работа выполнена в рамках Программы <<Инженер-исследователь УрФУ, Приоритет 2030>> и при поддержке Фонда поддержки молодых ученых ЧелГУ.