



**Всероссийская Школа-конференция
молодых астрономов
«Космос, Астрофизика, Солнце, Планеты»**

КАСП-2025



СБОРНИК ТЕЗИСОВ

Москва, Троицк, 2025

Оглавление

Секция 1. Физика галактик и космология..... 6

ПЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА КАРЛИКОВОЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ГАЛАКТИКИ ESO 149-003	7
СВЕРХТОНКИЕ ПЕРЕХОДЫ В АТОМАХ И ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МОЛЕКУЛАХ РАННЕЙ ВВСЕЛЕННОЙ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ	8
ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОПЕРЕМЕННОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ДЖЕТА	9
СВОЙСТВА ПЕРЕМЕННОСТИ БЛАЗАРА S5 1803+784 НА КРАТЧАЙШЕЙ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЕ ЗА ПЕРИОД 07.2019-06.2020	10
ИСТОЧНИКИ ИОНИЗАЦИИ ГАЗА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ГАЛАКТИКЕ NGC 5278	11
СРАВНЕНИЕ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКЕ NGC 1512...12	
ПОИСК НОВЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК В МЕСТНОМ ОБЪЕМЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО НЕБА.....	13
ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕМНОГО ГАЛО ПО ОДНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ДЛЯ ГАЛАКТИКИ, ВИДИМОЙ С РЕБРА.....	14
ДИФфуЗНЫЙ ГАЗ НАД ПЛОСКОСТЬЮ ДИСКОВЫХ ГАЛАКТИК И ИСТОЧНИКИ ЕГО ИОНИЗАЦИИ ...15	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН НА ИОНИЗАЦИЮ ГАЗА В ГАЛАКТИКАХ С ПОЛЯРНЫМ КОЛЬЦОМ.....	16
МНОГОЧАСТИЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БАТАРЕИ БИРМАНА В ГАЛАКТИКАХ	17
ИЗГИБЫ ДИСКОВ ГАЛАКТИК ОТ $z = 2.5$ ДО НАШЕЙ ЭПОХИ	18
ПОИСК УЛЬТРАКОРОТКИХ ВСПЛЕСКОВ ЧЕРЕНКОВСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ НЕЙТРИНО С ЛУНЫМ РЕГОЛИТОМ	19

Секция 2. Звезды и межзвездная среда..... 20

ДИНАМИКА ТОРОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ТРУБОК В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ.....	21
ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗДЫ HD188101 С АНОМАЛИЯМИ В ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПРИ ОТКАЗЕ ОТ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О ЛОКАЛЬНОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ.....	22
ФОРМАЛЬДЕГИД И МЕТАНОЛ В ДОЗВЁЗДНЫХ ЯДРАХ.....	23
ОПТИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ ЗВЕЗД С РЕНТГЕНОМ ИЗ КАТАЛОГА eROZITA / SRG В РАДИУСЕ 30 ПАРСЕК ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ TESS	24
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СПЕКТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В РАМКАХ КАСКАДНОГО МГД- МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	25
АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЯРА SDSS J201116.8+600428.....	26
ПОЛИТРОПНЫЕ ПУЗЫРИ ЗВЁЗДНОГО ВЕТРА И ИХ УДАРНЫЕ СТРУКТУРЫ В РАДИАЛЬНО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СРЕДАХ	27

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЕРАРХИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ КОЛЛАПСИРУЮЩЕГО ПРОТОЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА	28
БЫСТРОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ЛМС X-4	29
ВОДА В ДОЗВЕЗДНОМ ЯДРЕ L1544: ДВУХФАЗНОЕ И ТРЕХФАЗНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ	30
ДИНАМО В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ: РОСТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ЕГО НЕЛИНЕЙНОЕ НАСЫЩЕНИЕ	31
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖЗВЁЗДНЫХ ЛЬДОВ ПО ПОЛОСАМ ПОГЛОЩЕНИЯ СВОБОДНЫХ ОН-ГРУПП НА СПЕКТРАХ JWST	32
АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАССИВНЫХ МОЛОДЫХ ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ С МАЗЕРАМИ	33
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ Q-МЕТОДОМ ДЛЯ ЛНК ФОТОМЕТРИИ.....	34
ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОИНДУЦИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ФДО ORION BAR	35
НЕ-ЛТР АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА А-В ЗВЕЗД: КРИТЕРИИ НОРМАЛЬНОЙ ЗВЕЗДЫ	36
ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ И ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗДЫ ТИПА γ CAS HD 110432	37
ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБЛАСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ МАССИВНЫХ ЗВЕЗД S2551R И NGC 7538C.....	38
ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ RZ LMI НА КИСЛОВОДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИНАСАН.....	39
ВЛИЯНИЕ ВСПЫШЕК СВЕТИМОСТИ НА СОСТАВ ЛЬДОВ В ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКАХ	40
ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕГО ЯДРА НА РАННЕЙ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ.....	41
ОДИНОЧНЫЕ И КРАТНЫЕ ЗВЁЗДЫ В ПЛЕЯДАХ	42
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС РЕЛЯТИВИСТСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЗВЕЗД ВОЛЬФА-РАЙЕ В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМАХ.....	43
Секция 3. Солнце и Солнечная система, космическая погода.....	44
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ.....	45
ДЕТЕКЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ТОРНАДО ПРИ ПОМОЩИ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	46
СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕЙТРАЛЬНОГО ВЕТРА В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО И РАЗЛИЧНЫМ ВЕРСИЯМ МОДЕЛИ HWM	47
ХОЛЛОВСКАЯ МАГНИТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ.....	48
ВЫБОР СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ	49
ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ.....	50
ВСПЫШЕЧНЫЙ ЭКСЦЕСС НА СОЛНЦЕ В 2024 ГОДУ	51
ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ.....	52

ПЛАЗМЕННЫЕ ВОЛНЫ РОССБИ В АСТРОФИЗИКЕ	53
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ УСКОРЕННЫХ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПРОТОНОВ: НЕПРЕРЫВНАЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ИНЖЕКЦИЯ ЧАСТИЦ.....	54
ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ФРОНТА МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА АСИММЕТРИЮ И ВЕЛИЧИНУ ИМПУЛЬСА РЕЗКОГО НАЧАЛА МАГНИТНОЙ БУРИ	55
О ДЕТЕКТИРОВАНИИ КОРОТИРУЮЩИХ ОБЛАСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ	56
МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СЕТИ НАЗЕМНЫХ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ	57
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ХОЛОДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК	58
ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ.....	59
НАБЛЮДЕНИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ В РЕНТГЕНОВСКИХ ПРЕДВЕСТНИКАХ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ КЛАССА X2.8.....	60
СВЯЗЬ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА И СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ТОРНАДО	61
ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРБУШ- ПОНИЖЕНИЯ	62
ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ВО ВРЕМЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ	63
РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПРИ УЧЕТЕ ВОЗМОЖНОГО АНИЗОТРОПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ	64
РАДИОДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШЕК НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ПРИ УЧЕТЕ АНИЗОТРОПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ.....	65
МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СОБЫТИЙ GROUND LEVEL ENHANCEMENT	66
КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ НОРМАЛИ К УДАРНОЙ ВОЛНЕ МКВМ.....	67
ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ.....	68
СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ, UVRI-ФОТОМЕТРИЯ И ПОЛЯРИМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АСТЕРОИДОВ.....	69
Секция 4. Экзопланеты.....	70
ВЛИЯНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ НА СТРУКТУРУ ТОКОВОГО СЛОЯ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ СОЛНЦА, ЭКЗОПЛАНЕТ И ЗВЁЗД.....	71
СБЛИЖЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО СКОПЛЕНИЯ NGC1977 С ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМОЙ TOI-2796	72
Секция 5. Базы данных и информационное обеспечение астрофизических исследований	73
ФОРБУШ-ЭФФЕКТЫ И МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ: НОВЫЙ ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ	74

ИНТЕРАКТИВНЫЕ КАРТЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ ГАС ГАО.....	75
ОБРАБОТКА АРХИВА КАДРОВ ТЕЛЕСКОПА RC-600 КГО ГАИШ МГУ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЯРКОСТИ ФОНА НЕБА	76
О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБКАХ ПРИ ПЕРЕКРЕСТНОМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИИ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В GAIA.....	77
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АСТРОФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ	78

Секция 1.
Физика галактик и космология

ПЕКУЛЯРНАЯ СТРУКТУРА КАРЛИКОВОЙ ИЗОЛИРОВАННОЙ ГАЛАКТИКИ ESO 149-003

Владимирова К.В.^{1,2}, Макаров Д.И.¹, Чазов М.И.¹, Макарова Л.Н.¹

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Карачаево-Черкесская Республика, Зеленчукский район, Россия

²Санкт-Петербургский государственный Политехнический университет имени Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия
vladimirovakri@mail.ru

Карликовая иррегулярная галактика ESO 149-003, расположенная на расстоянии 7 Мпк в направлении Антивирго, демонстрирует необычную форму, включающую в себя оболочки, характерные для гигантских эллиптических галактик. Предположительно, эти структуры сформировались в результате поглощения галактикой карликового спутника. В данной работе представлены результаты исследования звёздного населения и фотометрических характеристик ESO 149-003. Анализ данных, полученных с использованием телескопа имени Хаббла, позволил исследовать звёздные популяции и реконструировать историю звездообразования в этой системе. Мы обнаружили, что современный всплеск звездообразования начался около 230 млн лет назад и, по всей видимости, был вызван поглощением спутника, сформировав около 12% всех звёзд.

В дополнение к анализу звёздного населения был проведён анализ фотометрических профилей галактики. Построены профили распределения плотности звёзд различных типов (все звёзды, звёзды главной последовательности (ГП), красные гиганты (КГ)) вдоль главной оси галактики. Звёзды ГП более сконцентрированы в центре, чем КГ. Получены фотометрические профили в фильтрах g , r , i и z . Сравнение профилей плотности показало статистически значимую разницу между звёздными популяциями в основном теле галактики и в оболочках галактики. Молодые звёзды концентрируются в основном теле, тогда как в оболочках молодых звёзд на порядок меньше ($MS/RGB = 0,14-0,16 \pm 0,02$). Это указывает на то, что молодые звёзды практически не участвуют в формировании этих приливных структур.

В результате визуального осмотра 992 галактик Местного Объёма, попадающих в область DESI Legacy Surveys 3, мы отобрали 26 карликовых галактик, показывающих приливные структуры, похожие на ESO 149-003.

СВЕРХТОНКИЕ ПЕРЕХОДЫ В АТОМАХ И ВРАЩАТЕЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ В МОЛЕКУЛАХ РАННЕЙ ВВСЕЛЕННОЙ КАК ВОЗМОЖНЫЙ ИСТОЧНИК СПЕКТРАЛЬНЫХ ИСКАЖЕНИЙ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Голубев М.Н.¹, Кислицын П.А.², Иванчик А.В.²

¹*СПбПУ Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия*

²*ФТИ им А.Ф.Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия*

Golubew.maxim2015@yandex.ru

В скором будущем ожидается измерение влияния сверхтонкого перехода основного энергетического уровня атома водорода на спектр реликтового излучения, что позволит измерить температуру Вселенной в эпоху Темных Веков, в свою очередь это позволит определить наличие экзотических источников нагрева в ранней Вселенной, например, первичных черных дыр, и уточнит время образования первых звезд и галактик. В связи с этим встает вопрос, какие элементы могут вносить подобные искажения и насколько сильно [1].

В работе представлен систематический анализ способности других атомов и молекул исказить спектр реликтового излучения. В качестве потенциальных кандидатов было исследовано 5 атомов, 6 молекул, наиболее распространенных в первичной среде, и их ионы [2]. Расчеты показали, что помимо водорода наибольшее влияние должен оказывать сверхтонкий переход в дейтерии, однако, по сравнению с водородом эффект будет на 6 порядков слабее. Так же рассчитаны диапазоны частот для всех рассматриваемых переходов, в которых ожидается их наблюдение.

Литература

1. Pritchard J., Loeb A. 21cm cosmology in 21 century // Reports on Progress in Physics, - 2012, -Vol.75(8), -id. 086901
2. Gallie D, Palla F., The Dawn of Chemistry // Annu. Rev. Astron. Astrophys.,-2012, -Vol.51, -P.163-206

ОПТИЧЕСКАЯ МИКРОПЕРЕМЕННОСТЬ КАК ИНСТРУМЕНТ ИССЛЕДОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СТРУКТУРЫ ПОТОКА ДЖЕТА

Горбачев М.А., Бутузова М.С.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Крым, Россия

mgorbachev17@gmail.com

Переменность блазаров, наблюдаемая в широком диапазоне электромагнитного спектра и на различных временных масштабах, может возникать по нескольким причинам. С одной стороны, это связано с физическими изменениями в самом джете, такими как ускорение электронов на фронте ударных волн и последующая инжекция более энергетичных электронов в джет. С другой стороны, на переменность влияет изменение коэффициента релятивистского усиления (доплер-фактор), которое происходит за счет изменения скорости и/или угла джета относительно луча зрения. Изогнутые джеты и движение их компонентов по искривленным траекториям обнаруживаются в данных наблюдений на интерферометрах со сверхдлинной базой.

В потоке вещества джета могут возникать неоднородности, т.е. некоторые области – субкомпоненты, движущиеся под некоторым углом к общей траектории и имеющие вследствие этого другой доплер-фактор. Тогда появление и эволюция субкомпонентов с различным объемом, временем жизни и кинематическими параметрами создает переменность на короткой временной шкале. В рамках этих предположений мы моделируем оптическую переменность блеска блазара для различных наборов субкомпонент. Варьируемыми параметрами модели являются размер, количество, объем субкомпонентов и угол отклонения их скорости от общей траектории. Наклоны спектров мощности модельных кривых блеска лежат в диапазонах от -1.9 до -2.3, что хорошо согласуется с данными наблюдений. Также показано, что количество субкомпонент и размер излучающей области существенно влияет на амплитуду переменности.

Продолжение данной работы состоит в разработке метода сравнения спектров мощности модельных и наблюдаемых кривых блеска с учетом их искажения вследствие ограниченности ряда. Таким образом, мы получим мощный инструмент для исследования внутренней структуры потока джета блазаров. (Работа поддержана грантом РФФИ № 24-22-00343)

СВОЙСТВА ПЕРЕМЕННОСТИ БЛАЗАРА S5 1803+784 НА КРАТЧАЙШЕЙ ВРЕМЕННОЙ ШКАЛЕ ЗА ПЕРИОД 07.2019-06.2020

Гусева В.А., Горбачев М.А., Бутузова М.С.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, п. Научный, Республика Крым, Россия
Viktoriya.nikagu@gmail.com

Исследование переменности яркости блазаров на масштабах времени несколько суток интересно тем, что можно получить выводы о внутренней структуре потока джета [1]. Блазар S5 1803+784 имеет длительные ряды данных TESS с высоким временным разрешением (см. рис. 1). Используя метод определения кратчайшего времени переменности (τ), предложенный в [1], мы исследовали взаимосвязь τ с параметрами долговременной оптической переменности.

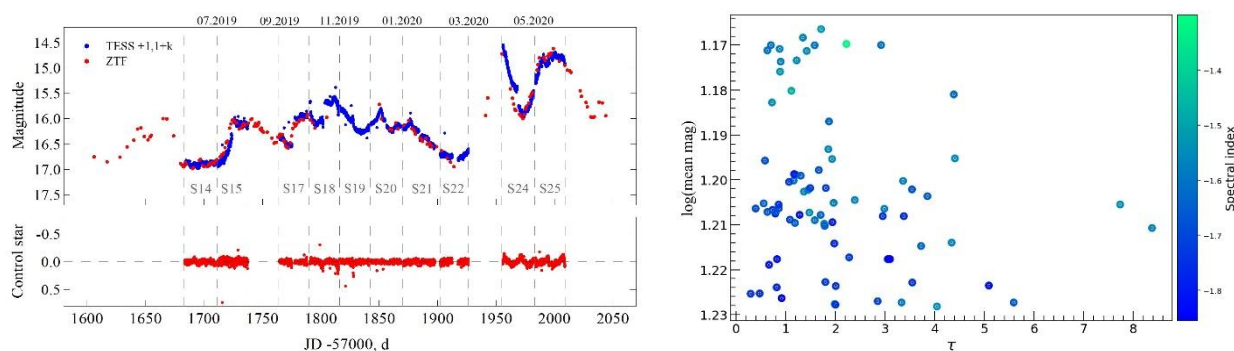


Рисунок 1. Кривая блеска S5 1803+784 по данным TESS и ZTF (слева).

Зависимость средней звездной величины, спектрального индекса и кратчайшего времени переменности (справа)

τ меньше 3 дней встречается при всех значениях средней звездной величины и спектрального индекса. Прослеживается, что чем больше звездная величина, тем более плоский спектр. Нет связи между амплитудой переменности и характерным временем переменности, в отличие от интервала с 01.2022 по 01.2023 [2].

Работа поддержана грантом РФФИ № 24-22-00343.

Литература

1. Butuzova M. S., Guseva V. A., Gorbachev M. A. et al. A new method for studying the blazar variability on the shortest time scales and its application to S5 1803+784 // Journal of High Energy Astrophysics. — 2025. — Vol. 45. — P. 19–31.
2. Guseva V. A. Variability properties of blazar S5 1803+784 on the shortest timescale // Физика космоса: труды 52-й Международной студенческой научной конференции. — 2025. — с. 254–257.

ИСТОЧНИКИ ИОНИЗАЦИИ ГАЗА ВО ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩЕЙ ГАЛАКТИКЕ NGC 5278

Жолнирова Д.Е.¹, Моисеев А.В.²

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Daria.Zholnirova@urfu.me

В настоящей работе анализируются спектральные наблюдения активной взаимодействующей галактики NGC 5278 (“Телефонная трубка”). Данные о крупномасштабных распределениях лучевых скоростей и дисперсии скоростей ионизованного газа в линии $H\alpha$ получены из наблюдений на 6-м телескопе САО РАН со сканирующим интерферометром Фабри-Перо, работающим в составе прибора SCORPIO-2. Информация об отношении потоков оптических эмиссионных линий, поля скоростей звезд и газа в центральной области галактики взята из открытого архива интегрально-полевой спектроскопии (кубы данных обзора MaNGA/SDSS). Основное внимание уделяется анализу состояния газа на основе диаграммы отношения потоков оптических эмиссионных линий (BPT-диаграммы) [1] и диаграммы отношения линий – дисперсия скоростей (BPT- σ) [2]. Полученные BPT-диаграммы показывают, что существенный вклад в ионизацию межзвездной среды вносит излучение активного ядра. Наряду с этим замечен вклад в ионизацию газа от современного звездообразования.

Литература

1. Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. // Publ. Astron. Soc. Pac. 1981. Vol. 93. P. 519.
2. Опарин Д. В., Диагностика ионизованного газа в галактиках с помощью соотношения «BPT – дисперсия лучевых скоростей»// Астрофизический бюллетень. 2018. № 3. С. 315–327.

СРАВНЕНИЕ ПОТОКОВ ИЗЛУЧЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ В ГАЛАКТИКЕ NGC 1512

Измодедова Е.А., Смирнова К.И.

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
izmodenova2002@gmail.com

В данной работе мы исследуем эмиссионные потоки в различных диапазонах в областях звездообразования спиральной галактики с баром NGC 1512.

Для анализа были использованы карты областей звездообразования, полученные в работах Groves et al. [1] и Congiu et al. [2].

В работе использовались данные высокого разрешения: JWST (7.7 мкм, 21 мкм) [3], ALMA (линия CO(2-1)) [4], ALMA-MUSE (линии H α , H β , [OIII] λ 5007) [5]. Пиксели FITS-файлов были приведены к одному размеру. Данные были скорректированы на красное смещение галактики.

Определение потоков излучения осуществлялось методом апертурной фотометрии.

Для определения степени взаимосвязи между двумя наборами данных был проведён расчёт коэффициента корреляции Спирмена.

Результаты нашего исследования показали, что все анализируемые потоки коррелируют между собой, но в разной степени. В частности, наблюдается корреляция между потоками в ближнем и среднем ИК-диапазоне, что указывает на то, что полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и мелкие стохастические пылинки возбуждаются одним источником излучения. Также было установлено, что эволюция ПАУ тесно связана с УФ-излучением в окрестностях зон ионизованного водорода.

Литература

1. Groves B. et al. The PHANGS–MUSE nebular catalogue // MNRAS. V. 520. I. 4. P. 4902–4952. 2023.
2. Congiu E. et al. PHANGS-MUSE: Detection and Bayesian classification of 40 000 ionised nebulae in nearby spiral galaxies // A&P. V. 672. P. A148. 2023.
3. Lee J.C. et al. The PHANGS-JWST Treasury Survey: Star Formation, Feedback, and Dust Physics at High Angular Resolution in Nearby Galaxies // APJL. V. 944. I. 2. P. L17. 2023.
4. Leroy A.K. et al. PHANGS-ALMA Data Processing and Pipeline // APJS. V. 255. I. 1. P. 19. 2021.
5. Emsellem E. et al. PHANGS-MUSE: Probing The Chemo-dynamical Evolution Of Disc Galaxies // A&A. V. 659. P. A191. 2022.

ПОИСК НОВЫХ КАРЛИКОВЫХ ГАЛАКТИК В МЕСТНОМ ОБЪЕМЕ: РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЮЖНОГО НЕБА

Козырев К.А.^{1 2}, Караченцев И.Д.²

¹ Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, г. Казань, Россия

² Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН, п. Нижний Архыз, Россия
frigidable@gmail.com

Представляем результаты поиска новых карликовых галактик в Местном объеме. Внутри удвоенных вириальных радиусов 20 галактик южного неба с использованием обзоров DESI Legacy Imaging Surveys было обнаружено 40 кандидатов в спутники, 10 из которых были известны ранее, но не имели четкой ассоциации с Местным объемом. В группе NGC 6744, одной из самых протяженных галактик в LV, найдено 8 новых кандидатов в спутники. Это увеличивает общее число предполагаемых членов группы до 25. На основе радиальных скоростей 7 спутников оценена общая масса группы: $M_T = (1.88 \pm 0.71) \times 10^{12} M_\odot$. Отношение массы к светимости в K-диапазоне составило $M_T/L_K = (16.1 \pm 6.0) M_\odot/L_\odot$, что согласуется с ожиданиями для групп с преобладанием спиральных галактик. В области вокруг Сомбреро (NGC 4594), одной из ярчайших галактик Местного Объема, обнаружено 13 новых карликовых галактик. Подтверждено членство 25 из 27 ранее обнаруженных спутников. Общая масса группы Сомбреро оценена в $M_T = (15.5 \pm 4.9) \times 10^{12} M_\odot$. Это делает группу Сомбреро одной из самых массивных в LV. Мы воспроизводим распределение 68 галактик ранних и поздних типов в Местном объеме вокруг Сомбреро, отмечая их сильную морфологическую сегрегацию, а также наличие протяженной ассоциации карликовых галактик на 8 градусах к юго-востоку от Сомбреро.

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ТЕМНОГО ГАЛО ПО ОДНОМУ ИЗОБРАЖЕНИЮ ДЛЯ ГАЛАКТИКИ, ВИДИМОЙ С РЕБРА

Марчук А. А.^{1,2}

¹ГАО РАН, Санкт-Петербург, Россия

²СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

a.a.marchuk+astro@gmail.com

Галактики, видимые с ребра или почти с ребра, позволяют непосредственно измерить толщину их дисков. Известно, что отношение радиального и вертикального масштабов диска может быть напрямую связано с массовой долей темного вещества в пределах диска [1] через параметр Тумре и квадрат отношения дисперсий звезд в радиальном и вертикальном направлении. Таким образом, для галактик, видимых с ребра, мы имеем возможность независимо оценить массу темного гало, однако для этого необходимо знать коэффициент пропорциональности. В этой работе показано, как потенциально с помощью только лишь одного изображения галактики в ИК полосе (чтобы можно было найти массу) и дополнительных условий (зависимость Талли-Фишера, равновесие диска в вертикальном направлении) можно уточнить исследуемую оценку. Более того, зависимость коэффициента пропорциональности от расстояния R дает возможность восстановить параметры самого темного гало (в работе используется NFW-профиль [2]). Продемонстрированы предварительные результаты применения метода для выборки далеких галактик (вплоть до $z \sim 2-3$), полученных из наблюдений JWST. Для этих галактик доля массы темного гало по отношению к массе диска в пределах пяти экспоненциальных масштабов растет к современной эпохе, что может быть признаком ожидаемого поджатия темного гало к центру [3].

Литература

1. Zasov, A.V. et al. Relationship between the Thickness of Stellar Disks and the Relative Mass of a DarkGalactic Halo.// Astronomy Letters 28, 527–535, 2002.
2. Navarro, J. F., Frenk, C.S., White, S.D.M //The Structure of Cold Dark Matter Halos. The Astrophysical Journal 462, 563, 1996.
3. Blumenthal, G. R. et al.// Contraction of Dark Matter Galactic Halos Due to Baryonic Infall. The Astrophysical Journal 301, 27, 1986.

ДИФфуЗНЫЙ ГАЗ НАД ПЛОСКОСТЬЮ ДИСКОВЫХ ГАЛАКТИК И ИСТОЧНИКИ ЕГО ИОНИЗАЦИИ

Постникова В.К.^{1,2}, Бизяев Д.В.^{1,3}

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

²МГУ им. М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия

³Обсерватория Апаچی Поинт, Университет штата Нью Мексико, США

vraeranaz@gmail.com

Исследуются источники ионизации диффузного газа на различных галактических высотах в выборке из 436 различных дисковых галактик, наблюдаемых точно с ребра. Привлекаются данные 3D-спектроскопии галактик обзора SDSS-IV MaNGA [1], а также теоретические модели фотоионизации и ударной ионизации газовой среды 3MdB [2,3].

Большое число галактик в выборке позволяет получить статистически значимые результаты и с помощью процедуры сложения спектров проанализировать свойства диффузного газа вплоть до больших высот над дисками галактик различных типов. Проверяется предположение об ионизации диффузного газа излучением горячих маломассивных проэволюционировавших звёзд и звёзд классов О-В, а также ударными волнами. Данное исследование является продолжением работы [4-5], в которой опубликованы первые результаты, полученные с помощью выборки из 239 галактик MaNGA, наблюдаемых с ребра.

Исследование выполняется в рамках государственного задания МГУ им. М.В. Ломоносова, а также при поддержке Фонда развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (грант № 24-1-5-160-1).

Литература

1. Bundy K. et al. Overview of the SDSS-IV MaNGA Survey: Mapping nearby Galaxies at Apache Point Observatory // *Astrophys. J.* 2015. Vol. 798, № 1. P. 7
2. Morisset C. et al. A virtual observatory for photoionized nebulae: the Mexican Million Models database (3MdB) // *Rev. Mex. Astron. Astrofis.* 2015. V. 51. P. 103–120.
3. Alarie A., Morisset C. Extensive Online Shock Model Database // *Rev. Mex. Astron. Astrofis.* 2019. Vol. 55. P. 377–394.
4. Постникова В. К., Бизяев Д. В. SDSS-IV MaNGA: Источники ионизации диффузной газовой среды на больших галактических высотах // *Письма в Астрономический журнал.* – 2023. – Том 49, № 4. P. 237–254.
5. Postnikova V. K., Bizyaev D. SDSS-IV MaNGA: Ionization Sources of the Extra-planar Diffuse Ionized Gas // *Astronomy Letters.* 2023. Vol. 49, № 4. P. 151–166.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН НА ИОНИЗАЦИЮ ГАЗА В ГАЛАКТИКАХ С ПОЛЯРНЫМ КОЛЬЦОМ

Тонкова Д.Н.¹, Моисеев А.В.²

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

tonkovad2004@mail.ru

В настоящей работе анализируются данные спектральных наблюдений галактик с полярным кольцом: UGC 9796 и SPRC 69. Исследуются основные источники ионизации в области столкновения газа, находящегося в полярном кольце, с диском центральной галактики. Предполагается, что здесь формируются ударные волны, однако наблюдательные свидетельства этого пока крайне немногочисленны. Данные о дисперсии скоростей ионизованного газа в линии $H\alpha$ получены из наблюдений на 6-м телескопе CAO РАН со сканирующим интерферометром Фабри–Перо, работающим в составе прибора SCORPIO-2. Информация об отношении потоков основных эмиссионных линий, поля скоростей звезд и газа, а также данные о дисперсии скоростей ионизованного газа в линии $H\alpha$ взяты из открытого архива MaNGA SDSS. Основное внимание уделяется анализу состояния газа на основе диаграммы «отношения потоков оптических эмиссионных линий» (BPT-диаграммы [1]) и «диаграммы отношения линий – дисперсия скоростей» (BPT- σ) [2]. В обеих галактиках наблюдается положительная корреляция между дисперсией лучевых скоростей и вкладом ударного возбуждения в ионизацию газа. Участки с низкими значениями дисперсий лучевых скоростей на BPT-диаграммах оказываются в области, характерной для фотоионизации молодыми звездами, а участки с высокой дисперсией смещены в сторону области доминирования ударной ионизации. В то же время для UGC 9796 прослеживается отрицательная корреляция между отношением интенсивностей линий дублета серы ($[SII]6731/[SII]6717$) и σ . Это означает, что более высокая дисперсия скоростей характерна для диффузного газа с меньшей электронной плотностью. На основе выполненного анализа был сделан вывод о наличии прямого столкновения газа, находящегося в полярном кольце, с диском центральной галактики.

Литература

1. Baldwin J. A., Phillips M. M., Terlevich R. Classification parameters for the emission-line spectra of extragalactic objects. // Publ. Astron. Soc. Pac. 1981. Vol. 93. P. 519.
2. Опарин Д. В., Диагностика ионизованного газа в галактиках с помощью соотношения «BPT – дисперсия лучевых скоростей» // Астрофизический бюллетень. 2018. № 3. С. 315–327.

МНОГОЧАСТИЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ БАТАРЕИ БИРМАНА В ГАЛАКТИКАХ

Тян А.И.¹, Андреасян Р.Р.², Марчевский И.К.³, Михайлов Е.А.^{1,4}

¹Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²Бюраканская астрофизическая обсерватория имени В.А. Амбарцумяна Национальной академии наук Республики Армения, Бюракан, Армения

³Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

⁴Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

tian.ai22@physics.msu.ru

Известно, что большинство спиральных галактик обладают крупномасштабными магнитными полями, связанными с механизмом динамо. Данный подход основан на одновременном действии альфа-эффекта и дифференциального вращения, экспоненциально увеличивая магнитное поле галактики. Тем не менее встаёт вопрос о возникновении затравочных полей, который связан с принципиально другими процессами. Одним из объяснений может служить механизм Бирмана [1]. Заряженные частицы, протоны и электроны, ввиду разности масс, по-разному взаимодействуют с окружающей средой. Тяжёлые протоны приобретают меньшую угловую скорость, что ведёт к возникновению круговых токов. Впоследствии эти токи генерируют магнитные поля перпендикулярные диску.

Основной интерес представляет нахождение детальной структуры затравочного магнитного поля. В данной работе был использован метод многочастичного моделирования пар электронов и протонов. На каждую пару действуют силы со стороны магнитного поля, созданного другими парами, и окружающей среды. Данные уравнения решаются численно; для ускорения расчетов использованы вычислительные возможности современных видеокарт. Далее вычислялось значение суммарного магнитного поля, созданного всеми частицами. Итоговое распределение имеет принципиально схожий вид с работами, использующих другие методы [2].

Литература

1. L. Biermann, A. Schlüter, Cosmic Radiation and Cosmic Magnetic Fields. II. Origin of Cosmic Magnetic Fields // Phys. Rev. 82, 863. 1951.
2. Е. А. Михайлов, Р. Р. Андреасян, Батарейный механизм Бирмана и структура начального магнитного поля в галактиках // Астрономический журнал 98, 795. 2021.

ИЗГИБЫ ДИСКОВ ГАЛАКТИК ОТ $z = 2.5$ ДО НАШЕЙ ЭПОХИ

Чугунов И. В., Решетников В. П., Марчук А. А.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия
chugunov21@list.ru

Изгибы звёздных и газовых дисков наблюдаются у части дисковых галактик. Как правило, изгиб становится заметным на периферии галактики, а его угол обычно не превышает нескольких градусов. Причины возникновения изгибов всё ещё не выяснены до конца, хотя и существует несколько гипотез, призванных объяснить это явление. [1]

Нами подготовлена выборка из более чем 1000 удалённых галактик (до $z \approx 2.5$), наблюдаемых с ребра, по данным глубоких полей космических телескопов HST и JWST. Измерены углы изгибов дисков при помощи метода скелетонизации изофот (см. пример на Рис. 1.) [2], исследована их связь с красным смещением галактик. Обнаружено, что диски галактик на больших красных смещениях оказываются изогнутыми гораздо чаще: так, на $z = 2$ (10 млрд лет назад) заметные изгибы (более 4°) наблюдаются у 60% галактик, в то время как вблизи $z = 0$ (наша эпоха) они обнаруживаются только в 20% случаев. Средний угол изгибов также повышается с ростом красного смещения. Наблюдаемые тренды согласуются с представлением о том, что взаимодействия между галактиками являются основной причиной возникновения изгибов, поскольку частота взаимодействий также понижалась со временем. Изгибная неустойчивость газового диска также может играть роль, поскольку массовая доля газа в галактиках повышается с ростом красного смещения.

Работа выполнена в рамках гранта РНФ 24-72-10084.

Галактика с заметным S-образным изгибом
 $z = 0.1997$, $\psi_e = 5.3^\circ$

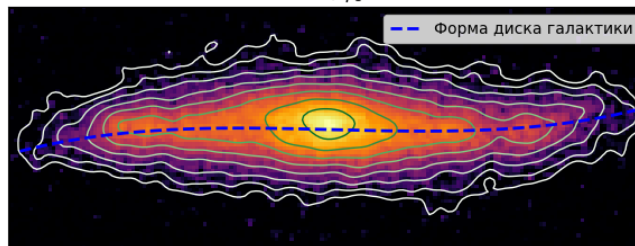


Рис. 1. Пример галактики с заметным изгибом (угол 5.3°) на $z = 0.20$. Пунктирной линией показана форма диска, определённая по изофотам (сплошные контуры)

Литература

1. Kujiken K. et al. Galactic Disc Warps // ASP Conference Series, V. 230. P. 401-408. 2001.
2. Reshetnikov V. P. et al. Galaxies with conspicuous optical warps // MNRAS, V. 461. I. 4. P. 4233-4245

ПОИСК УЛЬТРАКОРОТКИХ ВСПЛЕСКОВ ЧЕРЕНКОВСКОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕМ ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ НЕЙТРИНО С ЛУНЫМ РЕГОЛИТОМ

Шавкович С.А.

Пушкинский естественно – научный институт, Пушкино, Россия

Ser-shavkovich@yandex.ru

В работах Г.А.Аскарьяна 1960-х гг. [1,2] показано, что взаимодействие высокоэнергичных частиц (в том числе и нейтрино) с веществом плотного диэлектрика приводит к образованию каскадов с избытком электронов, движущихся со сверхсветовой скоростью в данной среде. На этом эффекте Аскарьяна был основан радиоастрономический метод регистрации нейтрино сверхвысоких энергий, предложенный в работе Р.Д.Дагкесаманского и И.М.Железных [3]. В данном сообщении приводится краткий обзор применения радиоастрономического метода с целью поиска черенковских радиовсплесков от Луны. Приводятся некоторые результаты поиска таких радиовсплесков на радиотелескопе метрового диапазона волн БСА ФИАН.

Литература

1. Г.А.Аскарьян, «Избыточный отрицательный заряд электронно-фотонного ливня и когерентное радиоизлучение от него», ЖЭТФ, 1961, т.41, стр.616-618.
2. Г.А.Аскарьян, «Когерентное радиоизлучение от космических ливней в воздухе и в плотных средах», ЖЭТФ, 1965, т. 48, стр. 988-990.
3. Р.Д.Дагкесаманский, И.М.Железных, «Радиоастрономический метод регистрации нейтрино и других элементарных частиц супервысоких энергий», Письма в ЖЭТФ, 1989, т.50, стр. 233-235.

Секция 2.

Звезды и межзвездная среда

ДИНАМИКА ТОРОИДАЛЬНЫХ МАГНИТНЫХ СИЛОВЫХ ТРУБОК В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ

Бартая Н.В.¹, Хайбрахманов С.А.^{1,2}

¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
nody.email@gmail.com

Разработана двумерная численная модель динамики тороидальных магнитных силовых трубок (МСТ) в аккреционных дисках молодых звезд типа Т Тельца. Модель позволяет анализировать движение МСТ в вертикальном и радиальном направлениях. При типичных параметрах МСТ образуются во внутренней области диска ($r < 0.2$ а.е.), в которой происходит интенсивная генерация тороидального магнитного поля.

Расчеты показывают, что МСТ движутся квазиодномерно вдоль оси вращения и всплывают к поверхности диска со сверхзвуковыми скоростями до 4 км/с. В плоскости диска наблюдаются малоамплитудные колебания МСТ относительно состояния центробежного равновесия. В атмосфере диска МСТ расширяются до размеров, превышающих полутолщину диска, и формируют неоднородную замагниченную корону. Диссипация МСТ происходит там, где находится область формирования истечений из дисков. Поэтому можно предположить, что периодически всплывающие МСТ могут обуславливать наблюдаемую неоднородность истечений и джетов.

Магнитная плавучесть приводит к переносу массы, углового момента и магнитного потока из диска в его атмосферу. Единичная МСТ переносит до 0.1% углового момента, 10^{34} эрг магнитной энергии и 10^{22} Мкс магнитного потока. Пересоединение магнитных полей различных МСТ может быть одной из причин вспышечной активности молодых звездных объектов. Отвод углового момента из диска в корону может обуславливать нестационарную аккрецию в дисках.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ (проект 7/2025)

Литература

1. Dudorov A.E., Khaibrakhmanov S.A., Sobolev A.M. // Mon. Not. R. Astron. Soc. 2019. V. 487. P. 5388.
2. Dudorov A.E., Khaibrakhmanov S.A. // Astrophys. Space Sci. 2014. V. 352. P. 103.
3. Бартая Н.В., Хайбрахманов С.А. // Науч. Труды ИНАСАН. 2023. Т. 8. С. 119-123.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВЕЗДЫ HD188101 С АНОМАЛИЯМИ В ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ ПРИ ОТКАЗЕ ОТ ПРЕДПОЛОЖЕНИЯ О ЛОКАЛЬНОМ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОМ РАВНОВЕСИИ

Баязитов Р.М.¹, Машонкина Л.И.²

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Институт астрономии РАН, Москва, Россия

rus.bayazitov@bk.ru

Звёзды спектральных классов А-В главной последовательности с отклонениями в химическом составе от солнечного называют химически-пекулярными (СР-звёздами). У СР-звёзд наблюдаются изменяющиеся с вращением звезды крупномасштабное магнитное поле, поглощение в спектральных линиях некоторых элементов и потоки в континууме. Для объяснения химической пекулярности предложен механизм атомной диффузии, который нуждается в проверке наблюдениями.

У объекта HD188101 линии HeI, SiII, SiIII не описываются в рамках упрощающего предположения о локальном термодинамическом равновесии (ЛТР), имеются слабое магнитное поле и характерная для СР-звёзд фотометрическая переменность [1]. По фотометрическим измерениям, спектрам с Большого телескопа азимутального (БТА) мы определили фундаментальные параметры объекта, содержания элементов He, C, O, Mg, Si, Ti, Sr в различные фазы вращения с учётом отклонений от ЛТР. Анализ переменности показывает характерную для СР-звёзд неоднородность распределения элементов по поверхности. При отказе от ЛТР мы описали линии SiII, SiIII. Объект классифицируем как СР-звезду с пониженным содержанием He, избытками Si, Ti, Sr (He-weak SiTiSr).

Литература

1. Yakunin I. A. et al. Magnetic Fields of New CP Stars Discovered with Kepler Mission Data // Astrophysical Bulletin, V. 78 I. 2 P. 141–151. 2023.

ФОРМАЛЬДЕГИД И МЕТАНОЛ В ДОЗВЁЗДНЫХ ЯДРАХ**Борщёва Е.В.^{1,2}, Пунанова А.Ф.³**¹*Институт астрономии РАН, Москва, Россия*²*Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия*³*Космическая обсерватория Унсала, Унсала, Швеция**kath@inasan.ru*

Формальдегид H_2CO — ключевой прекурсор многих сложных органических соединений в межзвёздной среде, а также промежуточная ступень в цепочке гидрирования CO , приводящей к образованию метанола CH_3OH на поверхности космической пыли в дозвёздных ядрах. Различные астрохимические модели систематически предсказывают содержание H_2CO в газовой фазе на порядок выше наблюдаемого, в результате чего отношение содержаний $\text{H}_2\text{CO} : \text{CH}_3\text{OH}$ оказывается обратным к наблюдаемому.

В данной работе представлено моделирование содержаний H_2CO и CH_3OH с помощью обновлённой версии астрохимического кода MONACO [1] в семи плотных ядрах из волокна L1495, наблюдательные данные для которых получены на телескопе IRAM [2]. Проведены различные тесты, позволяющие ограничить параметры модели и приблизить отношение содержаний $\text{H}_2\text{CO} : \text{CH}_3\text{OH}$ к наблюдаемому. В частности, исследовано соотношение каналов реакции $\text{CH}_3 + \text{O}$, которая является основным источником H_2CO в газовой фазе.

Работа поддержана грантом РФФ 23-12-00315.

Литература

1. Vasyunin A.I. et al. Formation of complex molecules in prestellar cores: a multilayer approach // The Astrophysical Journal. V. 842. I. 1. Article id. 33. 18 pp. 2017.
2. Punanova A.F. et al. Correlation between formaldehyde and methanol in prestellar cores // MNRAS. V. 537. I. 4. P. 3686-3700. 2025.

ОПТИЧЕСКИЕ ВСПЫШКИ ЗВЕЗД С РЕНТГЕНОМ ИЗ КАТАЛОГА eРОЗИТА / SRG В РАДИУСЕ 30 ПАРСЕК ПО ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ TESS

Горбачев М.А.^{1,2}, Бикмаев И.Ф.^{1,2}, Хамитов И.М.^{1,2}, Гильфанов М.Р.^{3,4},
Сюняев Р.А.^{3,4}, Медведев П.С.³

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Академия наук Республики Татарстан, Казань, Россия

³Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

⁴Институт астрофизики Общества Макса Планка, Германия

mgorbachev17@gmail.com

В работе рассматривается область в пределах 30 парсек, на восточном галактическом полушарии, за обработку данных которого отвечает российский консорциум телескопа eРОЗИТА обсерватории “Спектр-РГ” (около 5 тысяч звезд с l от 0° до 180°). В результате четырех полных обзоров всего неба, выполненных телескопом eРОЗИТА, получен каталог рентгеновских источников, который включает значительное количество звезд нашей Галактики. Оптическое отождествление рентгеновских источников eРОЗИТА выполнено по сопоставлению с каталогом GAIA DR3. Для исследования оптической вспышечной активности в рентгеновской выборке были использованы данные, полученные космической обсерваторией TESS. Реализация таких проектов, как TESS, позволяет практически непрерывно вести наблюдения за звездами на протяжении длительного периода времени с высоким временным разрешением, а большой объем накопленных данных наблюдений TESS позволяет проводить различные статистические исследования.

Звездные вспышки являются наиболее яркими представителями множества различных явлений, обусловленных магнитной активностью звезд. Проведенный анализ доступных кривых блеска TESS с высоким временным разрешением (2 минуты) позволил выделить более 4000 оптических вспышек у 492 звезд с рентгеновской активностью. При этом для выборки из 640 звезд с рентгеном ниже порога чувствительности eROSITA выделено чуть более 100 событий. Диапазон энергий зафиксированных оптических вспышек лежит в пределах от 10^{30} до 10^{35} Эрг.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СПЕКТРОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА В РАМКАХ КАСКАДНОГО МГД-МОДЕЛИРОВАНИЯ

Дуканов И.А.^{1,2}, Юшков Е.В.^{1,3}, Соколов Д.Д.^{1,2}

¹Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, г. Москва, Россия

²ИЗМИРАН, г. Троицк, Россия

³ИКИ РАН, г. Москва, Россия

dukanov.ia21@physics.msu.ru

Данные Parker Solar Probe подтвердили ранее обнаруженное наличие в картине спектральной плотности флуктуаций энергии магнитного поля двух изломов, первый из которых расположен вблизи субионного масштаба, другой - на левом конце инерционного интервала, то есть в области вихрей большого масштаба. Единого мнения на счет эволюции этих маркеров пока не сложилось, поэтому на данный момент изучение динамики этих изломов, ограничивающих инерционный интервал и определяющих турбулентный каскад, является ключевым. И если для описания околорассеивающего излома необходимым кажется привлечение кинетического подхода, то эволюцию крупномасштабного излома, видимо, можно описать, оставаясь в рамках магнитогидродинамической парадигмы. В настоящей работе, используя в качестве основы данные миссии PSP, мы описываем свободное вырождение турбулентного каскада с помощью оболочечной изотропной МГД-модели и стараемся повторить реально наблюдаемую эволюцию излома спектра [1].

Для описания турбулентного каскада мы используем каскадную модель, разработанную Ф. Плунианом и П.Г. Фриком. Класс каскадных моделей для систем гидродинамического типа представляет из себя Фурье-образы системы МГД-уравнений, в которых образы нелинейных слагаемых приближены суммой квадратичных нелинейностей таким образом, чтобы в бездиссипативном случае выполнялись законы сохранения трехмерной МГД. При этом непрерывная спектральная шкала заменяется набором дискретных спектральных оболочек, а в нелинейных слагаемых учитывается обмен энергией только между соседними оболочками. Мы используем данные PSP вблизи Солнца как входные и изучаем в процессе свободного вырождения турбулентного каскада эволюцию спектров и динамику движения крупномасштабного излома. Полученные результаты моделирования сравниваются с данными PSP на оси Солнце-Земля и на основании сравнения делается вывод о применимости оболочечного анализа и гипотезы свободного вырождения.

Литература

1. Bruno R., Carbone V. The solar wind as a turbulence laboratory //Living Reviews in Solar Physics. 2013. Т. 10. №. 1. С. 2.

АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ И СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ ПРОМЕЖУТОЧНОГО ПОЛЯРА SDSS J201116.8+600428

Ефремова П.Д.¹, Колбин А.И.², Татарников А.М.³, Татарников А.А.³,
Горбачев М.А.^{1,4}, Борисов Н.В.², Буренков А.Н.²

¹КФУ, г. Казань, Россия

²САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия

³МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

⁴КрАО РАН, пос. Научный, Россия

polyaefremowa@gmail.com

Недавно открытая катаклизмическая переменная переменная SDSS J201116.8+600428 классифицирована как промежуточный поляр в работах Като и Романова [1] и Шкоди и др. [2] по фотометрической переменности и виду оптических спектров соответственно. Система является уникальной, поскольку ее орбитальный период составляет 147 мин, она попадает в так называемый “провал периодов” (промежуток орбитальных периодов от 2 до 3 часов), а еще обладает высоким отношением периода белого карлика к орбитальному периоду - 0.4.

В нашей работе проанализированы фотометрические наблюдения объекта, проводившиеся одновременно в четырех фотометрических полосах: V (на 60-см телескопе КрАО РАН), r, i (на телескопе РТТ-150) и K (на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ). Форма полученных кривых блеска повторяется, однако сама переменность является довольно сложной и слабо повторяется от цикла к циклу в пределах указанных выше периодов.

Спектральные данные, полученные на 6-метровом телескопе БТА, подтверждают принадлежность объекта к катаклизмическим переменным: в спектрах присутствуют характерные эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия. Также в спектрах выделяется сильная линия HeII $\lambda 4686$, указывающая на магнитную природу излучения в системе. Полученные лучевые скорости указанных линий не имеют явной переменности, что, возможно, является следствием высокого наклона орбиты системы.

Литература

1. Kato T., Romanov F.D. Romanov V48: unusual intermediate polar in the period gap // arXiv:2204.02598. 2022.
2. Szkody P. et al. Spectroscopic Follow-up on Potential Magnetic Cataclysmic Variables // ApJ. V. 167. P. 186. 2024.

ПОЛИТРОПНЫЕ ПУЗЫРИ ЗВЁЗДНОГО ВЕТРА И ИХ УДАРНЫЕ СТРУКТУРЫ В РАДИАЛЬНО СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ СРЕДАХ

Загоруля Д.С.^{1,2,3}, Шан С.⁴, Краснопольский Р.⁴

¹Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

²Физический институт имени П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

³Пушкинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино, Россия

⁴Институт астрономии и астрофизики Академия Синика, Тайбэй, Тайвань

zagorulia.ds@phystech.edu

Мы обобщаем аналитические результаты для политропных пузырей звёздного ветра, первоначально сформулированные в работе Ку и МакКи [1, 2], и их ударных структур. Мы фокусируемся на случаях со сферической симметрией в межзвёздной среде с квадратично убывающей плотностью. Такие конфигурации возникают естественным образом в звёздообразующей среде и имеют приложения к звёздным ветрам, втекающим в уже существующий пузырь. Для области сжатого ветра написана точная система ОДУ, а приближенные решения найдены путем фитирования. Анализируя взаимодействие между звёздным ветром и окружающей средой в пределе сильного сжатия, мы моделируем образование и эволюцию сферических пузырей и выделяем их ударные фронты и контактные разрывы. Наш аналитический метод обеспечивает интуитивный подход к вычислению толщины пузырей, что крайне важно для понимания их динамики и наблюдательных характеристик. Мы исследуем численным методом условия без явного требования предела сильного сжатия, а затем сравниваем численные и аналитические результаты при различных условиях.

Литература

1. Koo B.-C., McKee C. F. Dynamics of Wind Bubbles and Superbubbles. I. Slow Winds and Fast Winds // ApJ. V. 388. P. 93. 1992.
2. Koo B.-C., McKee C. F. Dynamics of Wind Bubbles and Superbubbles. II. Analytic Theory // ApJ. V. 388. P. 103. 1992.

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ИЕРАРХИЧЕСКУЮ СТРУКТУРУ КОЛЛАПСИРУЮЩЕГО ПРОТОЗВЕЗДНОГО ОБЛАКА

Каргальцева Н.С.¹, Хайбрахманов С.А.^{1,2}

¹Челябинский государственный университет, г. Челябинск, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия
kargaltsevs@mail.ru

Выполнен анализ иерархической структуры коллапсирующих протозвездных облаков 1 и $10 M_{\odot}$ с различными начальными магнитной и вращательной энергиями. Используются результаты расчетов коллапса протозвездных облаков на изотермической стадии. Расчеты осуществлялись с помощью двумерного магнитогазодинамического кода Enlil для моделей однородного и неоднородного облака [1,2].

На основе расчетов анализируется зависимость геометрической толщины, массы, углового момента первичного протозвездного диска и его оболочки от начальной магнитной энергии. Выполнен анализ притока массы из оболочки на первичный диск в зависимости от начальной магнитной энергии. Показано, что к концу изотермической стадии при начальной магнитной энергии, составляющей 20% от гравитационной энергии, соотношение масс между первичным диском и оболочкой, $M_{\text{pd}}/M_{\text{env}} \approx 1$. Когда магнитная энергия более 40% от гравитационной энергии в расчетах изначально однородного облака масса первичного диска плавно увеличивается с начальной магнитной энергией, а в случае неоднородного протозвездного облака всё облако становится квазимагнитостатическим. Перенос углового момента в окружающую среду наиболее эффективен в процессе коллапса неоднородных протозвездных облаков с сильным магнитным полем, за счет генерации тороидальной компоненты магнитного поля во всем облаке.

Работа выполнена при поддержке Фонда перспективных научных исследований ЧелГУ (проект 7/2025)

Литература

1. Хайбрахманов С.А. и др. Моделирование изотермического коллапса магнитных протозвездных облаков // Астрон. Ж. 2021. Т. 98. № 8. С. 681-693.
2. Каргальцева Н.С., Хайбрахманов С.А. Эволюция углового момента в процессе коллапса магнитных вращающихся протозвездных облаков // Научные труды Института Астрономии РАН. 2023 г. Т.8. №3. С.144-149.

БЫСТРОЕ ИЗМЕНЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ВО ВРЕМЯ ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ LMC X-4

Кляйн Ю.С.^{1,2}, Семена А.Н.², Мереминский И.А.², Штыковский А.Е.²

¹Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

²Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

kleinjul963@gmail.com

LMC X-4 – это массивная рентгеновская двойная система с высокой постоянной светимостью пульсара. Главная особенность этой системы – наличие аperiодической вспышечной активности. Вспышки проявляются как эпизодические события сверхэддингтоновской светимости, длящиеся до нескольких килосекунд. Во время вспышек происходят резкие изменения профиля импульса, что свидетельствует о значительных изменениях либо в процессе энерговыделения, либо в темпе аккреции, либо в структуре аккреционной колонки.

В нашей работе мы проводим подробный анализ, уделяя особое внимание описанию фазового решения – зависимости фазового сдвига от времени для различных моделей ускорения пульсара. Для описания фазы мы применяем двумерные диаграммы яркости в пространстве «время–фаза» и ищем модель изменения периода, которая наилучшим образом описывает профили пульсаций в сегментах между скачками фазы.

Нами были использованы две модели ускорения: модель Гоша-Лемба и модель постоянного ускорения. Было показано, что на масштабах отдельного наблюдения порядка суток обе модели сравнительно хорошо описывают изменения периода. Однако на больших масштабах – от наблюдения к наблюдению – модель Гоша-Лемба не работает, поэтому в дальнейшей работе мы использовали более простую модель постоянного ускорения.

Нами было разработано несколько методов точного измерения периода, его производной, положений и амплитуд фазовых скачков на основе методов максимального правдоподобия.

Было показано, что фазовые скачки происходят плавно – максимум излучения постепенно смещается по фазе в течение приблизительно 10 периодов вращения. Скачки фазы предшествуют увеличению амплитуды пульсаций, которое, в свою очередь, предшествует росту потока во время вспышек. Это указывает на то, что вспышки инициируются на поверхности нейтронной звезды, что может свидетельствовать о перестройке магнитного поля.

ВОДА В ДОЗВЕЗДНОМ ЯДРЕ L1544: ДВУХФАЗНОЕ И ТРЕХФАЗНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Кочина О.В., Вибе Д.З., Кирсанова М.С.

Институт астрономии РАН, Москва, Россия

okochina@inasan.ru

Наблюдения линий воды играют важную роль в понимании ранних этапов формирования звёзд и химических процессов в молекулярных облаках. В холодных дозвездных ядрах (prestellar cores), таких как L1544, вода образуется преимущественно на поверхностях пылевых частиц: атомы кислорода (O) реагируют с водородом (H), формируя аморфный лёд H_2O .

При отсутствии центрального источника (как в L1544) основным источником энергии для химических реакций являются космические лучи, которые ионизируют атомы и молекулы, запуская цепочки ион-молекулярных реакций, влияющие на образование и разрушение воды и других молекул. Поскольку температура в L1544 составляет порядка 10K, вода из газовой фазы переходит в состав ледяных мантий и находится в основном в виде льда на пылинках. Однако небольшая её часть может оставаться в газовой фазе из-за испарения льда под действием УФ-излучения или космических лучей.

Роль воды крайне важна: она является ключевым компонентом для понимания химии кислорода в молекулярных облаках. Её наличие влияет на соотношение CO и N_2H^+ , так как вода вымораживается на пылинках, уменьшая количество газофазного CO, что, в свою очередь, снижает эффективность разрушения N_2H^+ . В L1544, как и в других дозвездных ядрах, вода может служить индикатором плотности и температуры среды, поскольку её распределение зависит от условий замерзания и испарения.

В этом отношении важным становится отдельное рассмотрение процессов, происходящих на поверхности и в толще ледяных мантий. Целью нашего исследования является изучение химических процессов, напрямую влияющих на содержание воды, а также детальный анализ химии воды на пылинках (включая не только поверхностные реакции, но и процессы в ледяных мантиях).

ДИНАМО В АККРЕЦИОННЫХ ДИСКАХ: РОСТ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ И ЕГО НЕЛИНЕЙНОЕ НАСЫЩЕНИЕ

Михайлов Е.А.^{1,2}, Жихарева Е.Н.², Фролова М. В.²

¹Физический институт имени П.Н.Лебедева РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
e.mikhajlov@lebedev.ru

Наличие магнитных полей у аккреционных дисков, окружающих такие массивные астрофизические объекты, как черные дыры, нейтронные звезды и белые карлики, практически не вызывает сомнений. Без них был бы невозможен перенос момента количества движения и другие процессы, которые должны иметь место в двойных системах. Одним из возможных объяснений генерации подобных полей является механизм динамо [1]. Он основан на неоднородности крупномасштабного вращения объекта (дифференциальное вращение) и спиральности мелкомасштабных движений в нем (альфа-эффект). Генерация поля возможна в том случае, если оператор, описывающий действие динамо, имеет положительные собственные значения [2].

В ходе действия динамо кинетическая энергия турбулентных течений переходит в энергию магнитного поля, и рост поля начинает замедляться. С точки зрения уравнений, описывающих процесс, это означает нелинейное насыщение роста. Теория контрастных структур, хорошо известная в математической физике, предсказывает в таком случае возникновение инверсий – когда магнитное поле в разных частях объекта может иметь одинаковую величину, но различные направления [3].

В настоящей работе проанализированы условия возбуждения магнитных полей при их малых значениях, а также процесс выхода поля на нелинейный режим.

Литература

1. Boneva D.V. et al. Magnetic fields in the accretion discs for various inner boundary conditions // *Astron.Astrophys.* V.652. A38. 2021.
2. Mikhailov E.A., Pashentseva M.V. Eigenvalue problem for a reduced dynamo model in thick astrophysical discs // *Mathematics.* V.11. 14. 2023
3. Михайлов Е.А., Жихарева Е.Н. Неоднородности магнитных полей аккреционных дисков и их устойчивость // *Журнал технической физики.* Т.94. №12. 2024

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕЖЗВЁЗДНЫХ ЛЬДОВ ПО ПОЛОСАМ ПОГЛОЩЕНИЯ СВОБОДНЫХ ОН-ГРУПП НА СПЕКТРАХ JWST

**Ожиганов М.Э., Сапунова У.А., Петрашкевич И.В., Медведев М.Г., Накибов Р.С.,
Картеева В.М., Васюнин А.И.**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия
maksim.ozhiganov@urfu.ru

Сопоставление лабораторных спектров льдов со спектрами межзвёздной среды позволяет выявить состав и структуру межзвёздных льдов [1]. Ранее спектроскопически и расчётными методами были исследованы свободные колебания ОН-групп (dOH) на поверхности водяных льдов и показана их зависимость от условий формирования льда и наличия в нём неполярных компонентов [2]. После запуска космического телескопа JWST стало возможным регистрировать данные полосы благодаря повышению чувствительности приборов. В нашей работе была получена серия спектров сравнения лабораторных льдов с полосами поглощения dOH и проведено их сопоставление с данными JWST.

Льды, в состав которых входили молекулы H_2O , CO_2 , CO , CH_3OH , NH_3 , CH_4 в пропорциях характерных для межзвёздной среды, были выращены в сверхвысоковакуумной установке при температуре 10 К. Была проведена съёмка их инфракрасных спектров в диапазоне волновых чисел $4000 - 800 \text{ см}^{-1}$. Спектры JWST были получены из открытой базы данных MAST по направлению к EDJ183, S68N, TMC1. Сопоставление лабораторных спектров с данными наблюдений проведено через аппроксимацию наблюдательных спектров комбинацией лабораторных. Поскольку исходные спектры JWST в регионе свободном от полос поглощения не проходили проверку на нормальность по Андерсену-Дарлингу, то аппроксимацию проводили, руководствуясь визуальным анализом остатков и априорной информацией.

В результате аппроксимации было установлено наличие ОН-групп льдов H_2O , взаимодействующих с молекулами CO и ОН-групп, колеблющихся в вакуум на поверхности льда. Отсутствие существенных вкладов от ОН-групп, взаимодействующих с N_2 , говорит о присутствии N_2 только в неполярном слое, богатом CO . Также отсутствие вклада от ОН-групп, взаимодействующих с CO_2 , говорит о сегрегации межзвёздных льдов в исследуемых объектах.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 23-12-00315

Литература

1. Boogert A.C.A. et al. // Observations of the Icy Universe Annu. Rev. Astron. Astrophys.. V. 53. P. 541-581. 2015.
2. Al Halabi et al Adsorption of CO on amorphous water-ice surfaces // A&A. V.422. P. 777-791. 2004.

АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МАССИВНЫХ МОЛОДЫХ ЗВЕЗДНЫХ ОБЪЕКТОВ С МАЗЕРАМИ

Павлова П.И.¹, Хайбрахманов С.А.^{2,1}, Соболев А.М.¹

¹Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

pavlovapolina902683@gmail.com

В работе анализируются наблюдательные данные о мазерах метанола в областях образования массивных звезд: NGC6334I, G33.641-0.228, G12.89+0.49. Особое внимание уделяется анализу данных о магнитных полях и их возможной связи со вспышками мазеров.

Оценки показывают, что характерные значения радиуса магнитосферы для выбранных объектов лежат в пределах от 2 до 12 радиусов звезды. По известным из наблюдений значениям светимости, в предположении что часть энергии поглощается средой, рассчитано расстояние от звезды до мазеров. Для объекта NGC6334I это расстояние составляет 454 а.е., для G33.641-0.228 – 381 а.е., для G12.89+0.49 – 619 а.е.

На основе предположения о том, что протозвездные диски в рассмотренных объектах являются магнитостатическими, по известным из наблюдательных данных значениям магнитного поля в области мазера [1] и расстоянию до мазера, оценена интенсивность магнитного поля молодых звезд вблизи магнитосферы. Для области NGC6334I эта величина составляет 258 Гс, для G33.641-0.228 – 883 Гс, для G12.89+0.49 – 287 Гс. Полученные оценки показывают, что в рассмотренных областях образования массивных звезд, вспышки мазерного излучения могут возникать вследствие нагрева газа за счет выделения энергии при магнитном пересоединении в области радиуса магнитосферы звезды.

Литература

1. Vlemmings W. H. T. A new probe of magnetic fields during high-mass star formation. Zeeman splitting of 6.7 GHz methanol masers // A&A. — 2008. — Vol. 484, № 3. — P. 773–781.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГЛОЩЕНИЯ Q-МЕТОДОМ ДЛЯ JHK ФОТОМЕТРИИ**Пермякова Т. А.***Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия**t.a.permiakova@urfu.ru*

Существует проблема определения поглощения в областях с неравномерным распределением покраснения, в частности для погруженных скоплений. Способы, опирающиеся на звездные подсчеты или определение характеристик газа, не отражают индивидуальное покраснение звезд, а определение поглощения на основе спектров не носит массовый характер. Поэтому для изучения покраснения в скоплениях с неравномерным распределением поглощения предпочтительнее использование метода, опирающегося на фотометрические величины звезд, – Q-метода. Он был впервые предложен в работе [1]. Суть Q-метода заключается в сравнении положения звезды и последовательности непокрасневших звезд на диаграмме "Q – показатель цвета". Сам параметр считается не зависящим от расстояния и покраснения объекта. При использовании Q-метода основная проблема заключается в выборе ветви последовательности непокрасневших звезд, к которой относится звезда, без знания ее спектрального класса.

В работе с использованием фотометрии 2MASS [2] определяется последовательность непокрасневших звезд по звездам Плеяд и Яслей и предлагается способ выбора ветви последовательности непокрасневших звезд, к которой принадлежит звезда, находящаяся в скоплении. Способ опирается на различие положения звезд разных ветвей на функции блеска скопления. Для проверки предлагаемого метода проводится моделирование функций блеска скоплений с неравномерным распределением поглощения в области. Хотя неравномерное поглощение и искажает распределение звезд на функции блеска, с помощью предлагаемого способа для большинства звезд возможно определить, по какой из ветвей последовательности необходимо оценивать поглощение.

Литература

1. Johnson H. L. and Morgan W. W. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the Revised System of the Yerkes Spectral Atlas // *Astrophys. J.* V. 117. P. 313. 1953.
2. Skrutskie M. F. et al. The Two Micron All Sky Survey (2MASS) // *Astron. J.* V. 131. P. 1163-1183. 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ШУМОИНДУЦИРОВАННЫХ СТРУКТУР В ФДО ORION BAR

Помельников И.А.^{1,2}, Рящиков Д.С.^{1,2}, Завершинский Д.И.^{2,1}, Молевич Н.Е.^{1,2}

¹ Физический институт имени П.Н. Лебедева, Самара, Россия

² Самарский университет им. С.П. Королева, Самара, Россия

potelnikovia@smr.lebedev.ru

В работе проведены исследования эволюции шумоиндуцированных сигналов в изоэнтропически неустойчивой среде Фотодиссоциативной области (ФДО) Orion Bar. Существуют исследования, показывающие присутствие в атомарной зоне Orion Bar плотных структур с наблюдаемым нетепловым движением газа [1,2]. Теоретические исследования данной области показывают выполнение условий изоэнтропической неустойчивости [4].

Нами были проведены серии численных моделирований эволюции среды с малыми возмущениями случайной амплитуды при помощи программного комплекса Athena MHD [5]. Отображение динамики полной энергии в системе после возникновения возмущений представлено на рис. 1. Расчёты проведены для разных значений отношения термодинамического давления к магнитному (β плазмы) (рис. 1а), а также для разных значений стационарной температуры (рис. 1б).

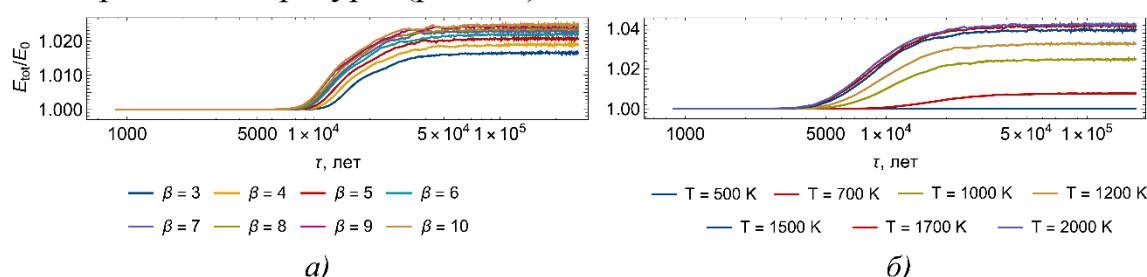


Рис. 1. Динамика роста полной энергии системы: а) для случая разных β и $T = 1000$ К; б) для случая разных температур и $\beta = 3$.

Видно, что энергия среды достигает максимального значения за время, не превышающее предполагаемого времени жизни Orion Bar (10^5 лет) [1].

Литература

1. Goicoechea J.R. et al. Compression and ablation of the photo-irradiated molecular cloud the Orion Bar // Nature. V. 537. I. 7619. P. 207-209. 2016.
2. Habart E. et al. PDRs4All II: JWST's NIR and MIR imaging view of the Orion Nebula // A&A. V. 685. P. A43. 2024.
3. Рящиков Д.С. др. Возмущения сжатия в атомарной зоне фотодиссоциативных областей межзвёздного газа // КСФ ФИАН. V. 10. P. 3-9. 2022.

НЕ-ЛТР АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА А-В ЗВЕЗД: КРИТЕРИИ НОРМАЛЬНОЙ ЗВЕЗДЫ

Романовская А.М.¹, Рябчикова Т.А.¹, Машонкина Л.И.¹, Ситнова Т.М.¹,
Серебрякова Н.²

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

²Лёвенский католический университет, Лёвен, Бельгия

annarom@inasan.ru

На основе анализа спектров высокого разрешения и спектрофотометрических наблюдений определены фундаментальные параметры (эффективная температура, поверхностное ускорение силы тяжести и радиус) и химический состав для шести звезд спектральных классов А-В: υ Aql, 21 Lyn, HD 145788, κ Ser, 7 Sex и 134 Tau. Содержание химических элементов определено в приближении локального термодинамического равновесия (ЛТР) для 25 элементов от Li до Nd и для 18 из них с учетом отклонений от ЛТР (не-ЛТР). Не-ЛТР содержания элементов от Ne до Fe в звездах, которые в литературе относятся к нормальным (υ Aql, 21 Lyn и κ Ser), действительно, согласуется с солнечными значениями в пределах 0.1 dex. Однако наблюдаются избытки Co, Ni, Zn, Sr, Y, Zr, Ba относительно солнечного содержания, что предположительно может являться проявлением эффектов атомной диффузии, и их величина коррелирует с температурой звезды (см. рис. 1). Таким образом, подтверждена температурная зависимость избытков Zn, Sr, Y, Zr, Ba, обнаруженная в наших предыдущих работах для нормальных звезд, и впервые найдена аналогичная зависимость для Co и Ni. Звезда HD 145788, которая имеет спорный статус в литературе, является объектом на начальной стадии превращения в Am звезду. Анализ химического состава 7 Sex и 134 Tau показал, что звезды предположительно относятся к Am и нормальным А звездам. Однако профили линий в спектрах звезд свидетельствуют о том, что это быстровращающиеся звезды, видимые с полюса, и их анализ требует использования методов, учитывающих несферичность звезды.

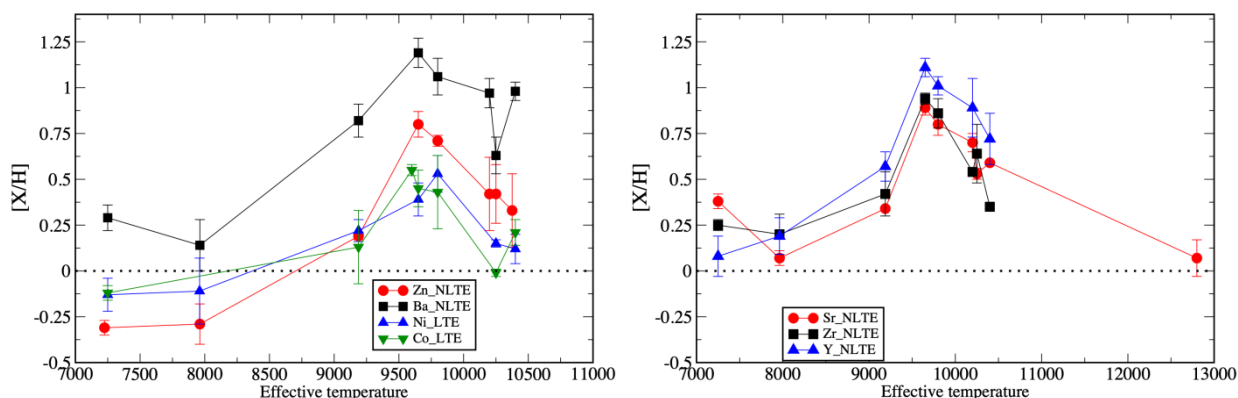


Рис. 1. Температурное поведение содержания Co, Ni и более тяжелых элементов в нормальных А-В звездах.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ И ВСПЫШЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ЗВЕЗДЫ ТИПА γ CAS HD 110432

Рыспаева Е.Б.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия
e.ryspaeva@yandex.ru

Звезда HD 110432 (BZ Cru, B0.5IVpe) является объектом загадочного подкласса аналогов γ Cas [1]. Smith et al. [2] исследовали ее рентгеновские кривые блеска и обнаружили 1615 быстрых вспышек (flare-like events) длительностью до полутора минут. В настоящей работе усовершенствован метод статьи [3] поиска вспышек в рентгеновских кривых блеска. Проанализированы кривые блеска HD 110432 с шагом 1 с, извлеченные из наблюдений на спутнике «XMM-Newton». Из кривых блеска удалены найденные методом CLEAN регулярные компоненты с периодами от минут до 6.5 часов и выявлено несколько сотен быстрых вспышек длительностью до 10 секунд. Проанализированы профили, мощности и числа вспышек в разных диапазонах энергий. Сделано сравнение характеристик вспышек, найденных в кривых блеска с шагами 5 и 1 с. Большинство быстрых вспышек имеют длительность меньше 5 с, поэтому использование кривых блеска с шагом 1 с позволяет увеличить число детектированных вспышек и точнее определить их характеристики. Больше всего быстрых вспышек найдено в области энергий 1-4 кэВ, а самыми мощными из них являются выявленные в кривых блеска с шагом 1 с. Авторы статьи [2] объясняли рентгеновские вспышки либо пересоединением силовых линий магнитного поля декреционного диска и локальных магнитных полей звезды, либо нестационарной аккрецией вещества диска на вырожденный компонент. Наш анализ показал, что за быстрые вспышки ответственен первый механизм, тогда как второй приводит к существенно более длительным вспышкам. Поиск таких, пока еще не обнаруженных событий, требует более длительных, чем уже выполненные рентгеновские наблюдения. Предложенная методика поиска быстрых вспышек может быть использована и для других рентгеновских источников.

Литература

1. Smith, M. A. et al., The X-ray emission of the γ Cassiopeiae stars, // AdSpR, vol. 58, no. 5, pp. 782–808, 2016
2. Smith, M. A. et al. Characterization of the X-Ray Light Curve of the γ Cas-like B1e Star HD 110432// The ApJ, vol. 755, no. 1, Art. no. 64
3. Рыспаева Е. Б. Исследование быстрых рентгеновских вспышек на звездах типа γ Cas HD 110432 и HD 119682// В сборнике трудов XXI Конференции молодых учёных «Фундаментальные и прикладные космические исследования», ИКИ РАН, Москва, 10–12 апреля, 2024

ОЦЕНКА И СРАВНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ОБЛАСТЕЙ ОБРАЗОВАНИЯ МАССИВНЫХ ЗВЕЗД S255IR И NGC 7538C

Танатова П.А.¹, Салий С.В.²

¹УрФУ, Екатеринбург, Россия

²Коуровская астрономическая обсерватория, Слобода, Россия

Fedina.Polina@urfu.me

Область образования массивных звезд S255IR находится на расстоянии 1.78 кпк [1], в этой области наблюдаются мазеры H₂O и CH₃OH класса II, что указывает на наличие молодых звездных объектов. Источник NGC 7538C находится на расстоянии 2.8 кпк [2], наблюдаются мазеры H₂O, CH₃OH и H₂CO, что также является признаками наличия молодых звездных объектов.

В этой работе мы рассмотрели химический состав вышеназванных областей. В источнике NGC 7538C мы отождествили линии 15 молекул и изотопологов (CO, ¹³CO, C¹⁸O, SO, SiO, NS, SO₂, OCS, CCH, HC¹⁵N, H₂CS, HNCO, HCOOH, CH₃CN, CH₃OH), в источнике S255IR 19 молекул и изотопологов (CO, ¹³CO, C¹⁸O, SO, ³³SO, SiO, NS, SO₂, OCS, CCH, HC¹⁵N, H₂CS, HNCO, HCOOH, HC³N, CH₃CN, CH₃OH, CH₃CHO, CH₃OCH₃). Отождествленные нами переходы совпадают для обоих исследуемых объектов, что указывает на схожесть условий возбуждения перечисленных молекул в изучаемых нами областях.

Для молекулы HCOOH отождествлены 4 линии, зависимость населенностей рассматриваемых переходов от значений энергий верхних уровней не соответствует больцмановскому как в S255IR, так и в NGC 7538C. Возможность инверсии на переходах HCOOH обсуждается в работе [3].

Литература

1. Burns R. A., Handa T., Nagayama T., et al. H₂O masers in a jet-driven bow shock: episodic ejection from a massive young stellar object // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2016. — Vol. 512. — P. 283 – 290.
2. Balser Dana S., Bania T. M. Green Bank Telescope Observations of 3He⁺: H II Regions // Astron. J. — 2018. — Vol. 156, № 6. — P. 280. 1810.09422.
3. Sharma Mohit K., Chandra Suresh. Potential lines of formic acid for its detection in cosmic objects // Journal of Astrophysics and Astronomy. — 2021. — Vol. 42, № 2. — P. 112.

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ RZ LMI НА КИСЛОВОДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИНАСАН

Тарасенков А.Н.^{1,2}, Волошина И.Б.²

¹*Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия*

²*Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, Москва, Россия*
tarasenkov@inasan.ru

Мы представляем результаты анализа наблюдений карликовой новой RZ LMi на 50-см телескопе Кисловодской обсерватории ИНАСАН. Мы провели 2 наблюдательные кампании (в 2024 и в 2025 годах), непрерывно мониторя звезду в полосе V каждую ясную ночь в течение нескольких недель в режиме автоматических наблюдений. RZ LMi имеет экстремально короткий суперцикл (около 19 суток по данным [1]), что позволило получить кривые блеска как на различных стадиях супервспышек, так и в спокойном состоянии.

Был проведен анализ полученных кривых блеска, определены характерные темпы роста блеска в начале супервспышки, период суперхампов и его эволюция в течение супервспышки, характерные периодичности изменения блеска в спокойном состоянии. Также были проанализированы архивные наблюдения TESS [2] и произведено сравнение фотометрического поведения RZ LMi по данным наземной фотометрии и TESS.

Литература

1. Olech A. et al. Curious Variables Experiment (CURVE). RZ LMi – the most active SU UMa star. // Acta Astronomica. V. 58. P. 131-152. 2008.
2. Ricker G.R. et al. Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) // JATIS. V. 1. id. 014003. 2015.

ВЛИЯНИЕ ВСПЫШЕК СВЕТИМОСТИ НА СОСТАВ ЛЬДОВ В ПРОТОПЛАНЕТНЫХ ДИСКАХ

Топчиева А.П.^{1,2}, Молярова Т.С.³

¹Институт астрономии Российской академии наук, г. Москва, Россия

²Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, Россия

³НИИ физики, Южный Федеральный Университет, г. Ростов-на-Дону, Россия

ATopchieva@inasan.ru

Эволюция протопланетных дисков включает фазы интенсивной активности, в том числе вспышки светимости, возникающие из-за неустойчивостей в диске. Такие вспышки могут нагревать диск и значительно менять распределение пыли и летучих веществ. В данной работе с использованием двухмерного гидродинамического кода FEOSAD рассматривается влияние вспышек на состав ледяных мантий пылинок и распределение летучих соединений (H_2O , CO_2 , CH_4 , CO) в диске, формирующемся при коллапсе облака массой $0.66 M_\odot$.

Модель учитывает коагуляцию, фрагментацию и дрейф пыли, а также фазовые переходы летучих веществ и влияние ледяных мантий на фрагментационные свойства пыли. Вспышки моделируются самосогласованно на основе магнито-ротационной неустойчивости, аналогичной механизмам, обсуждаемым в работах [1, 2]. Начальные соотношения льдов в модели основаны на наблюдениях протозвезд [3]. Энергии десорбции взяты из экспериментальных и теоретических источников [4, 5].

Показано, что вспышки приводят к испарению водяного льда вблизи звезды, смещению линий льдов CO , CO_2 и CH_4 , и временной перестройке распределения пыли. Вспышка светимости приводит к распаду пылевых агрегатов на мономеры, после чего пыль снова вырастает и возвращается к довыспышечным размерам на временах порядка тысяч лет. После вспышки происходит неравномерное восстановление льдов: CH_4 и CO возвращаются медленнее (в течение десятков лет), тогда как H_2O и CO_2 восстанавливаются быстро (в течение дней). Однако эффект вспышки на распределение гальки сохраняется дольше из-за разрушения и последующего крупных пылевых агрегатов и их последующего медленного восстановления благодаря коагуляции. Эти процессы имеют выраженную двумерную структуру, подчеркивающую значимость неосесимметричных эффектов при моделировании.

Таким образом, включение вспышек светимости в расчеты протопланетных дисков критически важно для понимания распределения летучих веществ, участвующих в формировании планет и их атмосфер.

Литература

1. Vorobyov E. I. et al. // Astron. Astrophys. V. 658. P. A191. 2022.
2. Houge A., Krijt S. // Mon. Not. R. Astron. Soc. V. 521. № 4. P. 5826–5845. 2023.
3. Öberg K. I. et al. // Astrophys. J. V. 740. № 2. P. 109. 2011.
4. Cuppen H. M. et al. // Chem. Rev. V. 212. № 1–2. P. 1–58. 2017.
5. Aikawa Y. et al. // Astrophys. J. V. 467. P. 684. 1996.

ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ГОРЯЧЕГО ЯДРА НА РАННЕЙ СТАДИИ ЭВОЛЮЦИИ

Фарафонтова А.А., Кирсанова М.С.

Институт Астрономии РАН, Москва, Россия

farafontova@inasan.ru

Наблюдения на современных телескопах в суб- и миллиметровом диапазоне в направлении областей образования звезд позволяют получать спектры высокого разрешения, которые богаты линиями излучения различных молекул. Линии излучения служат ключевым инструментом в определении физических свойств и химического состава, что делает актуальной задачу оптимизированного и быстрого отождествления линий в наблюдательных спектрах. Отождествление молекул подразумевает сравнение наблюдательных частот с частотами из спектроскопических баз, с учетом особенностей условий возбуждения молекул. Для автоматизации этого процесса мы разработали программу для отождествления молекул и определения параметров линий излучения. В программе мы применили алгоритм последовательного приближения профилей с помощью гауссовой функции для определения наблюдаемых центральных частот линий и процедуру для сопоставления центральных частот с частотами в спектроскопических базах данных (CDMS и JPL). Применение разработанной программы позволило отождествить ~400 линий излучения молекул в шести широкополосных спектрах наблюдений горячего ядра YSO S2 [1] из области звездообразования RCW 120. В наблюдательных спектрах большая часть отождествленных линий приходится на вращательные переходы простых SO, OCS, SiO, HCO, H₂CO, SO₂, H₂CS и сложных органических молекул CH₃OH, CH₃CCH и CH₃CN, CH₃OCH₃, CH₃OCHO, CH₃CHO, C₂H₃CN и др. Найдены молекулы с составом до 9 атомов, например, C₂H₅CN, изотопологи ¹³CH₃OH, ³³SO, ³³SO₂, ³⁴SO, OC³⁴S, H₂C³³S, H₂C³⁴S и дейтерированные молекулы, например, HDO. С использованием программы время анализа спектральных линий сократилось с ~40 часов на спектр (ручная обработка) до <10 минут с пределом обнаружения линий ≥7σ. Работа была поддержана грантом РФФ 24-22-00097.

Литература

1. Kirsanova M.S. et al. The warm-up phase in massive star-forming cores around RCW 120 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society V. 503, № 1. — P. 633–642, 2021.

ОДИНОЧНЫЕ И КРАТНЫЕ ЗВЁЗДЫ В ПЛЕЯДАХ**Чулков Д.А**

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт астрономии
Российской академии наук, Москва, Российская Федерация
chulkovd@gmail.com*

Рассеянные скопления являются прототипом простого звёздного населения, объединённого общим происхождением, возрастом, кинематическими и пространственными характеристиками. Возможность прямого сравнения членов скопления друг с другом делает их удобными объектами для изучения тонких эффектов в физике звёзд. **Скопление Плеяды**, известное с доисторических времён, на протяжении многих столетий служит астрономам эталонным объектом для тестирования теоретических моделей и проверки качества наблюдательных данных.

На основе каталога Gaia DR3, данных по собственным движениям и лучевым скоростям звёзд из литературы, проведена ревизия членов скопления в центральной области радиусом два градуса. Особое внимание уделено часто игнорируемым источникам с высокими невязками астрометрического решения, характерными для двойных и кратных звёзд. Обсуждаются индикаторы двойственности в Gaia: параметр RUWE, *ipd_frac_multi_peak* и артефакты многоцветной фотометрии.

Для 409 объектов с массами выше половины солнечной проведены спекл-интерферометрические наблюдения на 2.5-метровом телескопе КГО ГАИШ МГУ. Впервые зарегистрированы 21 компонент в 20 системах. Общая доля двойных с отношением масс $q > 0.5$ в диапазоне расстояний 27–1350 а.е. оценивается в 10%. Продемонстрирован дефицит двойных с орбитами больше 300 а.е., свидетельствующий об их преимущественном разрушении на ранних стадиях динамической эволюции скопления.

Литература

1. Чулков Д.А. Unveiling Subarcsecond Multiplicity in the Pleiades with Gaia Multicolor Photometry // The Astronomical Journal, V. 168, I. 4, id. 156 (2024).
2. Чулков Д.А., Страхов И.А., Сафонов Б.С. Resolving Pleiades Binary Stars with Gaia and Speckle Interferometric Observations // The Astronomical Journal, V. 169, I. 3, id. 145 (2025).

РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАСС РЕЛЯТИВИСТСКИХ ОБЪЕКТОВ И ЗВЕЗД ВОЛЬФА-РАЙЕ В ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗДНЫХ СИСТЕМАХ

Шапошников И.А.^{1 2}

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, Москва, Россия

² МГУ имени М.В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия
iv.shaposhnikov@gmail.com

На основе доступных к настоящему моменту орбитальных параметров ТДС построено наблюдаемое распределение масс компактных объектов в массивных (НМХВ) и маломассивных (ЛМХВ) рентгеновских двойных, а также масс звезд Вольфа-Райе (WR) в ТДС типа WR+OB - предполагаемых эволюционных предшественников НМХВ-систем.

Для оценки распределения объектов по ограниченной выборке применялось несколько методов (от простой гистограммы до генеративно-состязательных нейросетей), эффективность которых сравнивалась на модельных выборках объектов, сгенерированных по заранее известному распределению.

По найденному наблюдаемому распределению масс WR оценено распределение масс углеродно-кислородных ядер в конце их эволюции [1], гравитационный коллапс которых, как считается, предшествует формированию нейтронных звезд и черных дыр.

При расчете распределения масс СО-ядер использованы уточненная зависимость темпа потери массы звезды WR от ее массы [2] и следующие из непостоянства массы поправки ко времени ядерной эволюции.

Построенные по обновленным данным распределения масс релятивистских объектов в НМХВ и ЛМХВ как подтверждают ряд ранее известных особенностей ("провал" масс в интервале 2-5 масс Солнца, убывание распределения с ростом массы для массивных черных дыр [1]), так и обнаруживают новые, ранее не обсуждавшиеся - например, сравнительно равномерное распределение масс черных дыр в пределах 5-10 масс Солнца.

Исследуется соответствие распределения финальных масс СО-ядер распределению масс нейтронных звезд и черных дыр при различных параметрах используемых в эволюционном расчете зависимостей.

Литература

1. Черепашук А.М. Поиски черных дыр // УФН. Т. 173. С. 345. 2003.
2. Шапошников И.А. Спектроскопический поиск эволюционных изменений орбитального периода в двойных системах типа WR+OB: случай WR 141 // АЖ. Т. 101(12). С. 1034-1042. 2024.

Секция 3.
**Солнце и Солнечная система, космическая
погода**

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ В СОЛНЕЧНОЙ КОРОНЕ

Агапова Д.В.^{1,2}, Завершинский Д.И.^{1,2}

¹ Самарский университет, физический факультет, Самара, Россия

² СФ ФИАН, Самара, Россия

agapovadaria2019@gmail.com

Контраст температур между "холодной" 6000-градусной фотосферой и "горячей" короной с её миллионами градусов остаётся одной из главных загадок физики Солнца. Среди различных механизмов, предлагаемых для объяснения этого феномена, особого внимания заслуживает процесс резонансного поглощения альфвеновских волн, позволяющий обеспечить конверсию магнитной энергии в форме волновых движений в тепловую энергию плазмы. Физическая основа этого механизма заключается в том, что частота падающей альфвеновской волны может совпасть с локальной собственной частотой плазмы и привести к резонансному поглощению таких волн на сингулярных поверхностях. Особенно интенсивно этот процесс протекает в короне благодаря сочетанию факторов: доминирующему влиянию магнитного поля, наличию тонких переходных слоев с резкими изменениями параметров плазмы, и существенным пространственным вариациям альфвеновской скорости.

Несмотря на то, что теоретические основы резонансного поглощения были разработаны еще в 1970-х годах, многие аспекты этого процесса в реальных условиях солнечной короны требуют дополнительного исследования.

В данной работе мы исследуем резонансное поглощение с учетом особенностей корональной плазмы, принимая во внимание ее сжимаемость. Основным результатом данной работы является, выведенное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами, описывающее резонансное поглощение альфвеновских волн. Это уравнение позволяет учитывать пространственную неоднородность параметров плазмы. Переменные коэффициенты уравнения учитывают неоднородность плазменных параметров в короне, увеличивая точность модели. Следующим этапом работы станет проведение численных расчетов для различных распределений параметров плазмы в солнечной короне.

Работа частично поддержана в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (проекты FSSS-2023-0009, FMR-2024-0017).

ДЕТЕКЦИЯ СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ТОРНАДО ПРИ ПОМОЩИ РЕКУРРЕНТНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Блуменау М.И.^{1,2}, Хабарова О.В.¹, Никитин И.С.^{1,2}, Воробьев Д.Л.¹, Кривошеев С.С.²

¹Институт Земного Магнетизма, Ионосферы И Распространения Радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

mblumenu@hse.ru

Ранее мы разработали метод для автоматического обнаружения солнечных магнитных торнадо. Мы определяем эти структуры как магнито-плазменные образования в солнечной короне с закрученным магнитным полем. В наших предыдущих работах мы использовали сверточную нейронную сеть (MobileNetV3 [1] / EfficientNet [2]) вместе с рекуррентной нейронной сетью (LSTM или GRU) для классификации последовательностей изображений SDO/AIA в линии 171 Å, а также модели You Only Look Once (YOLO) v8 и 11 [3] для определения ограничивающих рамок торнадо на солнечном лимбе. В данном исследовании мы интегрируем слои ConvLSTM или ConvGRU в YOLO v11, что позволяет учитывать временную динамику вращающейся солнечной структуры.

Мы сравниваем и обсуждаем результаты всех трёх методов, оценивая точность и полноту обнаружения. Кроме того, мы демонстрируем сервис для работы с нашей базой данных и нашими нейронными сетями. Его бэкенд реализован на Python и других инструментах, а фронтенд — с помощью JavaScript. Мониторинг проводится посредством Prometheus, а вся инфраструктура контейнеризирована с помощью Docker.

Литература

1. Howard A. et al. Searching for MobileNetV3 // 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV). P. 1314-1324, 2019
2. Tan M., and Le Q. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks // Proceedings of the 36th International Conference on Machine Learning (ICML). P. 6105-6114, 2019
3. Jocher G., Qiu. J., and Chaurasia A. Ultralytics YOLO (Version 8.0.0) // [Computer software], <https://github.com/ultralytics/ultralytics> 2023

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ГОРИЗОНТАЛЬНОГО НЕЙТРАЛЬНОГО ВЕТРА В БАЙКАЛЬСКОМ РЕГИОНЕ ПО ДАННЫМ ИНТЕРФЕРОМЕТРА ФАБРИ-ПЕРО И РАЗЛИЧНЫМ ВЕРСИЯМ МОДЕЛИ HWM

Будовкина А.А., Едемский И.К., Васильев Р.В., Артамонов М.Ф.

ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

abudovkina@mail.iszf.irk.ru

В основе работы лежат данные об интенсивности атмосферного свечения, полученные на интерферометре Фабри-Перо, установленного в Геофизической обсерватории (ГФО) Института солнечно-земной физики СО РАН (с. Торы, 52° N, 103° E) [1]. Определение интенсивности свечения в зональном и меридиональном направлениях позволяют восстанавливать величины соответствующих компонент горизонтального ветра в ночное время [2]. Модель горизонтального нейтрального ветра в верхней атмосфере, Horizontal Wind Model (HWM), основана на данных о ветре, полученных с наземных инструментов и спутниковых наблюдений [3]. Измерения, лежащие в основе модели, в основном получены с приборов, расположенных в Западном полушарии, и корректность модельного прогноза для Восточно-Сибирского региона требует проверки.

В настоящей работе сравниваются данные по нейтральному ветру за 2022г., полученные с интерферометра Фабри-Перо и данные на основе модельных вычислений тремя версиями модели: HWM93, HWM07 и HWM14. Анализ выполнен для времени локальной ночи (10–24 UTC). Данные разделены по сезонам, относительно дней солнцестояния и равноденствия, а также отфильтрованы по условию наличия или отсутствия облачности.

Полученные в работе результаты можно использовать при выборе версии модели для предсказания нейтрального ветра в заданные сезон и время.

Литература

1. Васильев Р. В. и др. Регистрация параметров верхней атмосферы Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри—Перо КЕО Scientific «Arinae» // Солнечно-земная физика. 2017. №. 3. С. 70-87. DOI: <https://doi.org/10.12737/szf-33201707>.
2. Васильев, Р. В. и др. Сравнительный статистический анализ поведения скорости нейтрального ветра в области мезосферы / нижней термосферы средних широт по данным измерений метеорным радаром и интерферометром Фабри - Перо // Солнечно-земная физика. – 2018. – Т. 4, № 2. – С. 86-95. – DOI 10.12737/szf-42201808. – EDN LVXTQT.
3. Drob, D. P., et al. (2015), An update to the Horizontal Wind Model (HWM): The quiet time thermosphere, Earth and Space Science, 2, 301–319, doi:10.1002/2014EA000089.

ХОЛЛОВСКАЯ МАГНИТНАЯ ГИДРОДИНАМИКА ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ЧАСТИЧНО ИОНИЗОВАННОЙ КОСМИЧЕСКОЙ ПЛАЗМЫ

Галстян Т.В.^{1,2}, Петросян А.С.^{1,2}

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Долгопрудный, Россия

galstyan.tigran@phystech.edu

Крупномасштабные процессы в частично ионизованной плазме играют определяющую роль в описании динамики космических объектов. Частично ионизованная плазма состоит из элеткронной, ионной и нейтральной компонент и описывается уравнениями многожидкостной магнитной гидродинамики. Система уравнений многожидкостной магнитной гидродинамики достаточно сложна как для теоретического анализа, так и для численного моделирования. Подход холловской магнитной гидродинамики позволяет привести уравнения к одножидкостному виду с учетом эффекта Холла и амбиполярной диффузии в частично ионизованной плазме. В работе развита теория холловской магнитной гидродинамики для описания вращающейся частично ионизованной плазмы с учетом эффектов вязкости и теплопроводности. В развитой теории нейтральная компонента считается преобладающей и определяет температуру частично ионизованной плазмы. Вращение учитывается для каждой компоненты частично ионизованной плазмы, что приводит к существенному изменению обобщенного закона Ома наряду с возникновением силы Кориолиса в уравнении движения центра масс частично ионизованной плазмы. Полученная система уравнений диссипативной холловской магнитной гидродинамики применена для исследования явления тепловой конвекции в частично ионизованной плазме. Уравнения, описывающие конвекцию в частично ионизованной плазме, получены в приближении Буссинеска. Для бесконечного слоя плазмы подогреваемого снизу сформулирована задача Бенара, найдено критическое число Рэлея, при котором развивается конвективная неустойчивость.

ВЫБОР СТРАТЕГИИ РЕАЛИЗАЦИИ РОССИЙСКОЙ ЛУННОЙ ПРОГРАММЫ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Денисов А.О.

*Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана
(Национальный Исследовательский Университет)
denisovao@bmstu.ru*

Современный этап освоения Луны представляет собой качественно новую фазу космической деятельности человечества, где на смену политическому соперничеству времен холодной войны приходит сложная система международного сотрудничества и конкуренции. Для России, участие в этой деятельности сопряжено с необходимостью выработки сбалансированной стратегии, учитывающей как современные геополитические реалии, так и долгосрочные цели научно-технологического развития [1-3].

Проведен анализ различных вариантов развития российской лунной программы в условиях современных геополитических и экономических вызовов. Критерии успешности включают создание новых рабочих мест, обмен знаниями и технологиями с международными партнерами, укрепление позиций России в космической гонке, демонстрацию технологических и научных возможностей страны, подготовку к будущим пилотируемым миссиям и национальную безопасность[4].

С помощью методов теории игр обосновано, что в случае сильного ухудшения состояния внешней среды России целесообразно идти по пути самостоятельной реализации лунной программы, а при умеренном ухудшении и относительной стабильности – развивать международное сотрудничество с дружественными странами [5].

Литература

1. Кричевский С.В. Перспективы освоения космоса человеком М.: Леланд. 2021. 320 с.
2. Леонов В.А. Постоянная лунная станция как приоритет России в освоении ресурсов космоса // Воздушно-космическая сфера. 2021. № 4. С. 56-76.
3. Луна – шаг к технологиям освоения солнечной системы / Под ред. В.П. Легостаева и В.А. Лопоты. М.: РКК «Энергия». 2011. 584 с.
4. Фалько С.Г., Денисов А.О. Перспективы создания частного космодрома для запуска сверхлегких ракет-носителей в России // Инновации в менеджменте. 2024. № 4 (40). С. 2-13.
5. ОуэнГ. Теория игр. (Перевод с англ.) М.: Мир. 1971. 230 с.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ НА УГЛОВОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МЮОНОВ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ

Евстафьева Д.Д., Кузьменкова П.С., Астапов И.И., Шутенко В.В.

*Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», г. Москва, РФ
evstafeva_daria@mail.ru*

Возмущения межпланетной среды, вызванные корональными выбросами массы (КВМ), модулируют поток космических лучей (КЛ). На поверхности Земли это проявляется в виде Форбуш-эффектов – изменений плотности и анизотропии КЛ. Форбуш-эффекты изучаются разными методами с помощью наземных детекторов. В частности, для мюонного годоскопа УРАГАН [1], который регистрирует потоки заряженных частиц в диапазоне зенитных углов от 0° до 80° с угловым разрешением $\sim 1^\circ$, разработан метод мюонографии [2, 3]. Этот метод позволяет спроецировать вариации потока мюонов, наблюдаемые в угловых ячейках локальной системы координат, на границу магнитосферы в системе GSE, учитывая асимптотические направления прихода частиц.

Целью работы является оценка влияния КВМ на траектории и энергии первичных КЛ и сравнение результатов с экспериментально наблюдаемыми мюонографиями.

В качестве гелиосферного возмущения используется геометрическая модель КВМ 3DCORE [4]. С помощью модели КВМ и метода обратных траекторий [5] оценивается изменение интенсивности потока протонов вблизи Земли при движении КВМ в гелиосфере. Процедура позволит верифицировать как модели КВМ, так и метод мюонографии.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание, проект «Исследование Форбуш-эффектов на фазе роста солнечной активности 25 солнечного цикла методом мюонографий», № FSWU-2023–0086).

Литература

1. Barbashina N.S. et al. The URAGAN wide-aperture large-area muon hodoscope // Instruments and Experimental Techniques. V. 51. P. 180-186. 2008.
2. Yashin I.I. et al. Real-time data of muon hodoscope URAGAN // Advances in Space Research. V. 56. No. 12. P. 2693-2705. 2015.
3. Yashin I.I. et al. Real-time GSE mapping of muon-flux directional variation with the URAGAN hodoscope // Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics. T. 83. C. 572-575. 2019.
4. Möstl C. et al. Forward modeling of coronal mass ejection flux ropes in the inner heliosphere with 3DCORE // Space Weather. V. 16. No. 3. P. 216-229. 2018.
5. Shutenko V. V. Back-tracking of primary particle trajectories for muons detected at the Earth surface // Journal of Physics: Conference Series. V. 798. – No. 1. – P. 012046. 2017.

ВСПЫШЕЧНЫЙ ЭКСЦЕСС НА СОЛНЦЕ В 2024 ГОДУ**Исаева Е.С.¹, Язев С.А.^{1,2}**¹*Иркутский государственный университет, Иркутск, РФ*²*Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, РФ**ele3471@yandex.ru*

В мае 2024 г. на Солнце наблюдался всплеск уровня вспышечной продуктивности, сопровождавшийся рядом выбросов КВМ. Одним из следствий явилась сильнейшая за последние два десятилетия магнитная буря 10 - 12 мая, достигшая балла G5. 4 активные области (АО) произвели 25 X-вспышек в течение 39 дней. В АО 13663 наблюдались 5 X-вспышек из 80 всех классов, в АО 13664 (рекордной по площади в 25 цикле) – 13 из 101, в АО 13685 – 1 из 19, в АО 13697 – 6 из 119. В течение суток 8-9 мая в АО 13664 отмечены 4 X-вспышки. Столь высокая скважность указывает либо на значительный запас магнитной энергии АО, либо/и на ее эффективную «подпитку» свободной энергией.

Поскольку кэррингтоновские координаты АО 13664 и 13697 совпадают, можно утверждать, что это один и тот же комплекс активности согласно определению [1]. Здесь произошла треть от общего числа X-вспышек, наблюдавшихся в течение первых 4,5 лет цикла. Суммарный вспышечный индекс для АО 13663 и 13664 составил 12% от интегрального индекса в 25 цикле, начиная с января 2020 г. по июнь 2024 г. (68 из 552).

Неполным аналогом этой пары АО 13663 и 13664 можно считать АО 10486 и 10488, генерировавшие X-вспышки в октябре-ноябре 2003 г. [3]. В обоих случаях одновременно наблюдались две крупные АО большой площади (одна из двух в паре превышала 2400 МДП) при малом количестве на диске других (малых) АО. В обоих случаях вспышечноактивные группы (в 2024 г. – 13663 и 13664, в 2003 г. – 10486 и 10488) находились в разных (северном и южном) полушариях), в обоих случаях северная АО была западнее южной, превалировала вспышечная активность в южной, более крупной АО.

Гипотеза о причинах высокой вспышечной продуктивности связывает этот феномен в деятельностью короткоживущего комплекса активности, аналогично рассмотренным в [2]. Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ, проект FZZE-2024-0005, а также субсидией № 075-ГЗ/113569/278 МОН РФ.

Литература

1. Язев С.А. // Комплексы активности на Солнце в 24-м цикле солнечной активности // *Астрономический журнал*, том 92, № 3. С. 260-269, 2015.
2. Язев С.А. et al // Активные области на Солнце с повышенной вспышечной активностью в 24 цикле. *Астрономический журнал*, том 98, № 6, С.506-517, 2021.

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА СКОРОСТИ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИНОПТИЧЕСКИХ КАРТ С РАЗЛИЧНЫМ ПРОСТРАНСТВЕННЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Киричков П.Н., Демидов М.Л.

ИСЗФ СО РАН, Иркутск, Россия

kpn@iszf.irk.ru

Предсказание значений скорости солнечного ветра вблизи Земли является неотъемлемой частью прогнозирования космической погоды. В физических моделях, с помощью которых проводятся такие расчеты, используются синоптические карты магнитного поля Солнца. Качество этих карт напрямую влияет на результаты моделирования и точность прогноза. Чтобы дать численную оценку, расчеты сделаны в двух вариантах: в первом используются синоптические карты в исходном разрешении; во втором синоптические карты искусственно сжаты до меньшего разрешения.

В работе проводится численное моделирование значений скорости солнечного ветра в гелиосферном слое, в качестве данных используются синоптические карты магнитного поля Солнца, полученные обсерваториями Solar Dynamics Observatory (SDO) и Global Oscillation Network Group (GONG) в периоды максимума (2147 и 2164 обороты Кэррингтона) и минимума солнечного цикла (2227 оборот Кэррингтона). С помощью модели Potential Field Source Surface (PFSS) восстанавливается структура коронального магнитного поля. Параметры этого поля используются в качестве входных данных для расчета скорости солнечного ветра вблизи Солнца по модели Wang-Sheeley-Argе (WSA). Для расчета скорости солнечного ветра на земной орбите используется модель экстраполяции Heliospheric Upwind eXtrapolation (HUX). Полученные результаты сравниваются с данными наблюдений космического спутника Advanced Composition Explorer (ACE).

ПЛАЗМЕННЫЕ ВОЛНЫ РОССБИ В АСТРОФИЗИКЕ

Кошкина Д.А.^{1,2}, Петросян А.С.^{1,2}

¹ *Институт Космических исследований РАН, Москва, Россия*

² *Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия*

koshkina.da@phystech.edu

Развита теория крупномасштабных течений вращающейся несжимаемой полностью ионизованной плазмы в приближении бета-плоскости в рамках холловской магнитной гидродинамики. Приближение бета-плоскости описывает эффекты сферичности в силе Кориолиса. Важной особенностью полученных уравнений является модификация обобщенного закона Ома в неинерциальной системе отсчета, в которой вращение модифицирует величину и направление адвективного и холловского слагаемых.

Предложена квазидвумерная теория для описания крупномасштабных течений плазмы на сфере. Получено дисперсионное уравнение для линейных волн в плазме в приближении бета-плоскости. Найден новый тип волны - плазменная волна Россби, восстанавливающей силой которой является неоднородность силы Кориолиса. Принципиальным результатом развитой теории является то, что плазменные волны Россби возникают вследствие эффектов разделения зарядов в полностью ионизованной плазме.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ УСКОРЕННЫХ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПРОТОНОВ: НЕПРЕРЫВНАЯ И ИМПУЛЬСНАЯ ИНЖЕКЦИЯ ЧАСТИЦ

Кузьмицкий А.В., Кочанов А.А.

Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Россия

a.kuzmitskiy@iszf.irk.ru

Солнечная вспышечная активность ответственна за многие явления, способные вызывать возмущения космической погоды. Они могут нарушать работу различных наземных и космических систем и представлять серьезную угрозу для деятельности и здоровья людей. Среди таких явлений – солнечные энергичные частицы, особенно протоны, ускоренные до энергий от долей МэВ до десятков–сотен МэВ и достигающих нескольких ГэВ при наземных возрастаниях интенсивности космических лучей (GLE). В отличие от электронов, проявляющихся во всём диапазоне электромагнитного излучения, протоны можно удалённо обнаружить лишь по γ -излучению, возникающему в ядерных реакциях с их участием, и отождествляемому по форме спектра. Это требует надежного теоретического расчета спектров протонов для разных сценариев их инжекции и последующей эволюции в солнечной атмосфере.

В работе получены численные решения нестационарного уравнения переноса энергичных протонов в модели «дырявого ящика» (leaky box model) и прослежена эволюция их спектра для случаев непрерывной и импульсной инжекции. Рассмотрен вариант свободного высыпания протонов в фотосферу и варианты высыпания с предварительным удержанием протонов в корональной части низкой и высокой магнитных петель. Помимо потерь энергии на ионизацию и кулоновские взаимодействия, в расчете учтены неупругие ядерные реакции регенерации протонов, а также процессы генерации нейтральных пионов – источников γ -излучения.

Обсуждаются результаты и возможности их использования для оценки спектров и интегральных потоков γ -излучения высоких энергий, регистрируемого γ -телескопом LAT космической обсерваторией Fermi.

ВЛИЯНИЕ УГЛА НАКЛОНА ФРОНТА МЕЖПЛАНЕТНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА АСИММЕТРИЮ И ВЕЛИЧИНУ ИМПУЛЬСА РЕЗКОГО НАЧАЛА МАГНИТНОЙ БУРИ

Лаврухин А.С., Капорцева К.Б., Ширяев А.О.

НИИ Ядерной Физики имени Д.В.Скобелева МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва

lavrukhin@physics.msu.ru

Межпланетные ударные волны часто предшествуют межпланетным корональным выбросам массы (МКВМ), воздействующим на Землю, которые затем могут привести к возникновению магнитной бури. В статье [1] при помощи магнитогидродинамического моделирования было показано, что воздействие наклонённой ударной волны приводит к асимметричной реакции магнитосферы. Это может приводить к возникновению существенных асимметрий в системе магнитосфера-ионосфера, а также в величине геомагнитно-индуцированных токов в технологических системах. Основной целью данной работы является выявление зависимости между углами наклона межпланетной ударной волны, скоростью, сжатием магнитного поля и плотности на ударной волне и возникающими импульсами резкого начала магнитной бури, которые измеряются наземными магнитометрами. Для этого используется открытая база данных межпланетных ударных волн [2] с определёнными для каждого случая направлениями нормали, открытая база данных магнитных бурь [3] и индексы SMR из каталога SuperMAG [4], которые, в отличие от традиционно рассматриваемых индексов SYM-H и Dst, позволяют рассматривать вариации геомагнитного поля для разных локальных времен. Для выявления связанных с МКВМ ударных волн используется объединённый каталог МКВМ НИИЯФ МГУ [5].

Литература

1. Samsonov, A.A. et al. Asymmetric magnetospheric compressions and expansions in response to impact of inclined interplanetary shock // *Geophysical Research Letters*. V. 42. I. 12. P. 4716-4722. 2015
2. Oliveira, D.M. Interplanetary shock data base // *Frontiers in Astronomy and Space Sciences*. V. 10. №1240323. 2023
3. Pedersen, M.N. et al. Rapid Geomagnetic Variations During High-Speed Stream, Sheath and Magnetic Cloud-Driven Geomagnetic Storms From 1996 to 2023 // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. V. 129. I. 10. P. e2024JA032656. 2024
4. Newell, P.T. and Gjerloev, J.W. SuperMAG-based partial ring current indices // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*. V. 117. I. A5. P. e2012JA017586. 2012
5. Ширяев, А.О. и Капорцева К.Б. Анализ различий каталогов межпланетных корональных выбросов массы и создание объединенного каталога // *Учен. зап. физ. фак-та Моск. ун-та*. № 4. 2024.

О ДЕТЕКТИРОВАНИИ КОРОТИРУЮЩИХ ОБЛАСТЕЙ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПОТОКОВ СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА МЕЖПЛАНЕТНЫХ МЕРЦАНИЙ

Лукманов В.Р., Чашей И.В., Тюльбашев С.А., Субаев И.А.

*Пушчинская Радиоастрономическая Обсерватория Астрокосмического центра
Физического Института Академии Наук, Пушино, Россия
lukmanov@prao.ru*

Предложена модель коротирующей области взаимодействия (КОВ) разноскоростных потоков солнечного ветра, включающая область с пониженным уровнем мелкомасштабной турбулентности перед сжатой частью. Рассматриваемая модель является развитием ранее предложенной модели ведущей части области взаимодействия [1]. В рамках модели рассчитаны динамические двумерные карты распределения уровня межпланетных мерцаний, адаптированные к наблюдениям на радиотелескопе БСА ФИАН. В качестве примера рассмотрено событие, связанное с магнитной бурей 16 – 17 апреля 2024 г. Проведено сравнение модельных расчетов с данными наблюдений. Определены предвестники приближения КОВ к Земле. Показано, что в данных массовых наблюдений мерцаний коротирующие возмущения начинают проявляться примерно за 2 – 3 суток до их прихода к Земле. При этом связанное со сжатой частью возмущения усиление мерцаний наблюдается в послеполуденное время; ближе к приходу возмущения к Земле усиление смещается к более позднему времени. Область с пониженным уровнем мелкомасштабной турбулентности проявляется в ослаблении мерцаний в ночное время, что было обнаружено ранее в данных наблюдений [2]. В целом модельные расчеты на качественном уровне хорошо согласуются с наблюдательными данными.

Литература

1. Лукманов В. Р., Чашей И. В., Тюльбашев С. А., Субаев И. А. Коротирующие возмущения солнечного ветра в данных мониторинга межпланетных мерцаний: моделирование и наблюдения. // *Астрономический журнал*. Т. 100. С. 546 – 556. 2023.
2. Чашей И. В., Тюльбашев С. А., Писанко Ю. В. Мониторинг межпланетных мерцаний и возможности краткосрочного прогноза космической погоды. // *Метеорология и гидрология*. № 3. С. 28 – 37. 2021.

МЕТОД ОБНАРУЖЕНИЯ ФОРБУШ-ЭФФЕКТОВ В ГАЛАКТИЧЕСКИХ КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧАХ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ СЕТИ НАЗЕМНЫХ НЕЙТРОННЫХ МОНИТОРОВ

Мандрикова О.В., Мандрикова Б.С.

ИКИР ДВО РАН, с. Паратунка, Елизовский район, Камчатский край, Россия

555bs5@mail.ru

Представлен метод обнаружения аномальных изменений в скорости прихода галактических космических лучей на Землю. Метод основан на синтезе разработанных авторами когнитивных правил принятия решений с адаптивной вейвлет-фильтрацией. Метод позволяет в режиме поступления данных в систему обработки обнаруживать Форбуш-эффекты и GLE-события и оценивать их параметры [1]. В работе использованы минутные данные наземных высокоширотных и полярных станций нейтронных мониторов (www.nmdb.eu). Представлены результаты обработки данных за 2021-2025 гг., содержащие геомагнитные бури уровней G2-G5 (рис. 1). Анализ результатов подтвердил эффективность метода для обнаружения аномальных изменений разной амплитуды и длительности, включая малоамплитудные короткопериодные особенности. В 80% рассмотренных случаев наличие аномальных изменений в динамике галактических космических лучей возникало за 1-7 часов до регистрации геомагнитных бурь, вызванных как CME, так и CIR + CME. Наблюдались как аномальные повышения интенсивности вариаций космических лучей, так и аномальные её понижения. Метод позволил выделить общие особенности в вариациях космических лучей по данным сети станций, несмотря на существенные отличия в их структуре. Работа выполнена за счет Государственного задания ИКИР ДВО РАН (рег. № темы 124012300245-2).

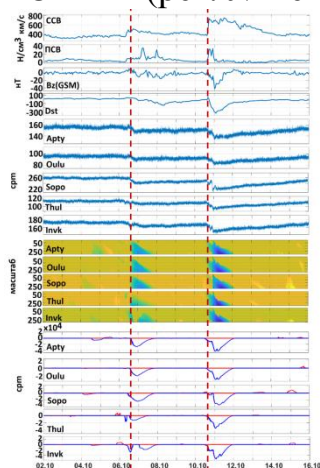


Рисунок 1

Литература

1. Mandrikova O., Mandrikova B. Hybrid Model of Natural Time Series with Neural Network Component and Adaptive Nonlinear Scheme: Application for Anomaly Detection. *Mathematics* 2024, 12, 1079. <https://doi.org/10.3390/math12071079>.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ БАЛАНС ХОЛОДНЫХ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК**Моторина Г.Г.***Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, Россия
g.motorina@yandex.ru*

Солнечные вспышки демонстрируют большое разнообразие в распределении энергии между различными ее компонентами (тепловой, нетепловой и кинетической). Так называемые «холодные» солнечные вспышки, характеризующиеся значительной нетепловой компонентой и практически полным отсутствием тепловой, особенно хорошо подходят для изучения прямого влияния нетепловых электронов на нагрев плазмы. Целью настоящей работы является анализ соотношения тепловой и нетепловой энергии в холодных солнечных вспышках, в частности, в солнечной вспышке SOL2017-09-07T184140 (C4.5). Эта вспышка является первой холодной вспышкой, для которой имеются наблюдения EOVSA, и, следовательно, есть возможность измерить корональное магнитное поле и другие параметры в месте локализации вспышки. Для оценки тепловой компоненты мы проанализировали дифференциальную эмиссию по данным SDO/AIA. С помощью фитирования данных Fermi/GBM были получены оценки компоненты горячей плазмы и нетепловой компоненты. Для проверки гипотезы о морфологии вспышки была создана 3D-модель с помощью GX симулятора на основе данных SDO/HMI, микроволновых (EOVSA) и рентгеновских (Fermi/GBM) данных. Полученные результаты позволяют предположить, что нетепловой энергии, выделяемой во время микроволнового всплеска, достаточно для теплового отклика вспышки, аналогично другим холодным вспышкам.

ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ЗАТУХАЮЩИХ ИЗГИБНЫХ КОЛЕБАНИЙ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ ПЕТЕЛЬ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОСЕТЕЙ

Нечаева А.Б., Зимовец И.В., Шарыкин И.Н.

Институт космических исследований РАН, Москва, Россия

nechaeva.workspace@gmail.com

Поперечные колебания солнечных корональных петель, обычно называемые изгибными (kink) колебаниями, являются одним из наиболее изучаемых колебательных явлений в солнечной короне. Изгибные осцилляции стали популярным инструментом МГД-сейсмологии корональной плазмы, так как они позволяют производить уникальную диагностику абсолютного значения магнитного поля в осциллирующей петле и дают информацию о поперечном профиле плотности плазмы, стратификации плотности и вариации альфвеновской скорости вдоль петли. Однако в данный момент не существует алгоритмов автоматического их детектирования, поэтому отбор событий для анализа проводится в ручном режиме, что затратно по времени в контексте набора большого количества данных для статистического анализа. В данной работе мы используем ультрафиолетовые снимки Солнца, полученные прибором Atmospheric Imaging Assembly на борту the Solar Dynamics Observatory (AIA/SDO). На основе этих данных и уже существующих каталогов изгибных колебаний обучается нейросеть ResNet-18. В докладе будут представлены результаты обучения, которые уже на начальном этапе дают достаточно хороший результат, а именно точность предсказания колебаний на тестовых данных равна 88%.

НАБЛЮДЕНИЯ КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ ПУЛЬСАЦИЙ В РЕНТГЕНОВСКИХ ПРЕДВЕСТНИКАХ СОЛНЕЧНОЙ ВСПЫШКИ КЛАССА X2.8

Зимовец И.В.¹, Низамов Б.А.^{1,2}, Шарыкин И.Н.¹, Ган В.К.³

¹ИКИ РАН, Москва, Россия

²ГАИШ МГУ, Москва, Россия

³Обсерватория Цзыцзиньшань Китайской академии наук, Нанкин, Китай

nizamov@physics.msu.ru

Некоторые солнечные вспышки сопровождаются предвестниками, или прекурсорами, которые наблюдаются в различных диапазонах электромагнитного спектра. Среди таких событий можно выделить подкласс предвестников с квазипериодическими пульсациями (КПП). Актуальность изучения предвестников связана с возможностью краткосрочного прогнозирования вспышек, а КПП могут указывать на особенности процесса энерговыделения и его возможного влияния на последующую вспышку. В докладе представлен анализ рентгеновских наблюдений КПП перед вспышкой класса X2.8, произошедшей 14 декабря 2023 г. в 16:47 UT в активной области NOAA 13514. Активная область наблюдалась рентгеновским телескопом STIX на борту Solar Orbiter в течение двух часов перед вспышкой, что позволило проследить динамику рентгеновских источников и параметры горячей плазмы на фазе предвестников. Сами предвестники представляли собой серию квазипериодических всплесков с нарастающей амплитудой, которые накладывались на общее плавное повышение рентгеновской яркости. Анализ рентгеновских изображений и спектров в сочетании с данными SDO/AIA в вакуумном ультрафиолете указывает на то, что в активной области перед вспышкой происходило плавное энерговыделение, на фоне которого в разных местах происходили короткие и локальные эпизоды нагрева плазмы либо ускорения частиц. Это могло привести к исчезновению филамента, который до этого наблюдался в активной области в линии H α .

Обсуждаются некоторые механизмы возникновения КПП с наблюдаемыми свойствами.

СВЯЗЬ НЕЙТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СОЛНЦА И СОЛНЕЧНЫХ МАГНИТНЫХ ТОРНАДО

Никитин И.С.^{1,2}, Блуменау М.И.^{1,2}, Хабарова О.В.¹, Воробьев Д.Л.¹, Кривошеев С.С.²

¹Институт Земного Магнетизма, Ионосферы И Распространения Радиоволн им. Н.В. Пушкина РАН, г. Троицк, Россия

²Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», г. Москва, Россия

nikitinilya2@gmail.com

Наше исследование сосредоточено на солнечных магнитных торнадо, которые представляют собой протуберанцы, характеризующиеся закрученным магнитным полем в солнечной атмосфере. Научное сообщество активно участвует в дискуссиях относительно их физической природы и механизмов формирования. Наша команда ранее представила метод автоматической идентификации этих торнадо в солнечной короне, что облегчает изучение их свойств и пространственного распределения вдоль солнечного лимба. Особый интерес для нас представляет связь между этими структурами и нейтральными линиями магнитного поля. Хотя предыдущие исследования упоминали о возникновении множественных торнадо на локальных нейтральных линиях магнитного поля, в этой области наблюдалось отсутствие систематических исследований. Используя обратную модель PFSS, мы успешно связали местоположение магнитных нейтральных линий с положением определенных торнадо, идентифицированных нашим методом на изображениях SDO/AIA 171 Å. Наши наблюдения подтверждают, что солнечные магнитные торнадо преимущественно формируются на нейтральных линиях магнитного поля, что указывает на связь этих двух явлений.

ВЛИЯНИЕ КРУПНОМАСШТАБНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФОРБУШ-ПОНИЖЕНИЯ

Петухова А.С., Петухов И.С., Петухов С.И.

ИКФИА СО РАН, г. Якутск, Россия

aspetuhova@mail.ru

Корональные выбросы массы являются одним из важных факторов влияющим на космическую погоду. В дополнение к локальным наблюдениям на космических аппаратах возможно использовать данные космических лучей, так как они несут информацию обо всей крупномасштабной структуре. В данной работе мы продолжаем исследование адекватности модели восстановления Форбуш-понижения, в которой длительность восстановления обусловлена долготным размером выброса, градиентом скорости солнечного ветра и гелиодолготой источника выброса [1].

Проведен отбор событий форбуш-понижений по следующим критериям:

1. амплитуда Форбуш-понижения более 4%;
2. границы выброса определены в базе данных Richardson и Cane ([https://izw1.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm#\(c\)](https://izw1.caltech.edu/ACE/ASC/DATA/level3/icmetable2.htm#(c)));
3. гелиокоординаты источника выброса определены в базе данных <https://tools.izmiran.ru/w/feid>;
4. скорость солнечного ветра определена в базе данных OMNI (<http://omniweb.gsfc.nasa.gov>).

За период 1998–2024 г. 61 событие из базы данных ИЗМИРАН (<https://tools.izmiran.ru/w/feid>) удовлетворило вышеперечисленным критериям.

Модель применима для анализа изолированных событий, в которых наблюдается восстановление ФП. Из всей выборки 7 событий (12%) можно рассматривать в качестве изолированных, остальные 54 события (88%) образованы воздействием нескольких выбросов. Для отобранных изолированных событий был проведен расчет долготных размеров.

Работа проводится при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (проект FWRS-2021-0012).

Литература

1. Petukhova A.S., Petukhov I.S., Petukhov S.I., Duration of the recovery phase of sporadic Forbush decreases // Advances in Space Research. V. 75, I. 1. P. 1405-1414. 2025.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЯРИЗАЦИОННОГО ДЖЕТА ВО ВРЕМЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ГЕОМАГНИТНЫХ БУРЬ

Синеви́ч А.А.^{1,2}, Чернышов А.А.¹, Чугуни́н Д.В.¹, Могилевский М.М.¹

¹Институт Космических Исследований РАН, г. Москва, Россия

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН, г. Троицк, г. Москва, Россия

sinevich.aa@gmail.com

Поляризационный джет (Polarization Jet, PJ, также известный как Subauroral Ion Drift, SAID) — явление, происходящее в субавроральной ионосферной плазме, представляющее собой узкую полосу сильного западного дрейфа ионов на высотах F-слоя вблизи границы проекции плазмопаузы [1,2]. Хорошо известно, что возникновение PJ/SAID и его характеристики тесно связаны с геомагнитной активностью. Поскольку во время экстремальных геомагнитных бурь ионосфера претерпевает значительные изменения, интересно исследовать поведение PJ/SAID во время этих бурь. В данной работе мы рассматриваем и сравниваем возникновение PJ/SAID и их характеристики в субавроральной ионосфере во время таких экстремальных геомагнитных бурь, как Хеллоуинская буря 29–31 октября 2003 г., Буря Святого Патрика 17 марта 2015 г., Буря Победы 10–12 мая 2024 г. [3] и Октябрьская буря 10–12 октября 2024 г.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФ № 25-12-00059.

Литература

1. Gal'perin, Y. I., Ponomarev, V. N., & Zosimova, A. G. (1974). Plasma convection in the polar ionosphere. *Ann. Geophys.*, 30 (1), 1-7.
2. Sinevich, A.A., Chernyshov, A.A., Chugunin, D.V., Klimenko, M.V., Panchenko, V.A., Yakimova, G.A., Timchenko A.V., Miloch W.J., Mogilevsky M.M. (2024). Multi- instrument approach to study polarization jet/SAID and STEVE. *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 129, e2024JA033222. <https://doi.org/10.1029/2024JA033222>
3. Chernyshov A. A., Klimenko M. V., Nosikov I. A., Borchevkina O. P., Timchenko A. V., Efishov I. I., Sinevich A. A., Ryakhovsky I. A., Yakimova G. A., Bessarab F. S., Yankovsky I. S., Chugunin D. V. (2025). Effects in the upper atmosphere and ionosphere in the subauroral region during Victory Day 2024 Geomagnetic Storm (May 10-12, 2024). *Advances in Space Research*. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2025.02.015>

РЕЗУЛЬТАТЫ РАДИОДИАГНОСТИКИ ПАРАМЕТРОВ СРЕДЫ В СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШКАХ ПРИ УЧЕТЕ ВОЗМОЖНОГО АНИЗОТРОПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Смирнов Д.А.^{1,2}, Мельников В.Ф.^{1,2}

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

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

dmitriy.smirnov@unn.ru

Данная работа посвящена фитированию микроволновых спектров из вспышечных областей Солнца. В качестве предмета изучения были выбраны вспышки, произошедшие 20 января 2022 года и 16 июля 2023 года. Радиодиагностика данных событий уже проводилась в работе [1], однако она осуществлялась в предположении изотропного питч-углового распределения излучающих электронов. Как показывает исследование [2], данный подход может давать значительные погрешности восстанавливаемых параметров, если реальное распределение электронов по питч-углам имеет некоторую анизотропию. Поэтому целью работы является проведение радиодиагностики с учетом возможной анизотропии и сравнение полученных результатов с имеющимися [1].

При анализе установлено, что в исследуемых вспышках для большинства моментов времени действительно присутствует определенная степень анизотропии излучающих электронов. При этом между результатами восстановления параметров в предположении изотропии и с учетом возможной анизотропии можно увидеть разницу, хотя характер эволюции параметров в целом аналогичен. Однако присутствуют моменты времени, где различия в поведении параметров значительны, по большей части это относится к значению магнитного поля и угла между направлением поля и лучом зрения. Данный факт соотносится с результатами анализа погрешностей восстановления параметров в работе [2], где был установлен эффект занижения восстановленного значения магнитного поля при возрастании продольной анизотропии.

Литература

1. Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. Микроволновая диагностика вспышечной плазмы методом фитирования по данным Сибирского радиогелиографа. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 27–39. DOI: 10.12737/szf-103202404
2. Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. Радиодиагностика параметров вспышек на основе частотного спектра при учете анизотропного распределения электронов // В данном сборнике тезисов

РАДИОДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ ВСПЫШЕК НА ОСНОВЕ ЧАСТОТНОГО СПЕКТРА ПРИ УЧЕТЕ АНИЗОТРОПНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ

Смирнов Д.А.^{1,2}, Мельников В.Ф.^{1,2}

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

²Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия
dmitriy.smirnov@unn.ru

Целью данной работы являлось нахождение возможных погрешностей в оценках магнитного поля и параметров ускоренных электронов, возникающих при фитировании микроволновых спектров излучения из вспышечных областей Солнца в предположении как изотропного, так и анизотропного распределения электронов. Для решения этой задачи производилось восстановление модельных спектров с известными параметрами с использованием алгоритма, подробно описанного в работе [1], и последующие оценки погрешности восстановления этих параметров.

Анализ проводился с использованием двух модельных радиоисточников с разными заданными параметрами, включая параметры, описывающие питч-угловые распределения электронов. Во второй модели, по сравнению с первой, было значительно (в ~ 9 раз) увеличено отношение электронной концентрации плазмы к напряженности магнитного поля для усиления эффекта Разина и оценки его роли при проведении диагностики.

В результате анализа установлено, что диагностика в предположении существования анизотропности потоков электронов обеспечивает более точное восстановление параметров по сравнению с изотропным, особенно при значительной продольной анизотропии, принятой в модели. Также установлен эффект занижения восстановленного (в предположении изотропии) значения магнитного поля при возрастании продольной анизотропии. Это может быть причиной явления уменьшения магнитного поля во время вспышки, обнаруженного в работе [2], в которой диагностика проводилась именно в предположении изотропного источника, без учёта возможной продольной анизотропии питч-углового распределения электронов, генерирующих гиротронное излучение.

Литература

1. Смирнов Д.А., Мельников В.Ф. Микроволновая диагностика вспышечной плазмы методом фитирования по данным Сибирского радиогелиографа. // Солнечно-земная физика. 2024. Т. 10, № 3. С. 27–39. DOI: 10.12737/szf-103202404
2. Fleishman G.D. et al. Solar flare accelerates nearly all electrons in a large coronal volume // Nature. 2022, vol. 606, pp. 674–677.

МОРФОЛОГИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ СОБЫТИЙ GROUND LEVEL ENHANCEMENT**Челидзе К.С.***НИЯУ МИФИ, Москва, Россия**KSchelidze@mephi.ru*

События GLE (Ground Level Enhancement) представляют собой явления, при которых солнечные космические лучи высокой энергии, преодолевая межпланетное пространство, достигают Земли, взаимодействуют с её атмосферой и генерируют вторичные частицы. Некоторые из этих частиц, например нейтроны, фиксируются с помощью сети нейтронных мониторов (НМ). При достаточной энергии и интенсивности потока в нейтронных мониторах наблюдается пик — увеличение темпа счёта относительно некоторого базового уровня. Эти пики наблюдаются одновременно в нескольких НМ и являются редкими и кратковременными: продолжаются несколько часов, а за последние 83 года было зарегистрировано всего 76 таких событий, что делает их предметом продолжающегося научного интереса.

Существующая классификация различает события GLE и sub-GLE [1], где последнее характеризуется тем, что повышения потока фиксируются исключительно в нейтронных мониторах, расположенных на больших высотах, в то время как мониторы, находящиеся на уровне моря, не демонстрируют аналогичных изменений. В данной работе предложено рассматривать события GLE в контексте сигналов нейтронных мониторов. На основе выявленных общих морфологических признаков были выделены четыре основные группы событий, для каждой из которых характерны специфические амплитудные и временные параметры сигналов. Внутри каждой группы наблюдаются определённые закономерности, что позволяет делать выводы о сходных механизмах происхождения этих событий. Также анализировались дополнительные особенности событий, включая их распределение по сезонам и циклам солнечной активности.

Предложенная работа предоставляет новый взгляд на известные явления, что способствует углубленному пониманию механизмов их происхождения.

Литература

1. Poluianov, S. et al. GLE and Sub-GLE Redefinition in the Light of High-Altitude Polar Neutron Monitors // Solar Physics. V. 292. I. 11. 2017.

КИНЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ВЫЧИСЛЕНИЯ НОРМАЛИ К УДАРНОЙ ВОЛНЕ МКВМ

Ширяев А.О.¹, Капорцева К.Б.^{1,2}, Лаврухин А.С.¹

¹НИИ Ядерной Физики имени Д.В.Скобелевича МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия

²Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
anton.o.shiryaev@gmail.com

Межпланетные корональные выбросы массы (МКВМ) — зарегистрированные в межпланетном пространстве выбросы солнечной плазмы. Геоэффективные МКВМ, вызывающие сильные геомагнитные возмущения, распространяются сильно быстрее окружающего солнечного ветра, и перед ними возникает магнитогидродинамическая ударная волна. Геоэффективность МКВМ определяется как магнитогидродинамическим давлением ударной волны, так и магнитной структурой тела МКВМ [1]. Наклон фронта ударной волны так же оказывает влияние на геоэффективность события: воздействие ударных волн с меньшим углом наклона приводит к более медленной эволюции системы [2][3]. В работе рассмотрены результаты применения основанных на теореме магнитогидродинамической компланарности методов вычисления угла нормали фронта ударной волны МКВМ [4] по данным спутников ACE, WIND, DSCOVR, THEMIS. Описан кинематический мультиспутниковый метод вычисления локальной нормали к ударной волне и показаны результаты применения его к данным спутников ACE, WIND, DSCOVR, THEMIS, SOHO, MMS-1. Полученные результаты сравнены с нормальями, предоставленными в каталогах межпланетных ударных волн [5] и [6].

Литература

1. Kilpua E.K.J. et al. Solar Wind Properties and Geospace Impact of Coronal Mass Ejection-Driven Sheath Regions: Variation and Driver Dependence // Space Weather. 2019. Vol. 17, № 8.
2. Rudd J.T. et al. How do interplanetary shock impact angles control the size of the geoeffective magnetosphere? // Adv. Space Res. 2019. Vol. 63, № 1. P. 317–326.
3. Oliveira D.M. Geoeffectiveness of interplanetary shocks controlled by impact angles: past research, recent advancements, and future work // Front. Astron. Space Sci. 2023. Vol. 10. P. 1179279.
4. Paschmann G., Daly P.W. Analysis Methods for Multi-Spacecraft Data. 1998.
5. CfA Interplanetary Shock Database [Electronic resource]. URL: <https://lweb.cfa.harvard.edu/shocks/> (accessed: 18.03.2025).
6. Oliveira D.M. Interplanetary Shock Data Base. 2023.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГЕОЭФФЕКТИВНОСТИ КОРОНАЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ МАССЫ

Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А.

ИЗМИРАН, Москва, Россия

nshlyk@izmiran.ru

Исследуется поведение различных параметров межпланетных корональных выбросов массы (скорость, время распространения, последующие возмущения геомагнитного поля, величины потоков протонов и пр.) в зависимости от характеристик солнечного источника (гелиодолгота и мощность ассоциированной вспышки, начальная скорость выброса и скорость фонового солнечного ветра). На основе большого статистического материала, охватывающего 1995-2023 гг., получены средние значения и регрессионные зависимости различных параметров.

В частности, разработаны и описаны эмпирические модели, позволяющие оценивать транзитную и максимальную скорости соответствующего межпланетного возмущения, время его прибытия к орбите Земли, ожидаемый уровень геомагнитной активности [1]. Кроме того, оценены вероятности регистрации возрастаний потока протонов различных энергий у Земли, рассчитаны ожидаемые уровни таких возрастаний [2].

Описанные модели успешно применяются в ежедневной работе Центра прогнозов космической погоды ИЗМИРАН.

Литература

1. Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А., Абунин А.А. Эмпирическая модель оценки скоростей и запаздываний межпланетных корональных выбросов массы // Геомагнетизм и Аэрномия. – Т. 63. – № 5. – С. 599–608. – 2023. – DOI: 10.31857/S0016794023600175.
2. Шлык Н.С., Белов А.В., Абунина М.А. Прогноз вероятности и величины солнечных протонных событий на основе данных о вспышках и выбросах // Геомагнетизм и аэрномия. печати. 2025.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ, UV-VI-ФОТОМЕТРИЯ И ПОЛЯРИМЕТРИЯ В ЗАДАЧАХ ДИСТАНЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ АСТЕРОИДОВ

Щербина М.П.¹, Киселев Н.Н.^{2,1}, Бусарев В.В.^{3,1}

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

²Крымская астрофизическая обсерватория, п. Научный, Россия

³Государственный астрономический институт им.Штернберга МГУ, Москва, Россия
morskayaa906@yandex.ru

Исследование астероидов – ключ к пониманию эволюции Солнечной системы. Особое внимание уделяется астероидам, сближающимся с Землёй (АСЗ), и с признаками кометоподобной активности.

Современные таксономические классификации основаны преимущественно на спектрофотометрических и фотометрических данных, однако они нередко демонстрируют расхождения с поляриметрическими результатами. Для уточнения спектральных классов необходимо использование поляриметрических наблюдений. В то же время, поляриметрия АСЗ в настоящее время недостаточно представлена в литературе, что подчёркивает актуальность получения новых данных.

Для активных астероидов также важно комплексное применение всех трёх методов. Спектры отражения позволяют регистрировать проявления пылевой активности [1]; фотометрия, особенно в У-диапазоне, даёт возможность оперативного мониторинга изменений [2]; а поляриметрические наблюдения при больших фазовых углах эффективны для идентификации активных объектов [3].

В течение более десяти лет наша научная группа, объединяющая специалистов из ИНАСАН, ГАИШ МГУ и КрАО, осуществляет систематические наблюдения с использованием оборудования обсерваторий «Пик Терскол» (ИНАСАН), КрАО и КГО МГУ. В результате получены новые данные о спектральных и поляриметрических характеристиках астероидов, а также зафиксированы ранее не описанные проявления их активности [4].

Литература

1. Busarev V. V., Petrova E. V., Puzin V. B. et al. An optically thin and thick dust exosphere of active asteroids: spectral signs and possible formation mechanisms // Solar System Research. 2024. V. 58. I. 3. P. 317–327. 2024
2. Busarev V. V., Petrova E. V., Shcherbina M. P. et al. Search for signs of sublimation-driven dust activity of primitive-type asteroids near perihelion // Solar System Research. V. 57. I. 5. P. 449–466. 2023.
3. Petrova E.V. The Influence of the Exosphere of an Active Asteroid on the Polarization of Scattered Light and the Possibility of Estimating Its Properties from Ground-Based Measurements. // Solar System Research. V.58. P. 196–207. 2024.
4. Шустов Б.М. и др. Новые взгляды на активность астероидов: наблюдения, модели, прогнозы // Успехи физических наук. Т.195. №4. С. 344–376. 2025

Секция 4. Экзопланеты

ВЛИЯНИЕ ТЯЖЁЛЫХ ИОНОВ НА СТРУКТУРУ ТОКОВОГО СЛОЯ В ГРАВИТАЦИОННОМ ПОЛЕ СОЛНЦА, ЭКЗОПЛАНЕТ И ЗВЁЗД

Кислов Р.А.¹, Малова Х.В.^{2,3}, Хабарова О.В.¹, Зелёный Л.М.², Анциферова У.П.¹

¹*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Троицк, Москва, Россия*

²*Институт космических исследований РАН (ИКИ), Москва, Россия*

³*Научно-исследовательский институт ядерной физики им. Д.В. Скобельцына МГУ (НИИЯФ МГУ), Москва, Россия*

kr-rk@bk.ru

Вблизи звёзд и экзопланет могут формироваться токовые слои, аналогичные тем, что известны в магнитосфере Земли, планет-гигантов и в солнечной короне. Такие слои традиционно описываются в рамках известной модели токового слоя Харриса [1]. Однако возможны ситуации, когда перпендикулярно токовому слою направлено гравитационное поле. Оно влияет на динамику частиц в токовом слое и может приводить к его асимметрии, что, однако, в современных моделях не учитывается. Мы обобщили нашу предыдущую модель токового слоя в однородном гравитационном поле [2] и учли возможное наличие популяции тяжёлых ионов в токовом слое, различия в температурах ионов и тангенциальную к токовому слою компоненту магнитного поля. Показано, что толщина токового слоя зависит от параметров модели немонотонно. Получены аналитические решения для концентраций всех протонов, электронов и тяжёлых ионов, плотности тока всех сортов частиц, магнитного поля. Рассмотрены возможные применения модели при различных параметрах, в том числе соответствующих условиям в солнечной короне, в наведённой магнитосфере Меркурия и вблизи спутников Юпитера, а также при предполагаемых условиях вблизи удалённых от звезды крупных каменных или ледяных экзопланет с разреженной ионосферой [3].

Литература

1. Harris, E. G., On a plasma sheath separating regions of oppositely directed magnetic field. *NuovoCimento*, 23, 1, pp. 115-121, 1962. doi: 10.1007/BF02733547
2. Veselovsky, I. S., Kislov, R. A., Malova, H. V., Khabarova, O., The model of a collisionless current sheet in a homogeneous gravity field. *Physics of Plasmas*, 23, 10, 2016. doi:10.1063/1.4964774
3. Kislov R.A., Malova H.V., Khabarova O.V., Zelenyi L.M., Antsiferova U.P. Impact of heavy ions on the structure of current sheets in the gravity field of exoplanets and stars. *The Astrophysical Journal*, 947, 12pp, 2023. <https://doi.org/10.3847/1538-4357/acbccd>

СБЛИЖЕНИЕ ЗВЕЗДНОГО СКОПЛЕНИЯ NGC1977 С ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМОЙ TOI-2796

Мосунова Д.А., Сизова М.Д., Постникова Е.С., Чупина Н.В., Верещагин С.В.

Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

dam91@yandex.ru

Сближение в пространстве звездного скопления с родительской звездой с планетной системой может привести к изменению элементов орбиты малых тел, расположенных во внешних частях планетной системы [1, 2]. Скопление NGC 1977, расположенное в области Меча Ориона, в прошлые эпохи сближалось в пространстве со звездой TOI-2796, имеющей планетную систему [3]. Следует отметить, что в непосредственной близости от NGC 1977 космический телескоп Джеймса Уэбба наблюдал более 500 свободных планет и 42 свободных двойных планеты. Данная работа является продолжением исследования [3]. В результате новых расчетов уточнены параметры сближения — время и расстояние между объектами. Показано, что эти объекты сблизилась на расстояние $\sim 7,8$ пк примерно $\sim 4,4$ млн лет назад. Наблюдаемым эффектом могли стать появление межзвездных малых тел и появление экзокомет.

Литература

1. Torres S., Cai M. X., Brown A. G. A., Portegies Zwart S. Galactic tide and local stellar perturbations on the Oort cloud: creation of interstellar comets // *Astron. and Astrophys.* V. 629. P. A139. 2019.
2. Vereshchagin S. V., Emel'yanenko V. V., Sizova M. D. Approach of the Hyades star cluster to the Solar system // *MNRAS*. V. 513. I. 2. P. 2958-2964. 2022.
3. Wakjira H.Y., Negu S.H., Mosunova D.A. et al. Approach of the NGC1977 Star Cluster to the TOI-2796 Host Star // *Astronomy Reports*. V. 68. I. 10, P. 967–977. 2024.

Секция 5.
Базы данных и информационное обеспечение
астрофизических исследований

**ФОРБУШ-ЭФФЕКТЫ И МЕЖПЛАНЕТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ: НОВЫЙ
ИНТЕРФЕЙС ДЛЯ РАБОТЫ С БАЗОЙ ДАННЫХ****Белов С.М., Шлык Н.С., Абунина М.А., Белов А.В.***ИЗМИРАН, г. Москва, г. Троицк, Россия**izmiran.crdt@gmail.com*

База данных Форбуш-эффектов [1] и межпланетных возмущений (FEID – Forbush-effects and Interplanetary Disturbances) разрабатывается группой ИЗМИРАН на протяжении нескольких десятилетий. На данный момент в ней содержится информация о более чем 9000 событиях, начиная с 1957 года. В основе изучения этих событий лежит анализ вариаций потока космических лучей (КЛ), рассчитанных с помощью Метода Глобальной Съёмки [2], по данным мировой сети нейтронных мониторов. Помимо параметров КЛ, в базе данных также представлены параметры межпланетной среды, а также, для более чем 2000 событий определён солнечный источник. С недавнего времени всё это доступно любому исследователю в форме веб-приложения: tools.izmiran.ru/feid/. Интерфейс позволяет рассчитывать множество параметров событий, делать по ним выборки, производить статистический анализ, а также строить графики поведения параметров внутри отдельных событий.

В докладе будет представлено краткое описание базы данных и ее нового интерфейса, особое внимание будет уделено особенностям добавления новых событий.

Литература

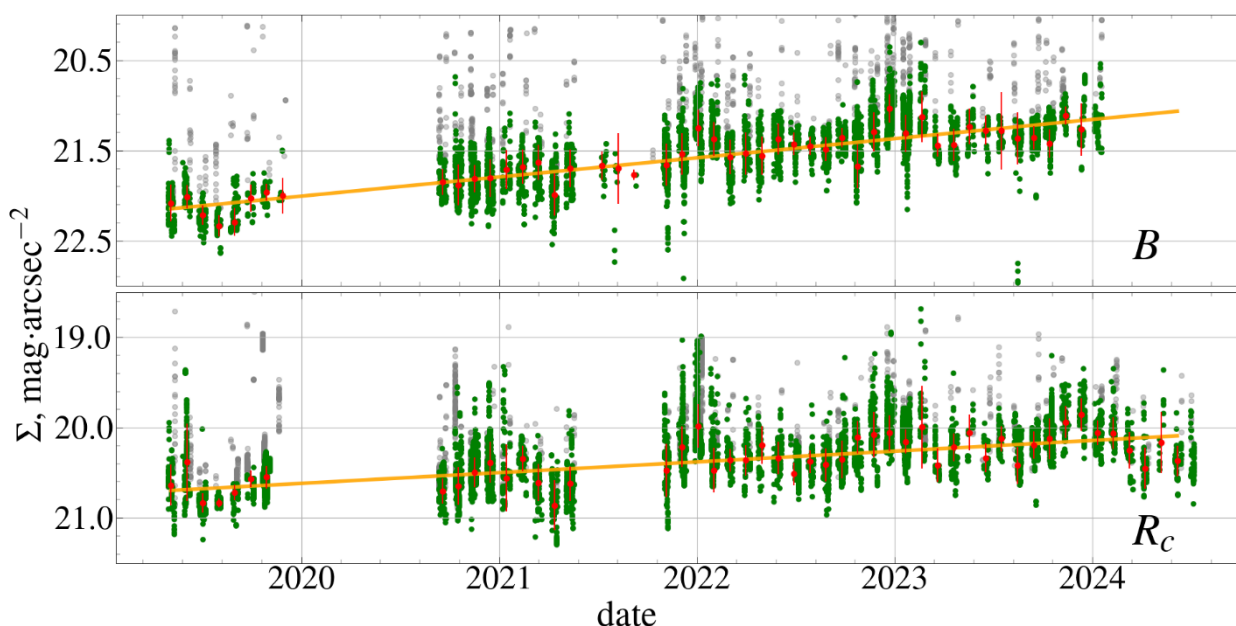
1. Belov, A. Forbush effects and their connection with solar, interplanetary and geomagnetic phenomena. Proceedings of the International Astronomical Union. 4. 439 - 450. 2008.
2. Belov, A.V., Eroshenko, E.A., Yanke, V.G., Oleneva, V.A., Abunina, M.A., Abunin, A.A., et al.: 2018, Sol. Phys. 293, 68.

**ИНТЕРАКТИВНЫЕ КАРТЫ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ ПО ДАННЫМ
ГАС ГАО****Березин И.А.***ГАО РАН, Кисловодск, Россия**iberalex@ya.ru*

В докладе будет представлен веб-сервис obsun.ru. Сервис содержит интерактивные карты классических трассеров солнечной активности по данными кисловодской горной станции и некоторых других обсерваторий. На сайте доступны как актуальные данные, так и длительные архивные ряды. Будет также обсуждаться система доступа к данным и перспективы развития проекта.

**ОБРАБОТКА АРХИВА КАДРОВ ТЕЛЕСКОПА RC-600 КГО ГАИШ МГУ
ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ ЯРКОСТИ ФОНА НЕБА****Комарова И.А.^{1,2,3}, Татарников А.М.¹**¹МГУ имени М. В. Ломоносова, Физический факультет, Москва, Россия²МГУ имени М. В. Ломоносова, Факультет космических исследований, Москва, Россия³ГАИШ МГУ, Москва, Россияkomarova.ia20@physics.msu.ru

В работе описана методика и проанализированы результаты измерений яркости фона неба Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ (КГО ГАИШ МГУ) в видимом и коротковолновом ИК диапазонах, выполненных по архивным кадрам обсерватории (2019–2024 гг.). Показана важность контроля постоянства уровня BIAS при таких измерениях. В 2023–2024 гг. медианная яркость 1 квадр.сек. безлунного ночного неба в зените равна: $B = 21.3$ m, $V = 20.6$ m, $R_c = 20.1$ m и $I_c = 19.1$ m. С 2019 г. яркость фона выросла на $\Delta B \approx \Delta V \approx 0.8$ m, $\Delta R_c \approx 0.5$ m, $\Delta I_c \approx 0.1$ m (см. Рис.1) [1]. Выделен вклад антропогенной засветки в общий рост яркости фона.

*Рис.1***Литература**

1. Комарова И.А., Татарников А.М., Шаронова А.В. и др. Яркость фона неба Кавказской горной обсерватории МГУ в полосах BV RcIc // Письма в Астрономический журнал: Астрономия и космическая астрофизика. 2024. Т. 50, № 10. С. 671–681.

О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБКАХ ПРИ ПЕРЕКРЕСТНОМ ОТОЖДЕСТВЛЕНИИ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД В GAIA

Малик Е.Д., Кайгородов П.В., Ковалева Д.А., Малков О.Ю.

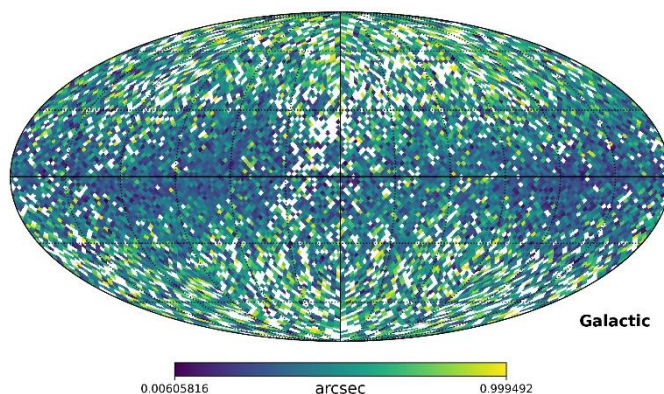
Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

malik.ed20@physics.msu.ru

Третий релиз Gaia [1] предоставил новые данные о двойных и кратных звездах. Нами была проделана работа по кросс-идентификации двойных звезд, входящих в Binary Star Database (BDB) [2] с объектами Gaia. В силу того, что BDB объединяет данные из разнородных каталогов, анализ результатов кросс-отождествления может дать новую информацию, как о характеристиках исходных каталогов BDB, так и о данных Gaia.

В качестве примера рассмотрим рис. 1, на котором представлено среднее на пиксель расстояние между отождествленными объектами. Вдоль Галактического диска среднее расстояние между отождествлениями меньше, чем в среднем по небесной сфере. То есть, в областях с повышенной плотностью звезд, среднее расхождение координат при кросс-отождествлении уменьшается. Также можно отметить, что на рис. 1 присутствует полоса с большим количеством белых пикселей, в которых отождествлений нет. Скорее всего, эта полоса связана с законом сканирования Gaia, а уменьшение расхождений в галактической плоскости связано с тем, что кросс-отождествление только по координатам может давать большое количество ложноположительных результатов.

Таким образом, можно утверждать, что кросс-отождествление каталогов с большим числом объектов в областях с большой плотностью звезд требует более сложных методов, чем простое сопоставление координат.



Литература

1. Gaia Collaboration, et al. Gaia Data Release 3. Stellar multiplicity, a teaser for the hidden treasure // *Astronomy and Astrophysics* V. 674. P. A34. 2023.
2. Kaygorodov, P., et al. The New Version of the Binary Star Database (bdb) // *Baltic Astronomy* V. 21. P. 309. 2012.

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В АСТРОФИЗИКЕ КОСМИЧЕСКИХ
ЛУЧЕЙ****Маурчев Е.А., Диденко К.А.***Институт Земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн**им. Н.В. Пушкова РАН, г. Москва, г. Троицк, Россия**maurchev@izmiran.ru*

Космические лучи более чем на 90 % состоят из протонов. Эти частицы могут иметь как галактическое происхождение (галактические космические лучи), так и солнечное (солнечные космические лучи). В зависимости от их энергии, эти первичные протоны могут достигать атмосферы Земли и взаимодействовать с ней, рождая каскады разнообразных вторичных частиц (пионы, протоны, нейтроны, мюоны, электроны, позитроны и фотоны). Часть из них поглощается в атмосфере, а часть (такие как нейтроны, мюоны и фотоны) может достигать уровня моря. Изучение как первичных, так и вторичных космических лучей является актуальной задачей и в фундаментальной области, и в прикладной. На протяжении многих лет исследование космических лучей в основном проводилось при помощи экспериментальных установок – самых разнообразных детекторов, которые располагаются на земле, под землей, под водой, запускаются на аэростатах и шарах-зондах, устанавливаются на спутники и имеют самую разнообразную конфигурацию. С развитием вычислительных технологий в этой области все чаще используется численное моделирование в решении широкого спектра задач: разработка и калибровка детекторов, решение обратных задач, расчеты каскадов вторичных частиц в атмосфере, получение функций отклика атмосферы на первичные космические лучи и т.д. В этой работе рассматриваются модели, разработанные авторами, и рассказывается о их возможностях прикладного использования.