

ВСЕРОССИЙСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

heo

АСТРОФИЗИКА  
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

18-21·XII  
2023





РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Всероссийская астрофизическая конференция*

**АСТРОФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ  
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА (НЕА-2023)**

18-21 декабря 2023 г.

проводится при финансовой поддержке:

Института Космических Исследований Российской Академии Наук

Москва

2023

ТЕМАТИКА конференции традиционно будет охватывать все разделы астрофизики высоких энергий и наблюдательной космологии. Особое внимание будет уделено результатам работы обсерватории Спектр-РГ (СРГ), на борту которой находятся два рентгеновских телескопа с оптикой косоугольного падения: eROSITA и ART-XC им. М.Н. Павлинского, предназначенных для выполнения высокочувствительного обзора неба в рентгеновских лучах и наблюдения наиболее интересных объектов и областей неба.

Планируется обсудить статус астрофизической обсерватории гамма-лучей ИНТЕГРАЛ и ее результаты (новые и те, что войдут в научное наследие). Российским ученым принадлежит четверть всего наблюдательного времени этой международной обсерватории, которая успешно работает в космосе уже 21 год, и продолжит наблюдения в течение по крайней мере всего 2024 г. Сообщениям о работе обсерваторий СРГ и ИНТЕГРАЛ и полученных результатах планируется посвятить первые два дня конференции. В эти дни будут также обсуждены перспективные проекты российской космической программы в области астрофизики. Оставшиеся дни будут отведены для обсуждения физических процессов, важных для интерпретации выполненных наблюдений, а также результатов других исследований по всем приоритетным направлениям релятивистской астрофизики, внегалактической астрономии, космологии. Среди таких направлений:

- Наблюдательная космология и крупномасштабная структура Вселенной
- Скопления галактик и физика горячего газа в скоплениях
- Галактики и их активные ядра, квазары, происхождение рентгеновского фона
- Астрофизические нейтрино и их источники
- События приливного разрушения звезд и другие внегалактические транзиенты
- Изолированные нейтронные звезды, магнитары, источники повторных гамма-всплесков
- Теория аккреции и рентгеновские двойные, ультраяркие рентгеновские источники
- Сверхновые и остатки вспышек сверхновых, коллапсары и гамма-всплески
- Слияния нейтронных звезд, килоновые, электромагнитные проявления гравитационно-волновых событий
- Другие транзиентные источники, в частности, связанные с приливным разрушением звезд
- Взаимодействие вещества и излучения в экстремальных астрофизических условиях

---

Конференция проводится отделом Астрофизики Высоких Энергий ИКИ РАН.

Программный комитет:

Д.ф.-м.н. С.А. Гребенев (председатель), д.ф.-м.н. А.А. Вихлинин, академик М.Р. Гильфанов, член-корр. А.А. Лутовинов, профессор РАН д.ф.-м.н. С.Ю. Сазонов, академик Р.А. Сюняев, академик Е.М. Чуразов.

Организационный комитет:

А.А. Лутовинов (председатель), Д.В. Сербинов (зам. председателя), Н.Л. Александрович, М.И. Бельведерский, А.С. Горбан, И.А. Зазнобин, Е.И. Захаров, А.А. Кирпиченкова, Р.А. Кривонос, М.С. Лапина, Н.С. Лыскова, С.А. Прохоренко, А.Ф. Рыбакова, А.Д. Самородова, Г.С. Усков, Г.А. Хорунжев



# Устные доклады

Dong Subo (Peking University)

*Searching for “Lonely” Dark Objects with Microlensing*

// Dong Subo

Galactic microlensing is the only known method to discover dark objects ranging from isolated stellar-mass black holes (BHs) down to Earth-mass free-floating planets (FFPs). The recent success of interferometric resolution of microlensed images with VLTI opens up a new venue for discovering isolated stellar remnants. I discuss how the VLTI-GRAVITY(+) instrument can significantly advance such discoveries, potentially leading to measuring the mass function of isolated stellar-mass BHs. Ground-based surveys have found more than a dozen ultra-short microlensing events, with the intriguing implication that FFPs are a few times more common than planets bound to stars. I will discuss the prospect of future space-based microlensing surveys to discover and characterize a large sample of low-mass FFPs. I will also discuss Chinese astronomical facilities.

Вадим Арефьев, Владимир Назаров (Институт  
космических исследований РАН)

*Подготовка наблюдений, прием и хранение данных  
обсерватории CRG // В. Арефьев, В. Назаров*

Дмитрий Горбунов (Институт ядерных исследований РАН)

*Расплывающиеся в ранней Вселенной доменные стенки как источник сигнала NANOGrav и тёмной материи.*

// Д. Горбунов

В обобщениях Стандартной модели физики частиц может возникнуть ситуация, когда в ходе расщирения Вселенной, при падении температуры плазмы, некоторая симметрия восстанавливается, а не нарушается (что привычнее). В таком случае, например для  $Z_2$  симметрии будут пропадать космические доменные стенки, опасные для поздней космологии из-за доминирования в полной плотности энергии. Узнать о такой необычной стадии можно, зарегистрировав сигнал от гравитационных волн, создаваемых такими стенками до их исчезновения. Возможно, именно этот сигнал зарегистрировал NANOGrav, 15 лет наблюдавший на пульсарам. Тогда возможно мы знаем из чего состоит тёмная материя – из того же, из чего и пресловутые доменные стенки. А может быть даже понимаем, почему чёрные дыры в двойных системах, наблюдаемых LIGO, не особо вращающиеся.

Максим Владимирович Барков (ИНАСАН)

*Корональные выбросы магнитаров* // P. Sharma, M. V. Barkov, M. Lyutikov

Мы изучаем динамику релятивистских корональных выбросов массы (СМЕ), от их запуска, смещая основание магнитных силовых линий (либо медленно - парадигма "солнечной вспышки", либо быстро - парадигма "звездатрясения"), до распространения их во внешнем магнитарном ветре. При медленном сдвиге большая часть энергии, подаваемой в СМЕ, сначала расходуется на работу, выполняемую при прорыве через верхележащее магнитное поле. На более поздних стадиях достаточно мощные СМЕ могут привести к "детонации" СМЕ и раскрытию магнитосферы за пределами некоторого равновесного радиуса  $r_{eq}$ , где уменьшающаяся энергия СМЕ становится больше, чем уменьшающаяся энергия внешней магнитосферы. Магнитосфера после СМЕ приходит в новое равновесное состояние за счет образования токового слоя, простирающегося от  $r_{eq}$  и достигающего светового цилиндра. Как местоположение точки сдвига, так и конфигурация глобальной магнитосферы влияют на дихотомию частых/слабых и редких/мощных СМЕ - для получения мощных вспышек медленный сдвиг должен иметь место у компактных закрытых силовых линий. После создания топологически отсоединенной магниносиловой структуры, она относительно быстро (на масштабе светового цилиндра) приходит в динамическое равновесие с ветром магнитара и после этого пассивно перемещается/замораживается вместе с ветром. При быстром сдвиге (локальном сбое вращения) результирующие альфвеновские волны большой амплитуды

---

приводят к раскрытию магнитосферы (которая позже восстанавливается аналогично случаю медленного сдвига). На расстояниях, значительно превышающих световой цилиндр, возникающие в результате сдвиговые волны Альфвена распространяются по ветру без существенной диссипации.

Михаил Игоревич Бельведерский (Институт космических исследований РАН)

*Поиск АЯГ, оптически толстых по томсоновскому рассеянию, по данным обзора области дыры Локмана телескопом SRG/eROZITA // М. И. Бельведерский, С. Д. Быков, М. Р. Гильфанов*

Дыра Локмана – область на небе с минимальной концентрацией нейтрального водорода на луче зрения (Локман, 1986). Эта уникальная характеристика позволяет производить глубокие наблюдения источников с минимальным искажением их спектров по причине галактического поглощения. Телескоп SRG/eROZITA произвел глубокий обзор области Дыры Локмана (среднее время экспозиции 8 ксек) в ходе верификационной фазы в 2019 году. В работе представлены результаты поиска активных ядер галактик, оптически толстых по Томсоновскому рассеянию, путем прямого анализа их рентгеновских спектров. Из 6885 рентгеновских источников, задетектированных телескопом eROZITA в этой области (Быков и др., 2022), отобраны 294 источника с 90% верхним пределом на фотонный индекс, не превышающим порог в 1.3. На основе отождествления со спектральными каталогами (Бельведерский и др., 2022) и фотометрических оценок красных смещений (Мещеряков и др., 2022) было показано, что более 50 источников из отобранных 294 имеют статистически значимое внутреннее поглощение. Остальные объекты из выборки классифицированы как кандидаты в АЯГ, оптически толстые по Томсоновскому рассеянию, в которых доминирует отраженное излучение. Представлен каталог кандидатов в поглощенные АЯГ.



Ильфан Фяритович Бикмаев (Казанский (Приволжский)  
федеральный университет)

*Спектроскопическая классификация групп звезд,  
излучающих в рентгене, обнаруженных телескопом  
eРОЗИТА обсерватории SRG* // И. Ф. Бикмаев, И. М. Хамитов,  
И. И. Галиуллин, М. А. Горбачев, Р. И. Гумеров, Э. Н. Иртуганов,  
Е. А. Николаева, Н. А. Сахибуллин, А. С. Склянов, М. В. Сусликов (КФУ,  
АН РТ, Казань), М. Р. Гильфанов, П. С. Медведев, Р. А. Сюняев (ИКИ РАН,  
Москва)

В каталоге рентгеновских источников, зарегистрированных телескопом eРОЗИТА в ходе 4-х обзоров всего неба, обнаружена заметная доля звезд нашей Галактики (около 400 тысяч), излучающих в рентгене. Эти рентгеновские объекты отождествлены с их оптическими двойниками благодаря данным астрометрического спутника GAIA (ЕКА), измерившего параллаксы и/или собственные движения для 1.5 миллиардов объектов на небе. Подавляющее большинство “звездных” источников eРОЗИТЫ – одиночные звезды, но также вклад вносят активные двойные звезды, катаклизмические переменные, и другие менее многочисленные классы объектов. При сравнении с общим количеством звезд GAIA в радиусе 200 парсек (около 4 млн.), доля звезд, излучающих в рентгене, составляет лишь несколько процентов от общего количества звезд в Галактике. В тоже время, по данным eРОЗИТЫ в молодом звездном скоплении (с возрастом 120 млн. лет) Плеяды обнаруживается 550 рентгеновски активных звезд при их полном числе в данном скоплении около 1300 звезд (в пределах приливного радиуса около 11 парсек). Этот факт может отражать связь между возрастом и рентгеновской активностью для холодных одиночных звезд, однако требует дополнительной проверки и подтверждения, в том числе путем, спектроскопических наблюдений. В докладе будут приведены результаты спектроскопического отождествления и классификации нескольких избранных групп звезд из каталога eРОЗИТЫ, принадлежащих различным типам звезд и областям на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. В работе использованы оригинальные оптические наблюдения на 1.5-метровом Российско-Турецком телескопе РТТ-150, а также открытые архивы данных обзоров GAIA, SDSS, PanSTARRSs, LAMOST и др.

---

Антон Владимирович Бирюков (Государственный  
Астрономический Институт им. П.К. Штернберга МГУ)

*Ранний выход на аккрецию долгопериодических  
одиночных пульсаров* // Марина Афонина (Физический факультет  
МГУ, ГАИШ), Антон Бирюков (ГАИШ, ВШЭ), Сергей Попов (ГАИШ, ИСТР)

Приводятся результаты моделирования долговременной магнито-вращательной эволюции одиночных нейтронных звезд с большими начальными периодами. В последнее время было открыто несколько периодических радиоисточников (PSR J0901-4046, GLEAM-X J1627-52 и GPM J1839-10), которые могли бы быть такими объектами. Наши расчеты показывают, что для реалистично быстрого замедления вращения на стадии пропеллера все одиночные нейтронные звезды со скоростями, меньшими 100 км/с способны перейти на стадию аккреции вещества из межзвездной среды за несколько миллиардов лет. Если нейтронные звезды с большими начальными периодами действительно составляют существенную долю всех нейтронных звезд в Галактике, то число одиночных аккреторов оказывается достаточно большим, чем это предсказывалось предыдущими исследованиями.

Родион Анатольевич Буренин (Институт космических  
исследований РАН)

*Наблюдения скопления галактик Волос Вероники при  
помощи телескопа ART-XC на борту космической  
обсерватории СРГ* // Марина Афонина (Физический факультет МГУ,  
ГАИШ), Р. А. Буренин

В докладе будут обсуждаться результаты наблюдений скопления галактик Волосы Вероники телескопом ART-XC на борту космической обсерватории СРГ.

Андрей Михайлович Быков (ИНАСАН)

*Сверхновые в компактных скоплениях массивных звезд:  
модели и наблюдения* // А.М. Быков, Д. В. Бадмаев, М. Е. Каляшова

Компактные скопления молодых массивных звезд с возрастом несколько миллионов лет содержат десятки звезд ранних спектральных классов O, B и Вольфа-Райе, которые сконцентрированы в области размером в несколько парсек. Ядро компактного скопления имеет размер менее парсека. Мощные звездные ветры горячих массивных звезд сталкиваются в ядре скопления и формируют интенсивные течения горячей плазмы, усиливают магнитные

поля до значений выше 100 мкГ и ускоряют частицы до энергий выше десятков ТэВ. Коллапс массивной звезды в компактном скоплении формирует остаток сверхновой, распространяющийся в сильно неоднородной горячей плазме скопления. В докладе будут представлены результаты трехмерного МГД-моделирования эволюции сверхновой в скоплении, нагрева плазмы, усиления магнитных полей и последующей релаксации плазмы в скоплении. Эжекта сверхновой изменяет химический состав плазмы в скоплении и влияет на спектры теплового рентгеновского излучения. Обсуждаются результаты рентгеновских наблюдений галактического скопления Вестерлунд 2 космическими телескопами ART-XC им. М.Н.Павлинского и Чандра. Показано, что жесткое рентгеновское излучение хорошо согласуется с моделью синхротронного излучения электронов и позитронов с энергиями выше 100 ТэВ.

Сергей Дмитриевич Быков (Казанский Федеральный Университет, Институт Макса Планка по астрофизике)

*Выборка активных карликовых галактик SDSS по данным SRG/eROSITA // С. Д. Быков, М. Р. Гильфанов, Р. А. Сюняев*

Мы представляем выборку из 99 карликовых галактик (со звездной массой меньше  $10^{9.5}$  солнечных масс) с рентгеновской активностью в центральных регионах. Выборка получена через кросс-корреляцию каталога источников SRG/eROSITA в восточной половине неба в каталоге MPA-JHU свойств галактик SDSS. Полученные совпадения были тщательно отчищены с помощью сторонних оптических данных для увеличения чистоты выборки. Эта работа одна из самых широкомасштабных - 85% источников из каталога не были известны ранее как кандидаты в активные ядра галактик (АЯГ). ВРТ диаграмма источников показывает, что большая часть из них являются галактиками с активным звездообразованием. Однако, в 82 случаях рентгеновская светимость галактики не может быть объяснена излучением рентгеновских двойных, делаем эти галактики сильными кандидатами в карликовые галактики с аккрецирующей массивной черной дырой в центре. Мы оценили долю АЯГ в родительской выборке карликовых галактик и нашли, что она падает с 2% на светимости  $10^{39}$  эрг/с до 0.02% на светимостях  $10^{41}$  эрг/с, а также что доля галактик с активным ядром увеличивается со звездной массой. Мы нашли несколько источников с интересными особенностями. В работе представлен кандидат в событие приливного разрушения в карликовой галактике, массивная черная дыра с центре галактики с мягким тепловым рентгеновским спектром, яркое АЯГ поглощенной природы, и несколько других источников. Мы также нашли три кандидата в ультраяркие рентгеновские источники (ULX) и набор рентгеновски ярких галактических пар, в четырех из которых обе галактики являются источниками рентгеновского излучения. Подана в журнал MNRAS.

---

Евгений Олегович Васильев (Астрокосмический центр  
ФИАН)

*Отсутствие пыли в галактиках с активным  
звздообразованием в ранней Вселенной* // Е.О. Васильев (АКЦ),  
В.В. Nath (RRI), С.А. Дроздов (АКЦ), Ю.А. Щекинов (RRI)

В последние годы с помощью космического телескопа James Webb Space Telescope (JWST) были обнаружены галактики на красных смещениях больше 10 с высокой скоростью звездообразования, вплоть до нескольких десятков солнечных масс год. Одним из таких объектов является галактика GN-z11 со спектроскопически подтвержденным красным смещением 10.1, в которой скорость звездообразования оказывается около 25 масс Солнца в год и металличность составляет 0.1 солнечного значения. Эти значения больше подходят для галактик на  $z \sim 2-3$ , за исключением измеренного значения покраснения  $E(B - V) = 0.01$ , что соответствует довольно малой доли пыли или полному ее отсутствию. Это указывает на бурные динамические процессы в галактике, приводящие к разрушению или выносу пыли из галактики за достаточно короткое время. В рамках трехмерной модели определены возможные физические условия для подобных явлений в галактиках. Показано, что энергетики, соответствующей наблюдаемой скорости звездообразования, достаточно, чтобы разорвать пылевую завесу на масштабах 20-25 млн лет. Это позволяет объяснить явное отсутствие эволюции функции ультрафиолетовой светимости галактик в интервале  $z > 10$  и  $z \sim 7$ . Найдено, что в процессе эволюции выделяется период просветления — незначительного поглощения на пыли, оказывается временным и длится 5 - 8 млн лет.

Алексей Александрович Вихлинин (Институт  
Космических Исследований РАН)

*Структура плотных молекулярных облаков в центре  
нашей Галактики, подсвеченная мощной рентгеновской  
вспышкой Sgr A\** // А. А. Вихлинин, Е. М. Чуразов, И. Хабибуллин,  
Р. А. Сюняев, R. Kraft, W. R. Forman, G. Tremblay

Алина Александровна Вольнова (Институт космических исследований РАН)

*Моделирование многоцветных кривых блеска сверхновой SN 2017iuk/GRB 171205A: сценарий магнетара или*

*обратное падение оболочки?* // А. Вольнова (ИКИ РАН), М. Ушакова (МГУ), А. Позаненко (ИКИ РАН), С. Блинников (ИТЭФ), А. Татарников (ГАИШ МГУ)

Связь длинных гамма-всплесков со сверхновыми типа Ic была обнаружена ещё в 1998 году (SN 1998bw/GRB 980425) и подтверждена в последующие годы. Мы представляем результаты наблюдений оптического компонента близкого ( $z = 0.037$ ) гамма-всплеска GRB 171205A, сопровождавшегося яркой сверхновой типа Ic SN 2017iuk, а также моделирование многоцветных кривых блеска этой сверхновой с помощью гидродинамического многогруппового кода STELLA. Кривая блеска, полученная по данным телескопов сети IКИ GRB-FuN в фильтрах BRIJ и Lum, имеет более 100 эпох наблюдений с момента регистрации гамма-всплеска до 168 дней после. Мы исследуем вероятные модели, имеющие различную природу подпитки "хвоста" кривой блеска: в первой из них рассматривается излучение магнетара, образовавшегося после взрыва, во второй - аккреция падающей обратно части выброшенной оболочки на образовавшуюся чёрную дыру. Моделирование позволило оценить различные параметры сверхновой в обеих моделях, такие как масса, радиус и хим. состав прародителя гамма-всплеска и сверхновой, масса компактного остатка, кинетическая энергия взрыва, масса выделившегося никеля.

Светлана Алексеевна Воскресенская (Национальный исследовательский институт "Высшая школа экономики")

*ComРАСТ: создание комбинированного каталога скоплений галактик АКТ + Планк с использованием глубокого обучения* // С.А. Воскресенская, А.В. Мещеряков, Н.С. Лыскова

Скопления галактик - это наиболее массивные гравитационно связанные системы, состоящие из темной материи, горячего барионного газа и звезд. Они играют важную роль в наблюдательной космологии и изучении эволюции галактик. Мы разработали модель глубокого обучения для сегментации сигнала Сюняева - Зельдовича в картах интенсивности АСТ+Planck (Наесс и др. 2020) и представляем здесь новый каталог скоплений галактик в поле покрытия АСТ. Для повышения чистоты каталога скоплений мы ограничились публикацией только части полной выборки с наиболее вероятными скоплениями галактик, лежащими в направлениях кандидатов расширенного

каталога скоплений Планка (SZcat, Мещеряков и др. 2022). Каталог COMPACT содержит 2,934 скопления галактик (с чистотой %), из которых являются новыми по отношению к существующим выборкам скопления АСТ DR5 и PSZ2.

Ильхам Ирекович Галиуллин (Казанский федеральный университет)

*SRGeJ045359.9+622444: Новая катаклизмическая переменная типа AM Гончих Псов, открытая в обзоре всего неба СРГ/eРОЗИТА* // Antonio C. Rodriguez, Ilkham Galiullin, Marat Gilfanov, Shrinivas R. Kulkarni, Irek Khamitov, Ilfan Bikmaev, Jan van Roestel, Lev Yungelson, Kareem El-Badry, Rashid Sunyaev, Thomas A. Prince, Mikhail Buntov, Ilaria Caiazzo, Andrew Drake, Mark Gorbachev, Matthew J. Graham, Rustam Gumerov, Eldar Irtuganov, Russ R. Laher, Frank J. Masci, Pavel Medvedev, Josiah Purdum, Nail Sakhbullin, Alexander Sklyanov, Roger Smith, Paula Szkody, and Zachary P. Vanderbosch

Системы AM Гончих Псов (AM CVn) представляют собой редкий тип катаклизмических переменных (КП), где белый карлик аккрецирует вещество с вырожденного или полувыврожденного донора богатого гелием. В работе исследуется новый источник типа AM CVn, SRGeJ045359.9+622444 (SRGeJ0453), открытый в ходе совместной программы по поиску КП по данным рентгеновской обсерватории СРГ/eРОЗИТА и наземной оптической системы ZTF. Источник SRGeJ0453 является переменным с орбитальным периодом  $P_{\text{orb}} \approx 55.1$  минут. Моделирование данных высокоскоростной фотометрии и кривых лучевых скоростей позволяет ограничить массу и радиус донора, где  $M_{\text{donor}} \approx 0.044M_{\odot}$  и  $R_{\text{donor}} \approx 0.078R_{\odot}$ . Рентгеновский спектр источника аппроксимируется степенной моделью с необычно плоским фотонным индексом  $\Gamma \sim 1$ , ранее наблюдавшийся в КП с замагниченными белыми карликами, однако проверка магнитной природы SRGeJ0453 требует дальнейшего исследования. Оптическая спектроскопия позволяет предположить, что донором SRGeJ0453 могла бы быть либо гелевая звезда, либо гелевый белый карлик. Открытие источника SRGeJ0453 при помощи совместных данных рентгеновского и оптического обзоров неба демонстрирует возможность обнаружения подобных систем в ближайшем будущем.

Марат Равильевич Гильфанов (Институт Космических Исследований РАН)

*Обзор результатов телескопа СРГ/eРОЗИТА*  
// М. Р. Гильфанов



Сергей Андреевич Гребенев (Институт космических исследований РАН)

*Повышение яркости космического фонового радиоизлучения в направлении на скопления галактик*  
// С.А. Гребенев, Р.А. Сюняев (ИКИ РАН)

Исследована возможность регистрации в направлении скоплений галактик избытка космического фонового радиоизлучения из-за его комптоновского рассеяния на электронах горячего межгалактического газа. При картографировании флуктуаций фона на частотах ниже 800 МГц этот эффект ведет к появлению на месте скопления радиоисточника. На более высоких частотах, где в космическом фоне доминирует микроволновое (реликтовое) излучение, на месте скопления наблюдается "отрицательный" источник ("тень" на карте флуктуаций фона), что связано с переносом при рассеянии части реликтовых фотонов вверх по оси частот (выше 217 ГГц, Сюняев, Зельдович, 1970, 1972). В работе рассчитаны спектры ожидаемых искажений фонового радиоизлучения для разных параметров скоплений, показано, что во многих случаях в широком диапазоне частот от 30 МГц до 3 ГГц измерению искажений будет препятствовать собственное тепловое излучение горячего газа, а также рассеянное радиоизлучение галактик скоплений, связанное с их былой активностью. Найдены диапазоны частот, оптимальные для поиска и измерения комптоновского избытка фонового радиоизлучения. Показано, что наиболее перспективны для его наблюдения горячие ( $kT_e > 8$  кэВ) скопления, находящиеся на больших ( $z > 0.5$ ) красных смещениях. Из-за сильной концентрации тормозного излучения к центру скопления периферийные наблюдения комптоновского избытка должны быть предпочтительнее центральных.

Евгений Владимирович Деришев (Институт прикладной физики РАН)

*Послесвечение гамма-всплесков во время основного импульса: модели и неожиданные результаты*  
// Е.В. Деришев

Благодаря исключительной яркости гамма-всплеска GRB 221009A впервые удалось наблюдать полную кривую блеска послесвечения в Тэв-ном диапазоне энергий. Это наблюдение позволило количественно характеризовать созданную всплеском ударную волну во внешней среде в той фазе, когда она непрерывно подпитывается энергией от центрального источника, а её эволюция максимально далека от известных автомобильных решений. Ни один из предложенных ранее вариантов приближённого описания эволюции ударной волны в фазе подпитки энергией не согласуется с фактическими наблюдениями. В докладе рассмотрена

новая, относительно простая (двухэлементная) модель ударной волны, которая на удивление хорошо согласуется с наблюдениями. Результаты моделирования приводят к ряду неожиданных выводов: (1) Отсутствует значимая эволюция спектра Тэв-ного излучения (как показателя, так и относительной доли потока) в течение всего времени наблюдений. (2) На кривой блеска удаётся выделить вклад от обратной ударной волны, излучение которой оказывается более чем на порядок слабее излучения головной ударной волны. (3) Угол раскрытия джета в источнике всплеска очень мал, меньше обратного лоренц-фактора джета. Работа поддержана грантом РФФИ № 21-12-00416

Жан-Арыс Магисович Джилкибаев (Институт ядерных исследований РАН)

### *Статус нейтринного эксперимента Baikal-GVD*

// Ж.-А.М. Джилкибаев (Коллаборация Baikal-GVD)

Детектор Baikal-GVD является нейтринным телескопом кубокилометрового масштаба, предназначенным для исследования природных потоков нейтрино в области энергий выше 1 ТэВ. Развертывание телескопа началось в 2016 году. В настоящее время детектор содержит в общей сложности 3456 оптических модулей размещенных на 96 вертикальных гирляндах, что обеспечивает эффективный объем регистрации нейтрино по каскадной моде порядка 0.6 км<sup>3</sup>. К 2028 году планируется увеличить эффективной объем регистрации нейтрино до (1 - 1.2) км<sup>3</sup>. В докладе будет описан статус эксперимента и представлены наиболее значимые результаты, полученные к настоящему времени из данных Baikal-GVD.

Сергей Николаевич Додонов (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

### *Выборка AGN по данным обзора COSMOS*

// С.Н. Додонов, С.С. Котов.

Мы изучили поведение пространственной плотности AGN в зависимости от красного смещения до  $IAB=24$  по данным каталога COSMOS2020 (Weaver et al., 2022). Для предварительного отбора в выборку AGN мы применили методику анализа цветовых диаграмм аналогичную, использованной нами для поля HS47.5-22 (Kotov et al., 2022), сократив, таким образом, полную до  $IAB=24$  выборку из около 100000 объектов поля до 4250 объектов. Распределения энергии всех объектов подвыборки, были просмотрены визуально и создана выборка объектов-кандидатов в AGN, всего около 700 объектов. Фотометрические красные смещения были получены с использованием

библиотеки опорных спектров квазаров LePhare (Arnouts, et al., 1999) с помощью пакета программ ZEBRA (Feldmann et al., 2006). В докладе представлены результаты анализа полученной выборки AGN, сравнение полученных данных с данными обзора поля HS47.5-22, обзоров COMBO-17 и ALHAMBRA.

Игорь Альбертович Зазнобин (Институт космических исследований РАН)

*Оптическое отождествление скоплений галактик из обзора всего неба SRG/eROZITA* // И. А. Зазнобин, Р.А. Буренин, А.А. Белинский, И.Ф. Бикмаев, М.Р. Гильфанов, А.В. Додин, С.Н. Додонов, М.В. Еселевич, Э.Н. Иртуганов, С.С. Котов, Р.А. Кривонос, Н.С. Лыскова, П.С. Медведев, А.В. Мещеряков, А.В. Моисеев, Д.В. Опарин, К.А. Постнов, С.Ю. Сазонов, Н.А. Сахибуллин, А.А. Старобинский, М.В. Сусликов, Р.А. Сюняев, А.М. Татарников, Г.С. Усков, Р.И. Уклеин, И.И. Хабибуллин, Г.А. Хорунжев, И.М. Хамитов, Е.М. Чуразов

Представлены результаты оптического отождествления и спектроскопических измерений красных смещений 216 скоплений галактик, обнаруженных в рентгеновском обзоре всего неба SRG/eROZITA. Наблюдения скоплений галактик проводятся с июня 2020 года на 6-м телескопе БТА САО РАН, 1.6-м телескопе АЗТ-3ЗИК Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м российско-турецком телескопе (РТТ-150) обсерватории TÜBİTAK. С января 2020 года наблюдения также проводятся на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. Для всех представленных в работе скоплений галактик, спектроскопические измерения красных смещений получены впервые, из них 139 скоплений галактик не отождествляются со скоплениями галактик из опубликованных ранее каталогов, 22 скопления галактик находятся на  $z_{\text{spec}} < 0.7$ , в том числе 3 на  $z_{\text{spec}} < 1$ . Так же для некоторых далеких скоплений галактик на  $z_{\text{spec}} > 0.7$  получены глубокие прямые изображения с использованием фильтров  $gizJ$ . Для этих наблюдений выбирались наиболее массивные скопления, поэтому большая часть представленных в этой работе скоплений галактик, скорее всего, в будущем войдет в космологические выборки скоплений галактик обзора SRG/eROZITA.

Павел Борисович Иванов (Физический институт имени П. Н. Лебедева)

*Геометрическая эволюция тонкого аккреционного диска в эксцентричных наклонных двойных черных дырах*  
// П.Б. Иванов, В.В. Журавлев

Предложена модель тонкого искривленного аккреционного диска вокруг сверхмассивной керровской черной дыры, взаимодействующей с черной дырой меньшей массы, движущейся по наклонной (относительно экваториальной плоскости) эксцентричной орбите. Параметры системы выбраны таким образом, чтобы наша модель соответствовала т.н. "массивной прецессирующей" (МП) модели известного блазара OJ 287. Численно и аналитически показано, что диск, изначально находящейся в экваториальной плоскости более массивной черной дыры (ЧД), весьма быстро эволюционирует к квазистационарному состоянию в системе отсчета, вращающейся с частотой прецессии Лензе-Тирринга (Л-Т) орбиты менее массивной ЧД, причем характерные углы наклона диска по отношению к орбитальной плоскости оказываются порядка угла наклона орбиты. Этот эффект весьма существенным образом отличает нашу модель от модели МП, в которой диск предполагается плоским и находящемся в экваториальной плоскости. Оказывается, что в случае тонкого диска достаточно большой вязкости, вдали от некоторого "резонансного радиуса", форма диска во вращающейся системе отсчета зависит только от орбитальных параметров, угла наклона орбиты и скорости вращения более массивной ЧД. Можно также построить аналитическую теорию, описывающую форму диска вблизи резонансного радиуса. Так как в МП модели OJ 287 его квазипериодическая вспышечная активность ассоциируется со столкновениями менее массивной ЧД с диском, существенное искривление диска, найденное в нашей работе, может изменить как время между вспышками, так и количество вспышек за один орбитальный период, предсказываемое в этой модели, и, таким образом, существенно повлиять на согласование модели с наблюдениями.

Александр Давидович Каминкер (Федеральное  
государственное бюджетное учреждение науки  
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)

*Сверхвспышки нейтронных звезд и нейтринное  
излучение // А.Д. Каминкер, А.Ю. Потехин, Д.Г. Яковлев*

Сверхвспышки нейтронных звезд – редкие, но мощные события, объясняемые взрывным горением углерода в глубоких слоях внешней оболочки аккрецирующих нейтронных звезд. В докладе обсуждаются основные механизмы тепловой эволюции взрыва: нейтринное охлаждение при температурах  $T > 3$  млрд. К и динамическая диффузия тепла к поверхности и внутрь звезды, доминирующая при более низких температурах. Нейтринное излучение глубоких и мощных вспышек за времена нескольких часов – дней приводит к унификации болометрических кривых блеска за счет сильного нейтринного теплоотвода энергии. Предложен простой метод описания нейтринной стадии охлаждения области взрыва, а также метод описания эволюции тепловой энергии взрыва на масштабах нескольких месяцев. Обсуждается возможность

длительного удержания энергии вспышки в оболочке звезды. Результаты могут быть полезны для интерпретации наблюдений сверхвспышек.

Дмитрий Карасев (Институт космических исследований РАН)

*Обзор плоскости Галактики в области галактической долготы  $l \simeq 20^\circ$  телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории Спектр-РГ. Каталог источников // Д. И. Карасев, А. Н. Семена, И. А. Мереминский, А. А. Лутовинов, Р. А. Буренин, Р. А. Кривонос, С. Ю. Сазонов, В. А. Арефьев, М. В. Бунтов, И. Ю. Лапшов, В. В. Левин, М. Н. Павлинский, А. Ю. Ткаченко, А. Е. Штыковский*

В работе представлен каталог источников, зарегистрированных рентгеновским телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского космической обсерватории Спектр-РГ во время наблюдений области галактической плоскости вблизи долготы  $l \simeq 20^\circ$  (поле 0) в октябре 2019 года. Поле 0 наблюдалось четыре раза в режиме сканирования, что позволило получить равномерное покрытие области неба общей площадью  $\simeq 24$  кв. градусов с медианной чувствительностью  $8 \times 10^{-13}$  эрг  $\text{с}^{-1}$   $\text{см}^{-2}$  (при полноте детектирования 50%) в диапазоне энергий 4-12 кэВ. В результате удалось значимо зарегистрировать 29 рентгеновских источников, из которых 11 ранее не детектировались другими обсерваториями. Предварительные оценки показывают, что четыре из них, предположительно, могут иметь внегалактическую природу. Также показано, что источник SRGA J183220.1–103508 (CX-OGSG J183220.8–103510), вероятнее всего, является скоплением галактик, содержащим яркую радиогалактику, на красном смещении  $z \simeq 0.121$ .

Никита Ильич Крамарев (Государственный  
Астрономический Институт имени П.К. Штернберга  
Московского Государственного Университета)

*Обдирание нейтронной звезды в составе тесной двойной системы в паре с черной дырой // Н.И. Крамарев, А.В. Юдин*

Рассмотрены последние стадии эволюции пары нейтронная звезда — черная дыра. Согласно современной парадигме, такие системы в конце концов сливаются, что в некоторых случаях сопровождается приливным разрушением нейтронной звезды. Показано, что в зависимости от параметров системы (начальные массы и спины компонент, уравнение состояния нейтронной звезды) и используемых предположений, также возможен сценарий медленного (порядка нескольких секунд) обдирания черной дырой нейтронной звезды. Последняя, дойдя до нижнего предела масс (около одной десятой массы Солнца), взрывается, производя сравнительно мощный электромагнитный транзист. В силу большой массы выброшенного вещества, излучение



килоновой в сценарии обдирания имеет хорошие перспективы обнаружения.

Роман Александрович Кривонос (Институт космических исследований РАН)

*Галактика в фокусе телескопа ART-XC им. М.Н.Павлинского обсерватории СРГ* // Р.А. Кривонос, М.Р. Гильфанов, П.С. Медведев, С.Ю. Сазонов, Р.А. Сюняев

Рентгеновский телескоп eROSITA на борту миссии Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) наблюдал поле сверхглубокого обзора UDS (Ultra Deep Survey) в августе-сентябре 2019 года во время полета в точку Лагранжа L2 системы Солнце-Земля. Таким образом, полученный в результате обзор eROSITA UDS (или eUDS) стал первым рентгеновским обзором, который продемонстрировал способность телескопа выполнять однородные наблюдения больших участков неба. При умеренной экспозиции 150 кс (одной камерой) eUDS охватывал около 5 кв. град. с предельным потоком  $4E-15$  эрг/с/см<sup>2</sup> в диапазоне 0.3-2.3 кэВ. В ходе обзора был составлен каталог из 647 источников, обнаруженных со значимостью выше порога детектирования. В каталоге представлена информация о потоках источников в основном диапазоне энергий 0.3-2.3 кэВ. Используя более глубокий каталог 4XMM-DR12 обсерватории XMM-Ньютон, мы идентифицировали 23 сильнопеременных объекта, которые поярчали или потускнели как минимум в 10 раз во время наблюдений СРГ.

Анастасия Дмитриевна Лаврухина (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова)

*Поиск и анализ вспышек М-карликов в данных обзора The Zwicky Transient Facility* // А. Лаврухина, А. Волошина + SNAD team

Исследование посвящено поиску и анализу кривых блеска вспышек М-карликов в данных 8-го релиза астрономического обзора The Zwicky Transient Facility. Для обнаружения этих вспышек были разработаны два метода: первый основан на фитировании кривых блеска аналитической функцией, описывающей профиль вспышек, второй - на алгоритме машинного обучения для активного поиска аномалий. Применение данных методов позволило обнаружить 120 новых кандидатов во вспышки М-карликов. В рамках исследования также проведена оценка характеристик обнаруженных кандидатов, таких как спектральный класс, длительность, амплитуда и др.

---

Александр Анатольевич Лутовинов (Институт  
космических исследований РАН)

*Телескоп ART-XC им. М.Н.Павлинского обсерватории  
СРГ: от Галактики к обзору всего неба*

Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ осенью 2023 года завершил глубокий обзор нашей Галактики, продолжавшийся полтора года и полностью охвативший всю плоскость Галактики и ее балдж. Помимо основной программы обзора телескоп ART-XC также провел большое количество наблюдений отдельных источников, в первую очередь транзиентных, таких как сверхновая SN 2023ixf в соседней галактике M101, чрезвычайно ярких галактических двойных систем RX J0440.9+4431 и Swift J1727. 8-1613, ряда других объектов. 19 октября 2023 года телескоп ART-XC возобновил обзор всего неба. В докладе будет представлен обзор текущего состояния телескопа ART-XC и результатов программы наблюдений.

Наталья Сергеевна Лыскова (Институт космических  
исследований РАН)

*Профиль плотности газа на периферии скоплений  
галактик по данным SRG/eROSITA // N. Lyskova, E. Churazov,  
I.I. Khabibullin, R. Burenin, A.A. Starobinsky, R. Sunyaev*

Используя данные обзора всего неба СРГ/eROSITA и выборку из примерно 40 скоплений галактик с известными массами и красными смещениями, мы получили усредненное изображение скопления галактик в диапазоне 0.3–2.3 кэВ. Данный подход позволил задетектировать рентгеновское излучение на больших расстояниях от центра скопления, вплоть до  $\sim 3 \times R_{500c}$ . На основе профиля рентгеновской поверхностной яркости был получен профиль плотности газа, который хорошо согласуется с теоретическим, полученным в результате численного моделирования в рамках стандартной космологической модели  $\Lambda$ CDM. Сравнение с результатами космологических симуляций позволяет сделать вывод, что на больших расстояниях от центра горячий газ остается относительно однородным, а не «скупивается» в плотные комки. На основе профиля давления электронов, измеренного по эффекту Сюняева-Зельдовича, мы также показали, что температура газа на расстояниях  $\sim 3 \times R_{500c}$  от центра падает в  $\sim 4$ –5 раз по сравнению с температурой типичного скопления в пределах  $R_{500c}$ , тогда как энтропия продолжает расти.

Иван Дмитриевич Маркозов (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

*Излучение и гидродинамика в аккреционных каналах рентгеновских пульсаров* // И. Д. Маркозов, А.Ю. Потехин, А.Д. Каминкер

Работа посвящена самосогласованному радиационно-гидродинамическому моделированию течения плазмы на полюса нейтронной звезды вдоль силовых линий магнитного поля. Когда аккрецирующая плазма сталкивается с поверхностью нейтронной звезды, генерируется излучение в рентгеновском диапазоне. Давление этого излучения столь велико, что оно само влияет на динамику аккреции. Дополнительную сложность в расчёты вносит наличие сильного магнитного поля, искажающего сечения элементарных процессов взаимодействия излучения и вещества. В работе произведён учёт комптоновского рассеяния с сечением, содержащим основной циклотронный резонанс. Поляризационные моды рассчитываются с учётом поляризации вакуума. Получены поляризация и спектры излучения, выходящего из аккреционного канала в докритическом случае. Работа И. Д. М. была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики БАЗИС.

Илья Мереминский (Институт космических исследований РАН)

*Эволюция КПО в Swift J1727.8-1613: от начала вспышки и до выхода на плато* // И.А. Мереминский, А.А. Лутовинов, С.В. Мольков, Р.А. Кривонос, А.Н. Семёна, С.Ю. Сазонов, А.Ю. Ткаченко, Р.А. Сюняев

Исследование самых ранних стадий вспышек рентгеновских новых, в силу их непредсказуемости, является сложной наблюдательной задачей, важной для диагностики аккреционного диска в "выключенном" состоянии. Благодаря удачному стечению обстоятельств нам удалось проследить за эволюцией временных и спектральных характеристик новой маломассивной рентгеновской двойной Swift J1727.8-1613 непосредственно перед вспышкой, на стадии роста потока и последовавшей стадии "плато" по данным полученным обсерваторией ИНТЕГРАЛ и телескопами ART-XC им. М.Н. Павлинского и Swift/XRT. Было показано, что частота КПО типа С сначала быстро росла, затем вышла на длительное плато, а после продолжила увеличиваться до тех пор, пока источник не перешел во "вспышечное" состояние, при котором КПО "переключились" из типа С в тип В.

---

Александр Валерьевич Мещеряков (Институт  
космических исследований РАН)

*Применение машинного обучения для определения  
физических характеристик рентгеновских источников:  
результаты для SRG/ePOZITA* // А.В. Мещеряков,  
В.Д. Борисов, Г.А. Хорунжев, П.А. Медведев, М.Р. Гильфанов,  
М.И. Бельведерский, С.Ю. Сазонов, Р.А. Буренин, Р.А. Кривонос,  
И.Ф. Бикмаев, И.М. Хамитов, С.В. Герасимов, И.В. Машечкин, Р.А. Сюняев

В докладе будут обсуждаться методы машинного обучения (в составе системы SRGz) для оптического отождествления точечных рентгеновских источников, измерения их класса (квазар/галактика/звезда) и измерения космологического красного смещения по данным многоволновых фотометрических обзоров неба (DESI Legacy Imaging Surveys, SDSS, Pan-STARRS1, WISE, ePOZITA).

Павел Минаев (Институт космических исследований РАН)

*Каталог гамма-всплесков эксперимента  
SPI-ACS/INTEGRAL* // А.В. Мещеряков, В.Д. Борисов,  
Г.А. Хорунжев, П.А. Медведев, М.Р. Гильфанов, М.И. Бельведерский,  
С.Ю. Сазонов, Р.А. Буренин, Р.А. Кривонос, И.Ф. Бикмаев, И.М. Хамитов,  
С.В. Герасимов, И.В. Машечкин, Р.А. Сюняев

Детектор SPI-ACS/INTEGRAL, наряду с экспериментом GBM/Fermi, обладает наилучшей чувствительностью в диапазоне энергий свыше 80 кэВ, и так же как эксперимент Конус-Винд, почти непрерывно наблюдает всю небесную сферу. На основе данных SPI-ACS создан каталог из 3974 космических гамма-всплесков, зарегистрированных детектором SPI-ACS/INTEGRAL за период с ноября 2002 г. по сентябрь 2021 г. совместно с другими экспериментами, детектирующими гамма-всплески. Стабильный на больших временных масштабах уровень фона и почти непрерывный обзор всей небесной сферы позволяют исследовать события в данных SPI-ACS на временных масштабах вплоть до нескольких десятков тысяч секунд - каталог содержит 84 гамма-всплесков с длительностью более 500 с (параметр  $t_{90}$ ). Проведено статистическое исследование событий каталога, в том числе проанализированы различные схемы классификации гамма-всплесков, основанные как на значениях параметров длительности (50, 90, 100), так и на соотношении между пиковым и полным потоком гамма-всплеска. Не обнаружено свидетельств в пользу существования отдельных подклассов промежуточных и сверхдлинных гамма-всплесков.

Марат Габдуллович Мингалиев (Специальная  
астрофизическая обсерватория Российской академии наук)

*Исследования блазаров на радиотелескопе РАТАН-600* //  
М.Г. Мингалиев, В.В. Власюк, Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфахаров

Исследования блазаров на радиотелескопе РАТАН-600 Мингалиев М.Г., Власюк В.В., Сотникова Ю.В., Муфахаров Т.В. Специальная астрофизическая обсерватория РАН с первых дней работы радиотелескоп РАТАН-600 начал исследования внегалактических объектов; даже самый первый объект был блазар PKS 0521-36. Естественно, уже позже было установлено, что этот объект блазар. Название «блазар» было предложено Эдвардом Шпигелем в 1978. В настоящем докладе я кратко представлю, что было сделано для таких исследований на РАТАН-600 и, естественно, что получили и получаем; можем и будем получать: 1) Приемные комплексы; 2) Антенна; 3) Методы наблюдений и обработка: на примере BL Cat; 4) Последние результаты: SRGE J1702+1301, 0954+658, АО 0235+164, 3C 279, Мк 501 и др.

Литература:

1) RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lacertae objects. M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, R.Yu. Udovitskiy, T.V. Mufakharov, E.Nieppola, and A.K. Erkenov. 2014AA...572A..59M.

2) The RATAN-600 Multi-Frequency Catalogue of Blazars – BLcat. Sotnikova, Yu. V., Mufakharov, T. V., Mingaliev, M. G., Udovitskiy, R. Y., Semenova, T. A., et al. 2022AstBu..77..361S.

3) Optical and radio variability of the blazar S4 0954+658. V.V. Vlasjuk, Yu.V. Sotnikova, A.E. Volvach, O.I. Spiridonova, V.A. Stolyarov, A.G. Mikhailov, Yu.A. Kovalev, Y.Y. Kovalev, M.L. Khabibullina, M.A. Kharinov, M.G. Mingaliev, T.A. Semenova, P.G. Zhekanis, T.V. Mufakharov, R.Yu. Udovitskiy, A.A. Kudryashova, L.N. Volvach, A.K. Erkenov, A.S. Moskvitin, E.V. Emelianov, T.A. Fatkhullin, P.G. Tsybulev, N.A. Nizhelsky, G.V. Zhekanis, E. V. Kravchenko Accepted to Astrophysical Bulletin, 2023.

4) Multi-band Cross-correlated Radio Variability of the Blazar 3C 279. Krishna Mohana A, Alok C. Gupta, Alan P. Marscher, Yulia V. Sotnikova, S. G. Jorstad, Paul J. Wiita, Lang Cui, Margo F. Aller, H. D. Aller, Yu. A. Kovalev, Y. Y. Kovalev, Xiang Liu, T. V. Mufakharov, A. V. Popkov, M. G. Mingaliev, A. K. Erkenov, N. A. Nizhelsky, P. G. Tsybulev, Wei Zhao, Z. R. Weaver, D. A. Morozova. Submitted to MNRAS, 2023.

5) The high-redshift quasars at  $z > 3$  II. Radio variability. Yu. Sotnikova, A. Mikhailov, T. Mufakharov, M. Mingaliev, N. Bursov, T. Semenova, V. Stolyarov, R. Udovitskiy, A. Kudryashova, A. Erkenov. Submitted to MNRAS, 2023.

6) 1-37 GHz quasi-simultaneous spectrum of the blazar Ton 599 (4C +29.45) during its greatest radio flare. Mufakharov T., Mikhailov A., Kovalev Yu., Volvach A., Sotnikova Yu., Mingaliev M, Volvach L., Semenova T. ATel 15894; on 9 Feb 2023; 21:05 UT.

7) Is the X-ray bright  $z = 5.5$  quasar SRGE J170245.3+130104 a blazar? Tao An, Ailing Wang, Yuanqi Liu, Yulia Sotnikova, Yingkang Zhang, J.N.H.S. Aditya, Sumit Jaiswal, George Khorunzhev, Baoqiang Lao, Ruqiu Lin, A. Mikhailov, M. Mingaliev,

---

T. Mufakharov, Sergey Sazonov. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Volume 519, Issue 3, March 2023, Pages 4047–4055.

## Александр Михайлов (Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук)

### *Свойства радиогалактик FR0 в сантиметровом диапазоне* // А.Г. Михайлов, Ю.В. Сотникова, В.А. Столяров

Исследования последних 15-20 лет позволили надежно установить, что большинство внегалактических радиоисточников в ближней Вселенной являются компактными (проекция линейных размеров 0.5–1.0 кпк) и характеризуются относительно небольшой радиомощностью ( $10^{22}$ – $10^{24}$  Вт/Гц на 1.4 ГГц). Этим они отличаются от “классических” (мощностью  $10^{25}$ – $10^{26}$  Вт/Гц и более) радиогалактик FRI и FRII с развитыми протяженными радиоструктурами на масштабах в сотни кпк. Практически полное отсутствие протяженных радиоизлучающих структур отражено в принятом для обозначения таких радиоисточников термине “radio galaxy Fanaroff-Riley Type 0” (FR0). Родительские галактики FR0s представляют собой гигантские эллиптические системы с массой центральной СМЧД порядка  $10^9 M$ , во многих отношениях похожие на родительские галактики FRIs. К настоящему времени проведены РСДБ наблюдения примерно 20 FR0s. Они позволили установить наличие умеренно релятивистских (0.2-0.5c) джетов на масштабах парсек в центральных областях исследованных FR0s. Природа радиогалактик FR0 и их взаимосвязь с другими классами компактных (блазары, GPS-объекты) и протяженных (FRI/FRII) внегалактических радиоисточников остается малоизученной. В сантиметровом радиодиапазоне измерений FR0s на конец 2019 г. было проведено немного. С февраля 2020 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проводятся систематические наблюдения выборки 34 FR0s в диапазоне 2.3–22.3 ГГц (13–1.4 см). В результате надежно установлены свойства объектов выборки в указанном диапазоне: выпуклый/пиковый характер спектра большинства радиоисточников, подразумевающий преобладающий вклад компактного радиоядра с синхротронным самопоглощением; вместе с тем, в спектре ряда радиогалактик обнаружены признаки наличия оптически тонкой компоненты, которая может быть связана со слабоконтрастными протяженными радиоструктурами. Ключевую роль при классификации и исследовании взаимосвязи различных классов внегалактических радиоисточников имеют регулярные наблюдения на протяжении достаточно длительного времени. К настоящему времени нами получены кривые блеска 34 FR0s на протяжении более 3.5 лет. Характерный уровень переменности в диапазоне 5–11 ГГц не превышает 20 %. Однако, несколько источников показали уровень переменности свойственный для блазаров, вплоть до 40 %. Доля галактик, которые могут быть классифицированы как GPS-источники малой мощности (на основании низкого уровня переменности и сохранения формы радиоспектра) составляет 10 %. В кривых блеска ряда галактик прослеживаются долговременные



тренды. Крупных вспышек на кривых блеска исследованных FR0s за 3.5 года не выявлено, в некоторых случаях присутствуют признаки небольших субвспышек, накладывающихся друг на друга. Таким образом, на охваченном наблюдениями масштабе времени для исследованной выборки радиогалактик FR0 сильная переменность не выявлена, что означает отсутствие сильных нестационарных процессов в радиисточнике и согласуется с умеренно релятивистским характером джетов FR0s.

Евгений Алексеевич Михайлов (НПО им. С.А. Лавочкина)

*Баллистико-навигационное обеспечение обсерватории  
СРГ //*

Георгий Юрьевич Мозгунов (Институт Космических  
Исследований РАН)

*Применение методов машинного обучения для  
классификации сверхдлинных транзиентов в  
гамма-диапазоне, обнаруженных в данных эксперимента  
INTEGRAL //* Г. Мозгунов, А. Позаненко, П. Минаев, И. Человеков,  
С. Гребенев, Д. Свинкин, Ю. Темираев, А. Дёмин, Д. Фредерикс,  
А. Лысенко, А. Ридная

В работе проводится поиск сверхдлинных гамма-транзиентов в данных SPI-ACS/INTEGRAL и их классификация методами машинного обучения. Методом «слепого» порогового поиска было найдено около 4500 кандидатов в данных SPI-ACS/INTEGRAL. Был разработан алгоритм автоматической обработки кривых блеска, позволяющий выделять кандидат на различных временных шкалах, вычислять его длительность и интегральный поток. Он успешно применён для вычисления потоков в кривых блеска в различных детекторах обсерватории: IREM, SPI-ACS, SPI, ISGRI, PICsIT. Эти параметры используются для обучения классификатора, основанного на градиентном бустинге. Затем был проведен кластерный анализ найденных кандидатов с помощью методов снижения размерности. Наконец, было проведено сравнение оставшихся кандидатов с данными гамма-детекторов Konus-WIND и GBM/Fermi. Таким образом, удалось подтвердить не менее 4 кандидатов в сверхдлинные гамма-всплески обнаруженные детектором SPI-ACS/INTEGRAL.

---

Алексей Валерьевич Моисеев (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)

*Ожидается ли слияние сверхмассивных черных дыр в активном ядре "Тук-Так" (SDSS J1430+2303)?*

// И.Д. Караченцев, А.В. Моисеев

Начиная с прошлого года, благодаря своей необычной кривой блеска в оптическом и рентгеновском диапазонах, а также значимому изменению формы бальмеровских линий в сравнении с архивными спектрами, галактика SDSS J1430+2303 рассматривается как возможный кандидат в скорое слияние сверхмассивных черных дыр. В докладе обсуждаются результаты новых наблюдений этого интересного объекта, как опубликованные, так и полученные нами на 6-м телескопе САО РАН. Рассматриваются аргументы за и против гипотезы двойственного центральной черной дыры.

Сергей Владимирович Мольков (Институт космических исследований РАН)

*Наблюдение рентгеновских миллисекундных пульсаров телескопом ART-XC обсерватории СРГ*

// А.А. Лутовинов, В.А. Арефьев, А.Ю. Ткаченко

В докладе будет приведён обзор наблюдений быстровращающихся нейтронных звёзд телескопом ART-XC имени М.Н. Павлинского. Несмотря на то, что телескоп был разработан для задач сканирования больших областей на небесной сфере, его детекторы обладают хорошим временным разрешением (23 микросекунды), а бортовые часы достаточно стабильны, что даёт возможность проводить спектрально-временной анализ когерентных сигналов, имеющих период от нескольких миллисекунд.

Валентин Олегович Незабудкин (Институт космических исследований РАН)

*Рентгеновское излучение Центрального Звездного Диска Млечного Пути по данным телескопа ART-XC им. Павлинского обсерватории СРГ // В.О.Незабудкин, Р.А. Кривонос, Команда телескопа ART-XC*

Центральный Звездный Диск (ЦЗД или NSD — Nuclear Stellar Disc) вместе с центральным звездным скоплением (ЦЗС или NSC — Nuclear Stellar Cluster) и сверхмассивной черной дырой Стрелец А\*, является одним из основных компонентов центральной области Млечного Пути. В данной работе проводилось исследование рентгеновского излучения ЦЗД на основе данных, полученных телескопом ART-XC им. Павлинского обсерватории СРГ в ходе калибровочных наблюдений 2019 года. Целью работы являлось получение коэффициента линейной связи массы звездного населения и рентгеновской интенсивности ЦЗД в галактическом центре, а также его сравнение с аналогичным параметром в других областях Галактики. Были воспроизведены модели звездного населения ЦЗД по данным ближнего инфракрасного диапазона. В ходе работы построена корреляция потока рентгеновского излучения ЦЗД в диапазоне 4–12 кэВ с моделью звездной массы, которая хорошо согласуется со свойствами рентгеновского излучения Галактики.

Александр Нестерёнок (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

*Прохождение гамма-всплеска через молекулярное облако: поглощение излучения в оптическом и рентгеновском диапазонах длин волн // А.В. Нестерёнок*

Построена модель прохождения излучения гамма-всплеска через плотное молекулярное облако. В расчетах учитываются основные процессы взаимодействия излучения с веществом облака: ионизация атомов H, He, ионизация ионов металлов с учетом испускания электронов Оже, ионизация и фотодиссоциация молекул H<sub>2</sub>, поглощение ультрафиолетового (УФ) излучения в линиях H<sub>2</sub> серий Лаймана и Вернера, испарение частиц пыли. Ионизация внутренних электронных оболочек ионов рентгеновским излучением сопровождается испусканием электронов Оже, что приводит к образованию ионов в высоком ионизационном состоянии. Фотоионизация ионов металлов УФ излучением происходит только на расстояниях меньше радиуса испарения пыли и для нейтральных атомов с порогом ионизации меньше 13.6 эВ. Результаты расчетов качественно соответствуют данным наблюдений послесвечения гамма-всплесков, согласно которым лучевая концентрация водорода  $N_H$ , вычисленная по данным в оптическом диапазоне длин волн, как правило, много

---

меньше лучевой концентрации  $N_{HX}$ , вычисленной по поглощению излучения в рентгеновском диапазоне длин волн. Результаты наших расчетов подтвердили выдвинутое ранее предположение, что фотоионизация атомов He играет важную роль в поглощении излучения в рентгеновском диапазоне длин волн. Для низкой металличности,  $[M/H] \leq -1$ , роль атомов He доминирующая. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-12-00250.

Евгения Александровна Николаева (Казанский  
(Приволжский) федеральный университет)

*Сравнительный анализ спектров рентгеновски  
активных и спокойных звезд в рассеянном скоплении  
Плеяды* // Е.А. Николаева, И.Ф. Бикмаев, М.А. Горбачев, М.В. Сусликов

Рентгеновский телескоп SRG/eROZITA задетектировал 556 звезд в рассеянном скоплении Плеяды, что составляет 43% от всего количества звезд в скоплении. На оптическом телескопе РТТ-150 были получены спектры как звезд скопления с зарегистрированным рентгеновским излучением, так и звезд, рентгеновское излучение от которых не было обнаружено. Выполнен сравнительный анализ спектров звезд различных классов: от В до М с целью выявления происхождения рентгеновского излучения.

Елена Евгеньевна Нохрина (Московский  
физико-технический институт)

*Эффект видимого сдвига ядра в параболических джетах*  
// Е.Е. Нохрина

Метод видимого сдвига ядра успешно применяется для оценки физических параметров в релятивистских струйных выбросах из активных ядер галактик. Классические предположения (Лобанов 1998, Хиротани 2005) включают в себя: коническую геометрию выброса; постоянную скорость плазмы; определенные степенные зависимости магнитного поля и концентрации излучающей плазмы от расстояния вдоль джета; равномерное распределение между плотностями энергий магнитного поля и излучающей плазмы. Недавние данные наблюдений (например, Асада и Накамура 2012, Ковалев и др. 2020) показывают, что геометрия джета в области наблюдаемых ядер является параболической, а джет еще эффективно ускоряющимся. Мы модифицировали метод видимого сдвига ядра для того, чтобы учесть эти свойства джетов. При этом степенная зависимость видимого положения ядра от частоты накладывает ограничения на соотношение между плотностями энергий излучающей плазмы и магнитного поля. Мы показываем, что показатель степени зависимости видимого положения

от частоты принимает значения от 0.67 до 1, в зависимости от угла наблюдения. Мы получили модифицированные формулы для оценки величины магнитного поля в выбросе, и показали, что поле из ядерной области может быть экстраполировано вплоть до масштабов порядка гравитационного радиуса. Применение этого метода для M 87 и NGC 315 дает оценки, находящиеся в очень хорошем согласии с независимыми оценками магнитного поля.

Александр Викторович Попков (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет))

*Поиск квазаров с тусклыми ядрами по РСДБ-Gaia сдвигам: первые результаты* // А.В. Попков, Ю.Ю. Ковалев, А.В. Плавин

В радиоизлучении квазаров обычно доминирует ядро джета - видимое яркое его начало с оптической толщой, близкой к единице. Однако известны объекты, в джетах которых формируются области, превышающие по яркости ядро. Излучающие частицы в таких областях, предположительно, ускоряются в результате формирования ударных волн в самом джете либо его взаимодействия с окружающей средой. Возможно также более сильное, чем обычно, поглощение излучения ядра. Всё это делает такие источники интересными для изучения. Мы представляем первые результаты поиска данных объектов с помощью сравнения высокоточных координат квазаров в радио- и оптическом диапазонах, определенных, соответственно, радиоинтерферометрами со сверхдлинной базой (РСДБ) и миссией Gaia. Отбираются объекты, у которых имеется статистически значимый сдвиг между РСДБ и Gaia координатами, соответствующий вектору между двумя доминирующими деталями на радиоизображениях. На основании анализа многочастотных РСДБ-наблюдений делается вывод о природе этих деталей структуры. Для источников, самая яркая деталь которых в радиодиапазоне не является ядром, предлагаются поправки к РСДБ-координатам и обсуждаются физические причины преобладания в радиоизлучении оптически тонкой компоненты джета.

---

Анна Владимировна Попкова (Государственный  
астрономический институт имени Штернберга)

*Поиск облаков молекулярного водорода в окрестностях  
Солнца* // А.В. Попкова, М.С. Пширков, А.В. Тунцов

Существуют наблюдательные свидетельства того, что часть скрытой массы Галактики существует в форме тёмных облаков молекулярного водорода массой порядка  $10^{-5}$  солнечных и характерным размером около 0.3 а.е. К таким свидетельствам относятся, к примеру, экстремальное рассеяние радиоизлучения квазаров, суточная переменность квазаров с плоским спектром и некоторые другие. Предполагается, что вокруг большинства звёзд Галактики может существовать до  $10^5$  подобных облаков. Такие объекты нелегко обнаружить из-за их маленького размера и низкой температуры, ведь линии молекулярного водорода начинают возбуждаться лишь при температурах порядка 100 К. Тем не менее, взаимодействие молекулярного водорода с частицами космических лучей должно вызывать гамма-излучение, достаточно сильное для того, чтобы быть зарегистрированным гамма-телескопом Fermi LAT. Другим наблюдательным проявлением тёмных облаков должны быть тени, которое такое облако должно оставлять на оптическом, ультрафиолетовом и рентгеновском фоне неба. В нашей работе мы производим поиск таких объектов в окрестностях Солнца, используя список неотожествлённых объектов гамма-излучения из каталога 4FGL-DR4 и данные обзора All-Sky Survey космического телескопа GALEX и ставим ограничения на их распространённость.

Константин Александрович Постнов (Государственный  
астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им.  
М.В. Ломоносова)

*Развитие наблюдений на Кавказской горной  
обсерватории ГАИШ МГУ и наземная поддержка SRG*  
// К. А. Постнов, А. А. Белинский, Н. И. Шатский, И. С. Сафонов,  
А. М. Татарников, А. М. Черепашук

Юрий Йормович Поутанен (Университет Турку)

*Поляриметрические наблюдения аккрецирующих черных  
дыр звездных масс спутником IXPE* // Ю. Й. Поутанен

Будет представлен обзор результатов рентгеновской обсерватории IXPE по аккрецирующим черным дырам звездных масс.



Сергей Александрович Прохоренко (Институт  
Космических Исследований РАН)

*Долговременная рентгеновская переменность квазаров SDSS по данным СРГ/еРОЗИТА: зависимость от массы и темпа аккреции черной дыры* // С.А. Прохоренко, С.Ю. Сазонов, М.Р. Гильфанов, С.А. Балашев, И.Ф. Бикмаев, А.В. Иванчик, П.С. Медведев, А.А. Старобинский, Р.А. Сюняев

В текущем докладе представлены результаты исследования долговременной (от нескольких месяцев до 20 лет в системе покоя) переменности рентгеновского излучения 2344 ярких в рентгене квазаров из каталога SDSS DR14Q на основе данных обзора всего неба СРГ/еРОЗИТА, дополненных архивными данными каталога случайных источников XMM-Newton для 7% выборки. В исследовании в качестве характеристики переменности использовалась структурная функция,  $SF(\Delta t)$ . Полученные результаты подтверждают известную ранее антикорреляцию амплитуды рентгеновской переменности со светимостью. Также нами была изучена зависимость рентгеновской переменности от массы черной дыры,  $M_{BH}$ , и от оцененного на основе рентгеновского излучения отношения Эддингтона  $\lambda_X$ . Как оказалось, менее массивные черные дыры более переменны для заданного отношения Эддингтона и масштаба времени. Также, рентгеновская переменность растет с уменьшением отношения Эддингтона и становится особенно сильной при  $\lambda_X$  менее или порядка нескольких процентов, что может свидетельствовать о переходе в другое состояние аккреции. Наши результаты подтверждают рост амплитуды рентгеновской переменности с увеличением масштаба времени. Этот тренд был описан как степенной моделью, так и моделью  $SF^2(\Delta t) \propto 1 - \exp(-\Delta t/\tau)$ , которая соответствует затухающему процессу случайного блуждания. Выяснилось, что вторая модель, как правило, обеспечивает лучшее соответствие данным, хотя и с низкой статистической значимостью. Таким образом, имеется слабое указание на наличие излома в зависимости переменности от масштаба времени. Полученная оценка характерного времени составляет  $\tau \sim 0,25-1$  год, но какая-либо ее зависимость от массы черной дыры или отношения Эддингтона не установлена.

Сергей Юрьевич Сазонов (Институт космических исследований РАН)

*Обзор всего неба телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ: новый каталог источников* // Р.А. Буренин, Р.А. Кривонос, Е.В. Филиппова и коллектив телескопа СРГ/ART-XC.

Будет представлен обновленный каталог рентгеновских источников, зарегистрированных в ходе обзора всего неба телескопа СРГ/ART-XC с декабря 2019 по март 2022 года.

Александр Салганик (Санкт-Петербургский государственный университет; Институт Космических Исследований)

*RX J0440.9+4431: сверхкритический рентгеновский пульсар* // А. Салганик, С.С. Цыганков, В. Дорошенко, С.В. Мольков, А.А.Лутовинов, А.А. Муштуков, Ю. Поутанен

В докладе приводятся результаты исследования транзиентной рентгеновской двойной RX J0440.9+4431 (J0440), состоящей из рентгеновского пульсара и Ве звезды Главной последовательности, по данным обсерваторий NuSTAR, INTEGRAL, NICER и Swift. Источник долгое время относили к классу низкосветимостных постоянных Ве систем, однако серия вспышек выявила его транзиентную природу. Исследование фокусируется на гигантской вспышке 2023 года, превосходящей предыдущие в десятки раз, достигнувшей пиковой светимости  $4.3 \times 10^{37}$  erg/s. При умеренных темпах аккреции материя стекает на поверхность нейтронной звезды вблизи её магнитных полюсов. Однако, в течение данной вспышки по достижении светимости  $2.8 \times 10^{37}$  erg/s пульсар резко изменил характер зависимости жёсткости излучения от светимости, а также форму профиля импульса, что было нами интерпретировано как переход в так называемый “суперкритический” режим аккреции: давление излучения оказалось достаточно большим, чтобы остановить падение вещества, что сопровождалось формированием ударной волны и образованием аккреционной колонки. В результате широкополосных наблюдений была изучена эволюция двухгорбой спектральной формы J0440 с пиками на 10-20 и 50-70 кэВ при переходе между различными режимами аккреции. Нами было обнаружено, что при описании спектра данной моделью, нет необходимости в упоминавшейся в более ранних работах циклотронной линии на 30 кэВ. В связи с этим, нами была получена оценка на величину магнитного поля  $B \sim 10^{13}$  Гс на основании прямых методов.

Михаил Евгеньевич Сачков (Институт Астрономии РАН)

*Проект Спектр-УФ* // Михаил Евгеньевич Сачков

Дмитрий Сергеевич Свинкин (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)

*GRB 230307A - длинный гамма-всплеск от слияния компактных объектов* // Д.С. Свинкин, Д.Д. Фредерикс, А.Л. Лысенко, А.В. Ридная, М.В. Уланов, А.Е. Цветкова(ФТИ); А.С. Козырев, Д.В. Головин, М.Л. Литвак, И.Г. Митрофанов, А.Б. Санин (ИКИ)

Основными источниками гамма-всплесков являются два типа катастрофических событий: слияния компактных объектов, двух нейтронных звёзд или нейтронной звезды и чёрной дыры, могут сопровождаться в основном короткими, менее 2 с, гамма-всплесками (всплески Типа I); коллапсы ядер массивных звёзд в основном производят длинные гамма-всплески в среднем с более мягким спектром и значительной спектральной эволюцией (всплески Типа II). К настоящему времени обширные многоволновые наблюдения гамма-всплесков свидетельствуют о том, что гамма-всплески Типа I (от слияний), по-видимому, могут демонстрировать широкое разнообразие кривых блеска и спектральной эволюции. Всплеск GRB 170817A, сопровождавший слияние двух нейтронных звёзд (гравитационно-волновое событие GW 170817), имел длительность 2 с и относительно мягкий спектр, что существенно отличало его от основной популяции коротких всплесков с более жестким спектром. Также было обнаружено несколько относительно близких всплесков ( $z < 0.2$ ) с длительностями в десятки секунд, чье послесвечение было скорее схоже с послесвечением коротких всплесков. Гамма-всплеск GRB 230307A, зарегистрированный сетью гамма-детекторов (Interplanetary network, IPN), в настоящее время является вторым по яркости из всех гамма-всплесков, зарегистрированных за всё время их наблюдения. IPN локализация всплеска позволила начать обширную кампанию по его многоволновым наблюдениям. В результате было обнаружено быстроспадающее послесвечение с признаками присутствия килоновой. В докладе представлены результаты временного и спектрального анализа всплеска по данным Конус-Винд, единственного инструмента, наблюдавшего всплеск без существенных искажений вызванных его высокой интенсивностью. Обсуждается эволюция спектра всплеска и масштабы переменности кривой блеска. В заключении на основе сопоставления параметров всплеска и популяций всплесков Типа I и II (коллапсов) обсуждается возможность отождествления подобных событий (длинных всплесков Типа I) в данных Конус-Винд. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-12-00250.

---

Тимофей Александрович Семенихин (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга)

*Поиск артефактов на изображениях обзора ZTF при помощи нейронных сетей* // Т. Семенихин, М. Корнилов, М. Пружинская, SNAD team.

Сегодня астрономам приходится работать с большими объемами данных, поскольку современные инструменты способны генерировать терабайты данных за одну ночь. Одним из таких инструментов является автоматизированный обзор неба Zwicky Transient Facility, который за одну ночь среди снятых областей неба детектирует порядка миллиона кандидатов новых астрофизических объектов. Однако, значительная доля найденных объектов оказывается артефактами, то есть явлениями, имеющими не астрофизическую природу. Поэтому специалистам приходится тратить время на классификацию объектов вручную, так как на текущий момент не существует эффективного метода, который делал бы это без участия человека. Целью этой работы являлась реализация эффективного алгоритма, который по последовательности кадров объекта из обзора Zwicky Transient Facility предсказывал бы, является ли он артефактом или нет. Для реализации алгоритма использована выборка, размеченная специалистами и содержащая 2230 серий кадров объектов. Так как последовательности кадров достаточно велики, использован вариационный автоэнкодер, который позволяет отобразить изображение в вектор меньшей длины. Для решения задачи бинарной классификации по последовательности сжатых в вектора кадров применялась рекуррентная нейронная сеть. Было рассмотрено несколько моделей нейронных сетей, для оценки метрик качества использовалась kfold кросс-валидация. Итоговые метрики качества составляют ROC-AUC=0.856, Accuracy=0.802 и позволяют говорить, что модель имеет практическую ценность. Код с реализацией алгоритма доступен на [https://github.com/semtim/RB\\_ZTF](https://github.com/semtim/RB_ZTF).

Сергей Анатольевич Трушкин (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

*Гигантские радиовспышки в микроквазаре GRS1915+105 в 2023 году* // С.А. Трушкин, Н.Н. Бурсов, А.В. Шевченко, П.Г. Цыбулев, Н.А. Нижельский

Мы проводим почти ежедневный мониторинг ради излу чения прототипного микрокв азара GRS 1915+105 на телескопе РАТАН-600 в диапазоне от 2 до 22 ГГц с целью поиска новых закономерностей и корреляций излу чения в разных спектральных диапазонах. Прежде мы неоднократно регистрировали яркие (до 1 Ян) вспышки, когда источник был в высоком рентгеновском состоянии, сопровождаемом мощными рентгеновскими вспышками. Однако

уже несколько лет рентгеновский поток (Swift, MAXI) держится на рекордно низком уровне. С апреля 2023 г. мы регистрируем вспышечную (радио) активность, которая началась с рекордно высоких потоков (до 2.5 Ян) во вспышках длительностью до 10 дней. Во вспышке 4 августа поток достиг 5.5 Ян на частоте 2.3 ГГц, что значительно выше потоков, когда либо зарегистрированных в длительных радиомониторингах (GBI, Ryle, AMI-LA, РАТАН). В последующих наблюдениях на телескопе MeerKAT на частоте 1.29 ГГц поток вспышки в максимуме достиг 6 Ян. с 1 по 9 августа 2023 г мы проследили эту вспышку одновременно на двух частотах 4.7 и 8.2 ГГц в режиме ежедневных многоазимутальных (МА) наблюдений на РАТАН-600, когда потоки измерялись каждые 8.6 минуты в течение  $(\pm) \pm 2.5$  часов от местной кульминации источника. По ходу вспышки мягкий рентгеновский поток (MAXI, 2–20 кэВ) постепенно увеличивался во всех спектральных диапазонах, хотя поток жесткого рентгена (Swift/BAT и ИНТЕГРАЛ) фактически остался на прежнем уровне. В синхротронном, оптически тонком радиоспектре спектральный индекс плавно изменился от +0.15 до -0.95 с 1 до 9 августа, причем внутри интервала МА-наблюдений спектры (4.7–8.2 ГГц) также заметно менялись. В МА-наблюдениях обнаружена переменность потока на временах от 30 до 300 минут. Мы оценили наличие в кривых блеска квазипериодических осцилляции (КПО). И можно утверждать, что в восьми МА-измерениях обнаружены КПО (<10% от среднего потока) на временных масштабах от 30 до 100 минут на обеих частотах 4.7 и 8.2 ГГц. Мы связываем вспышечную активность GRS1915+105 с более эффективным формированием релятивистских струйных выбросов в процессе аккреции вещества с нормальной звезды. Мы находим явное сходство зарегистрированных вспышечных событий в GRS1915+105 с гигантскими вспышками в микроквазарах Cyg X-3 и SS433 и со вспышкой в недавно обнаруженном источнике Swift J1727.8-1613.

Сергей Анатольевич Тюльбашев (Пушинская  
радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)

*Обнаружение нового яркого FRB на радиотелескопе БСА  
ФИАН* // С.А. Тюльбашев, В.А. Самодуров, А.С. Позаненко,  
Е.А. Брылякова, С.А. Гребенев, И.В. Человеков, П.Ю. Минаев, Е.А. Исаев,  
М.В. Барков

С августа 2014 года на радиотелескопе БСА ФИАН проводится мониторинговый обзор на склонениях от  $-9^\circ$  до  $+42^\circ$ . Данные обзора используются для поиска пульсаров и диспергированных импульсов. Мы открыли яркий импульс, имеющий меру дисперсии (DM)  $134 \text{ пс/см}^3$  и пиковую плотность потока 20 Ян. Избыточная DM в направлении найденной вспышки, после учета вклада DM в Галактике, составляет  $114.1 \text{ пс/см}^3$ . Это соответствует светимостному расстоянию 713 Мпс. Исходя из расстояния оценена светимость вспышки как  $10^{34} \text{ эрг/с/Гц}$ . В данных всенаправленного детектора космического аппарата INTEGRAL вспышек на статистически значимом уровне не обнаружено. Найдено

более 73 суток архивных данных Обсерватории INTEGRAL с записью площадки найденного FRB. Мы провели поиск в архивных данных возможных повторных вспышек и также ничего не обнаружили. Показано, что вспышка может быть объяснена в рамках модели синхротронного мазера. Работа поддержана грантом РФФИ 22-12-00236.

Григорий Сергеевич Усков (Институт Космических Исследований РАН)

*Новые поглощенные активные ядра галактик, обнаруженные телескопами ART-XC и eROSITA в ходе обзора всего неба обсерватории СРГ*

// Г.С. Усков, С.Ю. Сазонов, И.А. Зазнобин, Р.А. Буренин, М.Р. Гильфанов, П.С. Медведев, И.А. Мереминский, Р.А. Сюняев, Р.А. Кривонос, Е.В. Филиппова, Г.А. Хорунжев, М.В. Еселевич

Представлены результаты отождествления 60 рентгеновских источников, обнаруженных в диапазоне энергий 4-12 кэВ в ходе первых пяти обзоров всего неба (с декабря 2019 по март 2022 г.) телескопа ART-XC им. М.Н. Павлинского обсерватории СРГ. Из них 25 были обнаружены в рентгене впервые, а остальные уже были известны ранее как рентгеновские источники, однако их природа оставалась неизвестной. С помощью 1.6-м телескопа АЗТ-33ИК Саянской обсерватории ИСЗФ СО РАН и 1.5-м Российско-турецкого телескопа Национальной обсерватории TÜBITAK были получены оптические спектры 49 источников, расположенных на северном небе ( $\text{dec} > 20\text{deg}$ ). Для остальных объектов были проанализированы архивные оптические спектры, полученные в ходе обзора 6dF и SDSS. Почти все исследованные объекты оказались сейфертовскими галактиками (20 - Sy1, 26 - Sy2, 7 - Sy1.9, 2 - Sy1.8, 2 - NLSy1, 1 - скрытый АЯГ, 1 - блазар и 1 - галактика) в близкой ( $z < 0.3$ ) Вселенной. По данным телескопов eROSITA и ART-XC обсерватории СРГ получены рентгеновские спектры объектов в диапазоне 0.2-12 кэВ и расположенных на восточном галактическом небе ( $0 < l < 180$ ). У восьми из них выявлено сильное поглощение  $NH > 10^{23} \text{ см}^{-2}$ .

Маргарита Леруновна Хабибуллина (Специальная  
Астрофизическая Обсерватория РАН)

*Радиосвойства далеких галактик на  $z > 1$*

// М.Л. Хабибуллина, А.Г. Михайлов, Ю.В. Сотникова, Т.В. Муфзахаров,  
М.Г. Мингалиев, А.А. Кудряшова, Н.Н. Бурсов, В. Столяров,  
Р.Ю. Удовицкий

В работе исследована выборка из 173 источников, оптически отождествленных с радиогалактиками на  $z \geq 1$  с плотностью потока S1.4  $\geq 20$  мЯн. Обнаружено, что большинство источников можно альтернативно классифицировать как квазары. Проведена классификация радиоспектров галактик. Обнаружено, что почти 60% галактик имеют крутые или ультра крутые радиоспектры; 22% — плоские, инвертированные, растущие и комплексные формы спектров, 18% — спектры с пиком (PS — peaked spectra), которые представляют интерес как кандидаты в молодые компактные АЯГ (активные ядра галактик). Большинство PS источников в выборке являются кандидатами в источники с мегагерцовым спектром MPS (20/31). Для надежной классификации всех типов PS в выборке и выявления уровня переменности радиоизлучения на РАТАН-600 проводятся многочастотные наблюдения. Для некоторых из них уже уточнены спектры. Статья принята к публикации в 4 номере АстроБюллетене за 2023 год.

Ирек Мунавирович Хамитов (Казанский Федеральный  
Университет)

*Плеяды глазами СРГ/eРОЗИТЫ* // И.М. Хамитов(1,2),

И.Ф. Бикмаев(1,2), М.Р. Гильфанов(3), Р.А. Сюняев(3), М.А. Горбачев(1,2),  
И.Н. Иртуганов, П.С. Медведев(3), Е.А. Николаева(1,2), М.В. Сусликов(1,2)  
(1.) КФУ, Казань; (2.) АН РТ, Казань; (3.) ИКИ РАН, Москва.

Среди оптических источников рассеянного звездного скопления Плеяды, выделенных кинематическим методом по данным Гайа (Lodieu et al, 2019), обнаружено совпадение с 805 рентгеновскими источниками (0.3 — 2.3 кэВ) из составного обзора всего неба СРГ/eРозита с использованием всех данных, то есть порядка 4.4 обзора. Выборка близка к полной для рентгеновских светимостей  $L_x > 2.24 \times 10^{28}$ . Обсуждается распределение доли звезд с рентгеном в зависимости от расстояния до центра скопления. Обнаружено, что порядка 73% звезд с рентгеном данной выборки сосредоточены внутри приливного радиуса Плеяд ( $R_{tidal} = 11.6$  пк). На расстоянии порядка 18 пк от центра скопления наблюдается локальное увеличение доли звезд с рентгеном. Проведен анализ распределения рентгеновской светимости в зависимости от оптической светимости данной выборки. Выделено 25 источников с рентгеновской переменностью, показывающих в 10 и более раз изменение рентгеновского

---

потока. Все сильно переменные кандидаты отождествляются с эруптивными переменными.

Георгий Андреевич Хорунжев (Институт Космических Исследований РАН)

*Спектроскопическая идентификация сильно-переменных источников с неизвестным красным смещением, задетектированных в низком состоянии в обзоре SRG/eROZITA* // Г.А. Хорунжев, П.С. Медведев, С.Ю. Сазонов, М.Р. Гильфанов

Получены оптические спектры для 12 источников из выборки сильно-переменных активных ядер галактик (АЯГ), которые на момент составления каталога Медведев+2022 не имели подтвержденного спектроскопического красного смещения. Удалось классифицировать все 12 источников: 10 активных ядер галактик, одну катаклизмическую переменную и один блазар, красное смещение которого измерить не удалось. В работе обсуждаются различные способы оценки болометрической светимости, массы центральной сверхмассивной черной дыры и темпа аккреции на неё.

Анатолий Михайлович Черепашук (государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга)

*Эволюционное возрастание радиуса орбиты и изменение размеров полости Роша оптической звезды в микроквизаре SS433* // К.А. Постнов, А.М. Черепашук, А.А. Белинский, А.В. Додин

На основе открытого нами эволюционного увеличения орбитального периода SS433 показано, что размеры орбиты системы возрастают со временем, что препятствует образованию общей оболочки, которая предсказывается теорией эволюции массивных тесных двойных систем. Размеры полости Роша оптической звезды остаются в среднем постоянными, что обеспечивает устойчивое перетекание вещества оптической звезды на черную дыру. Вследствие этого, система SS433, которая находится на стадии завершения вторичного обмена масс, эволюционирует как полуразделенная со сверхкритическим аккреционным диском вокруг черной дыры.



Дмитрий Олегович Чернышов (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева РАН)

*Экранирование космических лучей молекулярным газом и его влияние на гамма-излучение Галактики*  
// Д.О. Чернышов, В.А. Догель, А.В. Ивлев, А.М. Киселев

Взаимодействие релятивистских космических лучей с молекулярным газом формирует, в зависимости от области наблюдения, до половины наблюдаемого гамма-излучения Галактики. Данное излучение является одним из наиболее важных источников информации о спектре космических лучей в межзвездной среде. В то же время, анализ спектра гамма-излучения из близких к нам молекулярных облаков показал, что космические лучи с энергиями порядка 10 ГэВ и ниже эффективно экранируются плотным молекулярным газом. Мы полагаем, что данная экранировка связана с потоковой неустойчивостью, возникающей при проникновении космических лучей в молекулярный газ. Если эта гипотеза верна, то аналогичный эффект должен наблюдаться во всех молекулярных облаках Галактики, и, следовательно, влиять на гамма-излучение галактического диска. Наши расчеты показывают, что экранирование космических лучей может на 30% ослабить предсказанное симуляцией GALPROP полное диффузное гамма-излучение из окрестности галактического центра в диапазоне ниже 1 ГэВ. Несмотря на то, что амплитуда данного эффекта невелика, его наличие может привести к потенциальной переоценке фонового излучения, и как следствие, к искажению спектра слабых источников на низких энергиях.

Пётр Сергеевич Штернин (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе)

*Универсальные свойства уравнений состояния и кривых масса-радиус нейтронных звезд* // Д.Д. Оффенгейм, П.С. Штернин, Т. Piran

В литературе существует несколько сотен различных моделей уравнения сверхплотного вещества, составляющего материю нейтронных звезд (НЗ). Их разнообразие отражает неопределённость ядернофизического знания о свойствах материи, более плотной, чем атомные ядра. Большие надежды возлагаются астрофизические наблюдения НЗ, которые могут пролить дополнительный свет на физику такого вещества. В частности, обнаружение НЗ с массами более  $2 M_{sun}$  и наблюдение гравитационно-волнового сигнала от слияния НЗ с последующим электромагнитным послесвечением позволило существенно ограничить допустимое разнообразие моделей уравнения состояния. В данной работе показано, что широкий набор уравнения состояния ядра НЗ может быть с

---

достаточной точностью описан единым 3-параметрическим семейством кривых. В качестве таких параметров удобно выбрать две характеристики максимально массивной НЗ – например, её массу  $M_{max}$  и радиус  $R_{Mmax}$ , - и радиус  $R_{1/2}$  НЗ с массой  $M_{max}/2$ . На основе более 170 моделей уравнения состояния – как реалистичных, так и не соответствующих современным наблюдательным ограничениям, – предложены универсальные аппроксимации зависимости  $P(\rho)$  и M-R, основанные на этих трёх параметрах. Эти аппроксимации служат основой для нового метода определения уравнения состояния НЗ по астрофизическим наблюдениям. Подгонка измерений масс и радиусов различных НЗ универсальной кривой M-R позволяет ограничить  $M_{max}$ ,  $R_{Mmax}$  и  $R_{1/2}$ , а управляемая теми же параметрами универсальная зависимость  $P(\rho)$  даёт ограничения на уравнение состояния. Сила и простота данного метода продемонстрирована применением к современным наблюдениям НЗ с помощью радио-, рентгеновских и гравитационно-волновых обсерваторий.



## Стендовые доклады

Вадим Юрьевич Абрамкин (Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе)

*Тепловое и нетепловое излучение в оптическом и УФ спектре PSR B0950+08* // В.Ю. Абрамкин, Г.Г. Павлов, Ю.А. Шибанов, О.Ю. Каргальцев

Основываясь на наблюдениях космического телескопа им. Хаббла в УФ диапазоне и наземных наблюдениях Г. Г. Павлов и коллеги обнаружили тепловую компоненту в спектре старого пульсара B0950+08 (характеристический возраст 17.5 млн лет) и оценили температуру поверхности нейтронной звезды (НЗ) как  $(1-3) \times 10^5$  К. Наши новые наблюдения на телескопе им. Хаббла в оптике позволили отделить пульсар от близкой фоновой галактики и измерить оптические потоки более аккуратно. Используя вновь измеренные потоки и новую калибровку УФ детектора телескопа, мы получили наклон нетепловой компоненты спектра  $\alpha = -0.3 \pm 0.3$ , существенно более плоский, чем полученный на основе наземных наблюдений и температуру в диапазоне  $(6-12) \times 10^4$  К (для удаленного наблюдателя) в зависимости от межзвездного поглощения и радиуса НЗ. Температура оказалась ниже, чем сообщалось ранее, однако все еще намного выше, чем предсказанная сценарием пассивного остывания НЗ для такого старого пульсара. Это означает, что в НЗ работают некоторые механизмы подогрева.

Марина Дмитриевна Афолина (Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга)

*Эволюционный статус долгопериодических радиопульсаров* // М.Д. Афолина, А.В. Бирюков, С.Б. Попов

Работа посвящена изолированным нейтронным звездам. Рассматривается эволюционный статус недавно обнаруженных долгопериодических радиоисточников PSR J0901-4046, GLEAM-X J1627-52, GPM J1839-10. Существует предположение, что все три являются радиопульсарами. В рамках стандартных сценариев считается, что для работы пульсарного механизма необходимо исключить проникновение внешнего вещества под световой цилиндр,

что соответствует стадии Эжектора. Показано, что при реалистичных свойствах межзвездной среды 76-секундный пульсар PSR J0901-4046 должен находиться на этой стадии, в то время как источники GLEAM-X J1627-52 и GPM J1839-10 с периодами 1000 с могут находиться на этой стадии только при нереалистично высоких дипольных полях  $10^{16}$  Гс. Также мы показываем, что источники с периодами  $\sim 100$  с и полями  $10^{13}$  Гс не могут быть Эжекторами в реалистичной межзвездной среде. Таким образом, предсказывается, что долгопериодические радиопульсары со стандартными магнитными полями не будут обнаружены.

Анастасия Юрьевна Балута (Московский  
государственный университет имени М.В. Ломоносова)

*Анализ аномалий в алертных данных телескопа ZTF с  
помощью Fink broker* // А.Ю. Балута

Обнаружение новых астрономических источников является одним из наиболее ожидаемых результатов следующего поколения крупномасштабных исследований неба. Такие эксперименты как LSST позволят непрерывно отслеживать большие участки неба, что, несомненно, приведет к обнаружению новых астрофизических явлений. В своем выступлении я бы хотела представить модуль обнаружения аномалий, разработанный для научного брокера данных Fink, одного из официальных брокеров LSST для поиска объектов с уникальными свойствами в алертных данных телескопа Zwicky Transient Facility (ZTF) и LSST в будущем. Я представлю первые открытия, сделанные с помощью модуля, включая быстрые транзиенты, кандидаты в сверхновые, а также переменные звезды.

Дмитрий Петрович Барсуков (ФТИ им А.Ф. Иоффе)

*Влияние мелкомасштабного поля и угла наклона на  
нагрев полярной шапки радиопульсара J0901-4046*  
// Д.П. Барсуков, И.К. Морозов, А.Н. Попов, А.В. Халяпин, А.А. Матевосян

Пульсар J0901-4046 имеет период вращения  $P = 75.8$  сек и является наиболее медленно вращающимся среди одиночных радиопульсаров. Мы рассматриваем влияние величины мелкомасштабного магнитного поля в модели смещенного диполя на обратный ток позитронов во внутреннем зазоре и связанный с ним нагрев полярной шапки пульсара. Как показано в D.N. Sob'yanin, Phys. Rev. D, 107, L081301 (2023) этот пульсар близок к соосному  $\chi = 10^\circ$ . Однако, принимая во внимание очень узкий профиль импульса пульсара  $W_{50} = 295 - 300$  мс, мы рассматриваем и другие возможные значения угла наклона  $\chi$ .

Илья Александрович Барышников (Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе)

*Способы измерения температуры реликтового излучения по космологическим данным*

// В.А. Шенявский, И.А. Барышников, В.В. Клименко, А.В. Иванчик

Измерения температуры реликтового излучения  $T_0$  в современную эпоху с использованием космологических данных могут позволить протестировать стандартную космологическую  $\Lambda$ CDM модель, поэтому исследование методов измерения является актуальной задачей. На сегодняшний день известно и реализовано два метода измерения температуры реликтового излучения  $T_0$  по космологическим данным: один использует эффект Сюняева-Зельдовича, второй — анализ заселенностей энергетических уровней атомов и молекул в плотных межзвездных облаках. В данной работе исследованы стандартная и новая процедуры измерения температуры реликтового излучения по эффекту Сюняева-Зельдовича. Работа выполнена с помощью численного моделирования искусственного каталога наблюдений эффекта Сюняева-Зельдовича для скоплений. Моделирование выполнялось в рамках стандартной космологической  $\Lambda$ CDM модели. В результате было выяснено, что более точную оценку дает новая описанная в работе процедура в методе по эффекту Сюняева-Зельдовича. Анализ показал, что причиной расхождения в методах является учет одного из четырех параметров, описывающих эффект Сюняева-Зельдовича, а именно peculiarной скорости  $\beta$ .

Нина Бескровная (Главная Астрономическая Обсерватория РАН)

*Турбораскрутка аккреционных пульсаров в сценарии MAD-аккреции* // Н.Р. Ихсанов, В.Ю. Ким и Н.Г. Бескровная

В докладе обсуждаются физические процессы, определяющие ротационную эволюцию аккрецирующих нейтронных звезд, входящих в состав массивных рентгеновских двойных систем, параметры которых приведены в обновленной версии каталога этих объектов (Kim et al. 2023). Основное внимание уделяется относительно коротким (продолжительностью от нескольких дней до нескольких недель) эпизодам раскрутки и замедления вращения нейтронной звезды, в течение которых темп изменения периода пульсаций достигает предельно высоких значений. Реверс знака производной периода, разделяющий эти эпизоды, в большинстве случаев возникает спонтанно и слабо коррелирует с изменениями потока рентгеновского излучения источника (Ихсанов и др. 2014). Объяснить такое поведение пульсаров без привлечения дополнительных предположений и/или модернизации модели этих источников затруднительно. Одним из возможных решений, представленным в нашем докладе, является

сценарий MAD-аккреции, позволяющий учесть собственное магнитное поле аккреционного потока и его влияние на ротационную эволюцию звезды-аккретора. Принимая за основу картину аккреции, представленную в работе Ихсанова и Мерегетти (Ikhsanov and Mereghetti 2015), мы приходим к оценке абсолютного значения верхнего предела темпа изменения периода аккреционных пульсаров (справедливого при любом аккреционном сценарии) и формулировке условий, при которых быстрое изменение знака производной периода, наблюдаемое в исследуемых пульсарах, оказывается возможным. Литература Kim, V., Izmailova, I., Aimuratov, Y. 2023, ApJS, 268:21 Ikhsanov, N.R., Mereghetti, S. 2015, MNRAS, 454, 3760-3765 Ихсанов, Н.Р., Лих, Ю.С., Бескровная, Н.Г. 2014, Астрон. журн., т. 91, № 6, 449-459 Ихсанов Н.Р., Бескровная Н.Г. 2023а, Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 228, 115-117 Ихсанов Н.Р., Бескровная Н.Г. 2023б, Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 229, 19-23

Александр Васильевич Бобаков (Государственный  
Астрономический Институт им. П.К. Штернберга МГУ)

*Оптические исследования двух "черных вдов" J2017-1614  
и J1513-2550 // А.В. Бобаков, А.В. Карпова, Д.А. Зюзин,  
Ю.А. Шибанов, А.Ю. Кириченко, С.В. Жариков*

Многоволновые наблюдения миллисекундных пульсаров в двойных звездных системах важны для исследования образования и эволюции этих систем. Согласно последним данным, массы нейтронных звезд в них могут достигать рекордных значений более  $2 M_{\odot}$ , существенно превышающих "классическую" величину  $1.4 M_{\odot}$ . Особую группу среди таких объектов представляют "паучьи" пульсары. Они представляют из себя тесные двойные системы с периодом обращения  $P \lesssim 1$  д. По массе компаньона паучьи пульсары разделяются на "черные вдовы" ( $M_c \lesssim 0.05 M_{\odot}$ ) и "красноспинники" ( $M_c \approx 0.1-1 M_{\odot}$ ). В таких системах одна сторона компаньона подвергается сильному нагреву со стороны пульсара, что приводит к сильной переменности наблюдаемой оптической кривой блеска компаньона. Анализ и моделирование таких кривых блеска позволяют оценивать параметры "паучьих" пульсаров, основными из которых являются массы компонентов системы, расстояние до системы и степень заполнения полости Роша. Пульсары J2017-1614 и J1513-2550, относящиеся к классу "чёрных вдов", были открыты в радиодиапазоне на телескопе Green Bank в 2016 г. Для них также были найдены пульсации в гамма-диапазоне. Их орбитальные периоды составляют  $P_{J2017} = 2.4$  ч. и  $P_{J1513} = 4.3$  ч. Наблюдения пульсара J2017-1614 также были проведены в  $R$  фильтре оптического диапазона на 2.4-метровом телескопе обсерватории MDM, которые показали сильную переменность яркости, с величиной  $R \approx 21.8$  в максимуме. В данной работе представлены результаты оптической фотометрии данных черных вдов на больших телескопах. Пульсар J2017-1614 наблюдался на 10-метровом Большом Канарском телескопе, а J1513-2550 - на 6.5-метровом телескопе Magellan. В результате для J2017-1614 нами

были получены 4 кривые блеска в фильтрах  $g_s$ ,  $r_s$ ,  $i_s$  и  $z_s$ , а для J1513-2550 только в  $r$  фильтре. С помощью моделирования кривых блеска J2017-1614 мы получили оценки параметров двойной системы. Кривая блеска J1513-2550 асимметрична, что может объясняться наличием горячего пятна на поверхности компаньона. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант No 22-22-00921, <https://rscf.ru/project/22-22-00921/>

Евгений Олегович Васильев (Астрокосмический центр  
ФИАН)

*Эволюция пыли в остатке сверхновой при  
взаимодействии с межзвездной средой* // Е.О. Васильев  
(АКЦ), Ю.А. Шекинов (RRI)

Вспышки сверхновых считаются важным источником пыли в галактиках. В то же время сильные ударные волны от сверхновых являются эффективным механизмом разрушения пылевых частиц за счет теплового и кинетического испарения. В работе рассмотрена эволюция пылевых частиц инжектированных при вспышке и существовавших в среде при взаимодействии остатка сверхновой с окружающим газом в рамках трехмерной многокомпонентной газовой динамики. Получен верхний предел на массу пыли, произведенной при вспышке сверхновой, которая пополняет окружающий газ (выживает за фронтами ударных волн), в зависимости от свойств внешнего газа и размера частиц. Работа выполнена при поддержке РФФ (проект 23-22-00266).

Александр Сергеевич Винокуров (ФГБУН Специальная  
астрофизическая обсерватория РАН)

*Исследование транзиентного ультраяркого  
рентгеновского источника NGC925 X-3 в оптическом и  
рентгеновском диапазонах* // А.С. Винокуров (САО РАН),  
К.Е. Атапин(ГАИШ МГУ)

По данным Swift/XRT 2011-2023 гг. исследована долговременная переменность транзиентного ультраяркого рентгеновского источника NGC925 X-3 в рентгеновском диапазоне. Показано, что большую часть времени объект находится в слабом состоянии вблизи или ниже порога детектирования, при этом амплитуда переменности потока объекта составляет по крайней мере 30 раз с пиковым значением, соответствующем светимости  $1.2 \cdot 10^{40}$  эрг/с. Методом Ломба-Скаргла обнаружено два периода в изменении рентгеновского потока объекта, составляющие 123.2 и 3.4 дней. Первый период сопоставим по длительности с уже известными суперорбитальными периодами ряда



других ультраярких источников, природа короткопериодических вариаций потока пока остается неясной. В оптическом диапазоне X-3 отождествляется с голубым точечным источником с абсолютной звездной величиной в фильтре V менее  $-6.7$  mag, соответствующим O-В сверхгиганту или звезде Вольфа-Райе. Проведенная на БТА/SCORPIO-2 спектроскопия выявила связанную с объектом слабую туманность протяженностью  $39 \pm 17$  пк, отношение линий  $[OIII]5007/H_{\beta} = 6.6 \pm 0.4$  которой указывает на высокую степень ионизации газа. Часть наблюдательных данных получена на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН. Работа по обработке и интерпретации данных выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации N 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

Алина Александровна Вольнова (Институт космических исследований РАН)

*Проект SNAD: 5 лет работы по поиску аномалий в астрономии* // А. Вольнова (ИКИ РАН), П. Алео (UIUC), А. Лаврухина (МГУ), Э. Рюссель (CNRS LPC), Т. Семенихин (МГУ), Э. Гангле (CNRS LPC), Э. Ишида (CNRS LPC), М. Корнилов (ВШЭ), В. Королев (SNAD), К. Маланчев (UIUC), М. Пружинская (CNRS LPC), С. Срижит (Univ. of Surrey)

Проект SNAD (сокр. от SuperNova Anomaly Detection) является тандемом программистов и экспертов в астрофизике, созданным для решения проблемы обнаружения необычных объектов в астрономических базах данных методами машинного обучения. Следующее поколение астрономических исследований произведет революцию в нашем понимании Вселенной, обнаружив при этом беспрецедентные проблемы работы с данными. Одна из них — невозможность полностью полагаться на человека для идентификации и отбора необычных астрофизических объектов. Цель проекта — разработать систему, в которой человеческий опыт и современные методы машинного обучения могут дополнять друг друга в задаче идентификации необычных астрономических объектов или аномалий. Наш подход состоит из двух шагов. Первый — это подготовка данных и поиск оптимального алгоритма машинного обучения для работы с этим набором данных для выявления выбросов. На втором этапе эксперты анализируют обнаруженные выбросы, используя всю доступную на момент опубликованную информацию, дополнительные наблюдения и теоретическое моделирование. Эту стратегию можно применить к большому набору данных, для которого имеются только фотометрические наблюдения. В докладе мы резюмируем итоги 5 лет работы проекта и приводим полученные научные и технические результаты.

---

Ризван Рустемович Ганеев (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

*Анализ кривых блеска сверхновых из обзора Zwicky Transient Facility* // Р.Р. Ганеев, К.Л. Маланчев, М.В. Пружинская

Обзор Zwicky Transient Facility (ZTF) представляет собой широкоугольный астрономический обзор неба, основной целью которого является поиск транзиентов и исследование переменных объектов. С помощью SNAD viewer, платформы для анализа и визуализации кривых блеска ZTF, и алгоритмов машинного обучения были отобраны 54 кандидата в сверхновые. Целью данного исследования является первичная классификация данных транзиентов с помощью шаблонов кривых блеска сверхновых. Доклад посвящен вопросу подбора оптимальных моделей и их параметров к кривым блеска сверхновых звезд из обзора ZTF с помощью специальной библиотеки SNCosmo. Инструменты анализа кривых блеска и первичной классификации широко востребованы в текущую эпоху больших объемов данных.

Михаил Гарасёв (Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук»)

*Численное моделирование развития магнитостатической турбулентности в релятивистских бесстолкновительных ударных волнах*  
// М. А. Гарасев, Е. В. Деришев

В докладе будут представлены новые подходы к численному моделированию распространения бесстолкновительных ударных волн методом частиц в ячейках. Обсуждаются особенности возникающего магнитостатического поля в различных областях ударной волны по отношению к её фронту.

Олег Анзорович Гогличидзе (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе)

*Сила на протонные вихри в сверхтекучем ядре нейтронной звезды с учётом ферми-жидкостных эффектов* // О. А. Гогличидзе, М. Е. Гусаков

Простейший состав вещества ядра нейтронных звёзд предполагает наличие лептонов (электронов и мюонов) и барионов (нейтронов и протонов). По мере остывания нейтронной звезды, нейтроны в её ядре становятся сверхтекучими, а протоны – сверхпроводящими. Расчёты показывают, что по крайней мере во внешнем ядре протоны формируют сверхпроводник второго рода. Это означает, что магнитное поле пронизывает ядро в виде вихрей Абрикосова. Протонные вихри испытывают действие сил со стороны различных частиц, формирующих окружающее их вещество. В работе исследуются силы, действующие на протонный вихрь с учётом конечной температуры и ферми-жидкостных эффектов. Показано, что учёт ферми-жидкостных эффектов приводит к появлению силы со стороны нейтронов (нормальных или сверхтекучих), направленной перпендикулярно по отношению к набегающему потоку. Аккуратный учёт всех сил, действующих на протонные вихри важен для корректного моделирования эволюции магнитного поля нейтронных звёзд. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 22-12-00048.

Алёна Сергеевна Горбан (Институт космических исследований РАН, Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики")

*Исследование рентгеновской двойной IGR J21343+4738 по данным NuSTAR, Swift и СРГ*  
// А.С. Горбан, С.В. Мольков, А.А. Лутовинов, А.Н. Семена

В работе представлены результаты исследования рентгеновского пульсара IGR J21343+4738 по данным обсерваторий NuSTAR, Swift и СРГ в широком диапазоне энергий 0.3–79 кэВ. В работе были оценены верхний и нижний предел на магнитное поле нейтронной звезды в двойной системы  $B < 2.5 \times 10^{11}$  Гс и  $B > 3.4 \times 10^{12}$  Гс, соответственно. Спектральный и временной анализ IGR J21343+4738 показал, что источник проявляет свойства квази-постоянного рентгеновского пульсара: период пульсаций  $322.71 \pm 0.04$  с и светимость  $L_x \simeq 3.3 \times 10^{35}$  эрг с<sup>-1</sup>. Также в работе представлен анализ долговременной переменности источника IGR J21343+4738 в рентгене, который подтверждает возможный орбитальный период системы  $\sim 34.3$  дня, ранее обнаруженный в оптике.

Марк Андреевич Горбачев (Казанский (Приволжский)  
федеральный университет)

*12-летняя периодичность оптического потока:  
свидетельство изогнутого джета?* // М.А. Горбачев,  
М.С. Бутузова, С.В. Назаров, А.В. Жовтан

Блазар ОJ 287 является одним из первых кандидатов, в центре которого предположили присутствие компактной системы двух сверхмассивных черных дыр. Именно их орбитальным взаимодействием уже более 30 лет объясняются наблюдающиеся с конца XIX века, повторяющиеся с квазипериодом 12 лет оптические вспышки длительностью около года. Преимуществом этой гипотезы является четкое предсказание следующих вспышек, которое никогда не подтверждалось наблюдениями и приводило каждый раз к усложнению модели. С другой стороны, к переменности блазара может приводить изменение коэффициента релятивистского усиления, которое вызвано искривленной формой парсекового джета. Такую форму джет может приобретать как из-за прецессии, предполагаемой в системе двойной черной дыры, так и из-за развития магнитогидродинамических неустойчивостей. Более того, изгиб джета обнаружен в данных радиоинтерферометрических наблюдений со сверхдлинной базой. Аргументы в пользу какой-либо модели образования 12-летних вспышек могут быть получены из исследования спектрального индекса. Здесь мы анализируем статистическими методами 50-летнюю эволюцию оптического спектра и показываем, что все вспышки, регистрируемые в оптическом диапазоне, образованы изменяющимся доплер-фактором от двух областей в изогнутом джете, подверженном вековому изменению ориентации. Определенные нами геометрические параметры джета указывают на то, что винтовую форму джет мог приобрести вследствие развития неустойчивости Кельвина-Гельмгольца. Поэтому на основе только квазипериодичности переменности блеска блазаров невозможно делать достоверные выводы о компактной двойной системе сверхмассивных черных дыр в центрах активных ядер галактик.

Святослав Юрьевич Дедиков (Астрокосмический центр  
Физического института им. П. Н. Лебедева Российской  
Академии Наук)

*О разрушении пыли в остатке сверхновой,  
расширяющемся в неоднородной среде* // С. Ю. Дедиков

Пылевые частицы в горячем газе остатков сверхновых разрушаются за счет теплового и кинетического испарения. В рамках трехмерной модели с учетом динамики частиц рассмотрено влияние неоднородностей межзвездной среды на возможность разрушения фоновой пыли в остатке сверхновой. Найдено, что эффективность разрушения существенно зависит от степени неоднородности газа. Исследованы особенности распределения пыли в различных тепловых фазах. Обсуждаются возможные наблюдательные проявления в рентгеновском и миллиметровом диапазонах.

Евгений Олегович Дедов (Специальная Астрофизическая  
Обсерватория Российской Академии Наук)

*О разрушении пыли в остатке сверхновой,  
расширяющемся в неоднородной среде* // Е.О. Дедов (САО  
РАН), А.С. Винокуров (САО РАН), А.Е. Костенков (САО РАН),  
Ю.Н. Соловьёва (САО РАН)

Мы представляем результаты моделирования недавно полученного спектра LBV-кандидата J125055.8+410625 в галактике NGC4736, проведенного с помощью не-ЛТР кода CMFGEN (Hillier D. J. & Miller D. L., 1998). Для воспроизведения наблюдаемых интенсивностей эмиссий водорода, нейтрального гелия и многочисленных разрешенных и запрещенных линий железа были построены как простая сферически симметричная модель протяженной атмосферы, так и более сложная составная модель, учитывающая полярное и экваториальное истечение вещества. В работе обсуждаются преимущества и недостатки обеих моделей, приводятся оценки фундаментальных параметров звезды. Наблюдательные данные получены на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН. Работа по обработке наблюдательных данных и моделированию спектров выполнена в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации N 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

Сергей Александрович Дроздов (Астрокосмический Центр  
Физического Института Академии Наук им. П.Н. Лебедева)

*Характеристики ИК излучения пыли в расширяющемся  
остатке сверхновой* // С.А. Дроздов, Е.О. Васильев, С.Ю. Дедиков,  
Ю.А. Щекинов

Сверхновые являются одним из главных источников пыли во Вселенной. Важной задачей является изучение динамики выбрасываемой пыли и влияния разрушения пылинок на эмиссионные характеристики остатка сверхновой в ИК диапазоне. В рамках трёхмерного газодинамического моделирования, с учётом динамики и разрушения пылевых частиц в горячем газе, рассматривается тепловая и эмиссионная эволюция пыли. Оценивается вклад в ИК излучение от фоновой пыли межзвёздной среды в процессе расширения остатка сверхновой. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (проект 23-22-00266).

Екатерина Николаевна Жихарева (Московский  
государственный университет имени М. В. Ломоносова)

*Неоднородности магнитных полей в аккреционных  
дисках* // Е.Н. Жихарева (МГУ им. М.В. Ломоносова), Е.А. Михайлов  
(МГУ им. М.В. Ломоносова, ФИАН им. П.Н. Лебедева)

Магнитные поля играют важную роль в аккреционных дисках окружающих такие компактные объекты как черные дыры, белые карлики, нейтронные звезды, в частности, они могут объяснять перенос момента количества движения между разными частями диска [1]. Возникновение магнитного поля может объясняться за счет действия механизма динамо связанного с большим градиентом угловой скорости вращения и свойствами турбулентности в диске. Затравочные поля могут быть обусловлены действием батарейных механизмов, падением аккрецирующего вещества и иметь сильно неоднородную структуру. Возникает вопрос о том, будут ли подобные особенности существовать в течении долгого времени и усиливаться по мере роста поля. Для изучения эволюции поля нами было использовано планарное приближение, позволяющее описать действие динамо в тонких дисках [2]. Результаты численного моделирования показывают, что радиальные контрастные структуры достаточно устойчивы [3], в то время как неоднородности в азимутальном направлении размываются, это может быть связано с достаточно быстрым вращением "размывающим" поле, а также с меньшей величиной собственных значений, соответствующих неосесимметричным собственным функциям, описывающих действие механизма динамо. Ссылки: 1. N.I. Shakura, R.A. Sunyaev, *Astronomy and Astrophysics*, 1973, 24, 337. 2. D.V. Boneva, E.A. Mikhailov, M.V. Pashentseva, D.D. Sokoloff, *Astronomy Astrophysics*, 2021, 652, 38. 3. D.A. Grachev, E.A. Mikhailov, E.N. Zhikhareva, *Open Astronomy*, 2023, 32, 20220216.

Дмитрий Сергеевич Загоруля (Московский  
физико-технический институт)

*Морфологический классификатор активных ядер  
галактик* // Д.С. Загоруля, М.М. Лисаков

Ядра галактик состоят из сверхмассивных черных дыр, активизирующихся через дисковую аккрецию окружающего газа. Активные ядра галактик могут запускать релятивистские джеты, наблюдаемые в масштабах от долей парсека до нескольких мегапарсек. Метод радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами позволяет достигать наилучшего углового разрешения и строить изображения активных ядер галактик с линейным разрешением лучше одного парсека. В базе данных Астрогео (Astrogeo VLBI FITS image database) были собраны более 200 тысяч интерферометрических измерений и изображений 15 тысяч активных ядер галактик. Объем данных позволяет использовать методы машинного обучения для классификации объектов по их морфологии. Связь морфологии на таких маленьких масштабах никогда ранее массово не сравнивалась с крупномасштабной морфологией. Изменение направления джета, а также светимости на разных масштабах позволит нам точнее оценить характерные времена работы активных ядер галактик. Кроме того, морфологический классификатор смог бы выявить необычные объекты для более детального изучения, а также формировать выборки объектов со схожими морфологическими свойствами. В докладе будут представлены этапы развития этого проекта и используемые методы.

Дмитрий Александрович Зюзин (ФГБУН ФТИ им. А.Ф.  
Иоффе)

*Результаты наблюдений пульсаров с СРГ/eROSITA*  
// Д.А. Зюзин, А.В. Карпова, М.Р. Гильфанов, Ю.А. Шибанов

В докладе представлены результаты отождествлений пульсаров из каталога ATNF (в нашей части неба) в рентгеновском диапазоне с помощью обзора, проведенного обсерваторией Спектр-Рентген-Гамма на инструменте eROSITA. Впервые в рентгеновском диапазоне были отождествлены восемь пульсаров. Трое из них (PSRs J1630+3734, J1710+4923 и J1658+3630) - это миллисекундные пульсары в двойных системах с белым карликом, а остальные (PSRs J0006+1834, J0242+6256, J0622+3749, J2027+7502, J2238+5903) являются изолированными нейтронными звездами (НЗ). Представлены их спектральные характеристики. Любопытно, что J1658+3630 является вторым обнаруженным в рентгеновском диапазоне "недокрученным" на предыдущей стадии аккреции пульсаром с периодом 33 мс. Обнаруженные изолированные НЗ могут представлять интерес для изучения эволюции теплового излучения с их поверхности.

Арсений Юрьевич Истомина (Московский  
физико-технический институт)

*Вычисление ускоряющего потенциала и профиля  
плотности плазмы в магнитосфере ортогональных  
пульсаров* // А.Ю. Истомина, Ф.А. Князев, В.С. Бескин

В работе предложен метод вычисления ускоряющего потенциала и профиля плотности плазмы над полярной шапкой радиопульсара для случая произвольного угла наклона магнитной оси к оси вращения. В частности, для пульсаров, близких к ортогональным, вычисленный потенциал является существенно неосесимметричным. В основе подхода лежит концепция вакуумного зазора, с зависящей от координат на полярной шапке высотой. Метод состоит в нахождении самосогласованного решения путем итеративного вычисления высоты вакуумного зазора и решения трехмерного уравнения Пуассона в соответствующей области. Для численного решения данного уравнения в частных производных был применен метод Physics-Informed Neural Networks (PINN), позволивший проводить расчет в области с переменной геометрией. Найденный потенциал позволил вычислить распределение плотности плазмы над полярной шапкой для ортогональных пульсаров, необходимое, в частности, для моделирования средних профилей интенсивности ортогональных интеримпульсных пульсаров.

Назар Робертович Ихсанов (Главная (Пулковская)  
астрономическая обсерватория РАН)

*Турбораскрутка аккреционных пульсаров в сценарии  
MAD-аккреции* // Н.Р. Ихсанов, В.Ю. Ким, Н.Г. Бескровная

В докладе обсуждаются физические процессы, определяющие ротационную эволюцию аккрецирующих нейтронных звезд, входящих в состав массивных рентгеновских двойных систем, параметры которых приведены в обновленной версии каталога этих объектов (Kim et al. 2023). Основное внимание уделяется относительно коротким (продолжительностью от нескольких дней до нескольких недель) эпизодам раскрутки и замедления вращения нейтронной звезды, в течение которых темп изменения периода пульсаций достигает предельно высоких значений. Реверс знака производной периода, разделяющий эти эпизоды, в большинстве случаев возникает спонтанно и слабо коррелирует с изменениями потока рентгеновского излучения источника (Ихсанов и др. 2014). Объяснить такое поведение пульсаров без привлечения дополнительных предположений и/или модернизации модели этих источников затруднительно. Одним из возможных решений, представленным в нашем докладе, является сценарий MAD-аккреции, позволяющий учесть собственное магнитное поле



аккреционного потока и его влияние на ротационную эволюцию звезды-аккретора. Принимая за основу картину аккреции, представленную в работе Ихсанова и Мерегетти (Ikhsanov and Mereghetti 2015), мы приходим к оценке абсолютного значения верхнего предела темпа изменения периода аккреционных пульсаров (справедливого при любом аккреционном сценарии) и формулировке условий, при которых быстрое изменение знака производной периода, наблюдаемое в исследуемых пульсарах, оказывается возможным.

Литература: Kim, V., Izmailova, I., Aimuratov, Y. 2023, ApJS, 268:21 Ikhsanov, N.R., Mereghetti, S. 2015, MNRAS, 454, 3760-3765 Ихсанов, Н.Р., Лих, Ю.С., Бескровная, Н.Г. 2014, Астрон. журн., т. 91, № 6, 449-459 Ихсанов Н.Р., Бескровная Н.Г. 2023а, Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 228, 115-117 Ихсанов Н.Р., Бескровная Н.Г. 2023б, Известия Главной астрономической обсерватории в Пулкове, № 229, 19-23

Анна Викторовна Карпова (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук)

*Гамма-источник 4FGL J1838.2+3223 - кандидат в "пульсары-пауки"* // А.В. Карпова, Д.А. Зюзин, А.Ю. Кириченко, Ю.А. Шибанов, С.В. Жариков, М.Р. Гильфанов, К. Перес Тортола

Гамма-источник 4FGL J1838.2+3223, открытый обсерваторией Fermi, был классифицирован как кандидат в пульсары. Его возможное рентгеновское и оптическое отождествление было обнаружено с помощью телескопа Swift. Для прояснения природы источника мы провели ряд его фотометрических наблюдений в течение трех ночей в фильтрах BVRI на 2.1-метровом телескопе Мексиканской национальной астрономической обсерватории. С помощью этих наблюдений, а также данных каталога ZTF мы обнаружили переменность блеска источника с периодом 4.02 часа, которая, скорее всего, связана с орбитальным движением двойной системы. Кривые блеска, свернутые с найденным периодом, имеют приблизительно синусоидальную форму с одним пиком на период и амплитудой около трех звездных величин. Также наблюдаются быстрые случайные вспышки с амплитудами до одной звездной величины. Предполагая, что периодические изменения блеска связаны с нагревом одной стороны звезды-компаньона пульсаром, мы провели моделирование кривых блеска. В результате было получено, что сторона компаньона, повернутая к пульсару, имеет температуру около 11000 К, тогда как температура противоположной стороны всего около 2300 К. Масса компаньона составляет  $0.10 \pm 0.05 M_{\odot}$ , а степень заполнения полости Роша - около 0.6. Наблюдаемые свойства указывают на то, что 4FGL J1838.2+3223, скорее всего, является "пульсаром-пауком". Также мы получили оценку расстояния до источника, примерно 3 кпк, что согласуется с результатами обзора Gaia. Мы детектировали вспышку от источника в рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах в архивных данных телескопа Swift, а также еще одну рентгеновскую вспышку в данных обзора телескопа eROSITA. Обе вспышки имеют светимость  $\sim 10^{34}$  эрг/с, что на

---

два порядка выше верхнего предела светимости в спокойном состоянии. Если 4FGL J1838.2+3223 действительно относится к классу "пульсаров-пауков", то эти вспышки являются одними из самых сильных среди наблюдавшихся у неаккрецирующих представителей этого класса. Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 22-22-00921, <https://rscf.ru/project/22-22-00921/>.

Сергей Ортабаевич Кийков (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)

*Исследование ветра и ударных волн вокруг массивных звёзд* // С.О. Кийков

Массивные звёзды являются источниками сильного ветра, которые при взаимодействии с межзвёздной средой приводят к образованию пузырей и ударных волн. Эти пузыри наблюдаются во всех диапазонах электромагнитного спектра, а ударные волны создают туманности, наблюдаемые в инфракрасном, оптическом и радиодиапазонах. В данной работе исследуется динамика ветровых пузырей и выполнен расчёт параметров ударных волн в области взаимодействия ветра с межзвёздной средой.

Александр Михайлович Киселев (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева РАН)

*Модуляция космических лучей в оболочках молекулярных облаков с градиентом плотности*  
// А.М. Киселев, Д.О. Чернышов, В.А. Догель

Исследование спектров заряженных частиц в плотных молекулярных облаках является важной задачей астрофизики космических лучей. Установлено, что космические лучи экранируются оболочкой молекулярного облака, и тем самым, их плотность в молекулярном газе снижается. Одним из механизмов экранировки может служить возбуждение турбулентности за счет генерации потоковой неустойчивости (самомодуляция). Обычно при решении задачи о самомодуляции космических лучей плотность оболочки молекулярного облака предполагается постоянной. При этом значение ее плотности является свободным параметром задачи. Мы рассмотрели более реалистичный сценарий, в котором плотность молекулярного газа плавно растет от края оболочки до центра облака. Мы показали, что в рамках данной модели спектр космических

лучей в молекулярном облаке не зависит от распределения плотности газа. Таким образом, для определения модулированного спектра космических лучей нам необходимо знать лишь минимальное значение плотности молекулярного газа на границе облака и межзвездной среды, а также величину магнитного поля. Эта особенность позволяет применить данный метод к любым облакам Галактики, в окрестности которых можно оценить величину магнитного поля.

Фёдор Алексеевич Князев (Московский  
физико-технический институт)

*О внутренней структуре релятивистских джетов с  
нулевой скоростью вдоль оси // В.С. Бескин, Ф.А. Князев,  
К. Чаттерджи*

Настоящая работа посвящена анализу внутренней структуры релятивистских джетов при условии, что скорость потока плазмы на оси джета равна нулю. Показано, что, несмотря на кажущуюся принципиальную разницу в постановке задачи на оси, ключевые свойства внутренней структуры таких релятивистских джетов остаются такими же, как и для ненулевой скорости вдоль оси. В обоих случаях при достаточно низком давлении окружающей среды вблизи оси появляется плотное ядро, радиус которого близок к размеру светового цилиндра.

Александр Иванович Колбин (Специальная  
астрофизическая обсерватория РАН)

*SDSS J085414.02+390537.3 – новый асинхронный поляр  
// А.И. Колбин, М.В. Сусликов, В.Ю. Кочкина, Н.В. Борисов, А.Н. Буренков,  
Д.В. Опарин*

На основе данных фотометрического обзора ZTF обнаружена асинхронность поляра SDSS J085414.02+390537.3. В кривых блеска выделяется период биений  $P_{beat} = 24.6 \pm 0.1$  сут, в течение которого система меняет свою яркость на  $\approx 3^m$ . В периодограммах обнаруживаются пики мощности на периоде вращения белого карлика  $P_{spin} = 113.197 \pm 0.001$  мин и орбитальном периоде  $P_{orb} = 113.560 \pm 0.001$  мин, а соответствующая асинхронность поляра  $1 - P_{orb}/P_{spin} = 0.3\%$ . Фотометрическое поведение поляра указывает на смену главного аккрецирующего полюса в течение периода биений. На основе зеемановского расщепления линии  $H\beta$  сделана оценка средней напряженности магнитного поля белого карлика  $B = 28.5 \pm 1.5$  МГс. Путем моделирования циклотронных спектров найдена напряженность магнитного поля вблизи магнитного полюса  $B = 34 \pm 2$  МГс. Доплеровские томограммы в линии  $H\beta$  демонстрируют типичное для полярных распределение источников эмиссии в пространстве

---

скоростей с признаками перехода аккреционной струи с баллистической траектории на магнитную.

Татьяна Андреевна Корюкова (Физический институт имени П. Н. Лебедева РАН)

*Расщепление квазара 2005+403 на плазменной линзе в Галактике* // Т.А. Корюкова, А.Б. Пушкарев, S. Kiehlmann, A.C.S. Readhead

Мы сообщаем об обнаружении редкого явления формирования множественных изображений, вызванное рефракционным рассеянием в межзвездной среде Галактики, в квазаре 2005+403, луч зрения на который проходит сквозь высокотурбулентную область Лебеда. Проявление эффекта обнаружено на частотах от 8 ГГц и ниже по данным РСДБ-наблюдений. Вторичные изображения квазара, сформированные анизотропным рассеянием на неоднородностях межзвездной среды, вытягивают наблюдаемое распределение яркости источника вдоль линии постоянной галактической широты с локальным позиционным углом  $40^\circ$  и представляют собой одно или два суб-изображения по обе стороны от РСДБ-ядра квазара, тогда как релятивистский выброс источника, детектируемый на высоких частотах, ориентирован примерно в ортогональном направлении с позиционным углом около  $120^\circ$ . Анализируя многочастотные VLBA-данные в диапазоне от 1.4 до 43.2 ГГц, установлено, что угловой размер видимого компонента ядра, а также расстояние между главным и вторичными изображениями ядра имеют квадратичную зависимость от длины волны, что является прямым доказательством процесса рассеяния на промежуточном экране. Кривая блеска квазара 2005+403 по данным долгосрочного мониторинга OVRO на частоте 15 ГГц показала ряд событий экстремального рассеяния (ESE), связанных с прохождением рассеивающих плазменных линз между квазаром и наблюдателем. Наиболее выразительные вариации потока, характеризующиеся значимой и симметричной модуляцией, обнаружены в период апреля-мая 2019г с формированием каустических поверхностей. Моделируя данное событие ESE, мы определили, что угловой размер экрана составляет 0.4 миллисекунды дуги с собственным движением 4.4 миллисекунды дуги в год. Предполагая, что рассеивающий экран расположен в высокотурбулентной области Лебеда, то поперечный линейный размер и скорость линзы относительно наблюдателя составляют 0.7 а.е. и 37 км/с, соответственно.

Сергей Александрович Корягин (Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН)

*Квантовая динамическая локализация в автоионизационных состояниях атома водорода в условиях фотосферы магнитного белого карлика*

// С.А. Корягин (Институт прикладной физики им. А. В. Гапонова-Грехова РАН; Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского)

Наложение магнитного поля порождает полностью связанное классическое движение электрона в кулоновском поле ядра не только при отрицательной, но и положительной энергии (в ненулевой по объёму области фазового пространства). В квантовом подходе полностью связанное классическое движение соответствует автоионизационному состоянию замагниченного водородоподобного атома/иона. В условиях нейтронной звезды электрон локализован на одном уровне Ландау в автоионизационном состоянии и совершает регулярное колебание вдоль магнитного поля в кулоновском потенциале ядра. Дискретные значения энергии автоионизационных состояний образуют узкую квазиридберговскую серию, примыкающую снизу к квантованной энергии циклотронного вращения свободного электрона. В более слабом магнитном поле белого карлика квазиридберговские серии от разных уровней Ландау взаимно перекрываются, что создаёт условия для хаотического изменения дискретных значений энергии автоионизационных состояний при вариации магнитной индукции. В классическом подходе свободное и полностью связанное движение электрона с положительной энергией разделено так называемым инвариантным тором — специфической траекторией, плотно заполняющей двумерное многообразие в классическом фазовом пространстве системы. Квантовый переход между свободным и связанным движением представляет собой туннелирование сквозь инвариантный тор. Частица эффективно проникает сквозь тор лишь в узких полосах энергии, составляющих дискретный спектр автоионизационных состояний. Вместе с тем классическое перемещение электрона по уровням Ландау к инвариантному тору может быть остановлено квантовым эффектом динамической локализации, происходящем от дискретности энергии циклотронного вращения. Квантовая динамическая локализация расширяет область классического фазового пространства, в которую электрон проникает лишь при дискретных значениях энергии. Дискретизация энергии квазисвязанного движения электрона около ядра перераспределяет тормозное излучение и столкновительное поглощение замагниченной плазмы из континуума в спектральные линии. Данное обстоятельство способствует просветлению фотосферы одиночного магнитного белого карлика в континууме по столкновительному поглощению (и фотоионизации). В сообщении указаны прицельные параметры кулоновских столкновений с квантовой динамической локализацией квазисвязанного движения электрона около ядра в условиях магнитного белого карлика. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 19-72-10111-П.

Александр Евгеньевич Костенков (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

*Исследование эмиссионных спектров ряда ультраярких рентгеновских источников в рамках модели звездного ветра* // А.Е. Костенков (САО РАН), А.С. Винокуров (САО РАН)

В данной работе мы рассматриваем возможность формирования оптических спектров ультраярких рентгеновских источников (ultraluminous X-ray sources, ULXs) в протяженной атмосфере звезды-донора. Представленные сферически-симметричные модели звездного ветра были рассчитаны при помощи не-ЛТР кода CMFGEN. Несмотря на хорошее описание наблюдаемых спектров, нами были найдены некоторые противоречия между полученными параметрами атмосфер доноров и их типичными значениями для звезд соответствующих спектральных классов. Для звезды-донора класса В9Ia в системе NGC7793 P13 темп потери массы наилучшей модели составил  $\sim 10^{-5}$  Msol/год, в то же время верхняя граница оценок темпа потери массы для поздних В-сверхгигантов на порядок ниже  $\sim 10^{-6}$  Msol/год. Расчетная температура фотосферы недавно открытого гелиевого донора в NGC247 X-1 (18 кК) оказалась кратно ниже значений, полученных в результате совместного эволюционного моделирования и не-ЛТР расчетов атмосфер звезд, потерявшие водородную оболочку (60-80 кК). Лишь в случае Holmberg IX X-1 параметры модели относительно хорошо соответствуют ветровым характеристикам поздних WNh звезд. Работа поддержана грантом РФФ №21-72-10167.

Вероника Юрьевна Кочкина (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)

*Природа затменного поляра 1RXS J184542.4+483134*  
// В.Ю. Кочкина, А.И. Колбин, Н.В. Борисов

В работе выполнено комплексное исследование слабоизученного затменного поляра 1RXS J184542.4+483134 с коротким орбитальным периодом  $P_{orb} \approx 79$  мин. Анализ долговременных кривых блеска указывает на изменение положения и размеров аккреционного пятна при изменении темпа аккреции. В профилях эмиссионных линий выделяются узкая и широкая компоненты, которые, вероятно, образуются на баллистическом участке аккреционной струи и на магнитной траектории соответственно. Наблюдается инверсия профилей спектральных линий с эмиссионного на абсорбционный, обусловленная покрытием аккреционного пятна аккреционной струей. На основе продолжительности затмения и лучевых скоростей узкой компоненты линий наложены ограничения на массу белого карлика  $0.49 \leq M_1/M_\odot \leq 0.89$  и наклонение орбитальной плоскости  $79.7^\circ \leq i \leq 84.3^\circ$ . Анализ циклотронных спектров указывает на присутствие

двух аккреционных пятен с напряженностями магнитного поля  $B_1 = 28.4_{-0.2}^{+0.1}$  МГс и  $B_2 = 30 - 36$  МГс. При этом главное пятно имеет сложную структуру, которая, по-видимому, имеет плотное ядро и менее плотную периферию, излучающую спектр с циклотронными гармониками. Поляризационные наблюдения демонстрируют смену знака круговой поляризации в течение орбитального периода и антикорреляцию степени поляризации с блеском поляра. Моделирование поляризационных наблюдений с использованием простой модели аккрецирующего белого карлика показывает, что поляризационные свойства могут быть интерпретированы в рамках двухполюсной аккреции с различающейся оптической толщиной аккреционных пятен ( $\tau_1/\tau_2 \sim 10$ ). Анализ наблюдений Swift/XRT указывает на преобладание тормозного излучения в рентгеновском излучении системы.

Алексей Антонович Круглов (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)

*Средняя энергия рентгеновского спектра как индикатор температуры газа в скоплении галактик* // А.А. Круглов, И.И. Хабибуллин, Н.С. Лыскова

Скопления галактик – одни из самых больших гравитационно связанных структур во Вселенной, что позволяет использовать их как мощный инструмент наблюдательной космологии. Распределение скоплений галактик по массам чувствительно к значениям космологических параметров. Массу скопления можно определить из кинематики галактик и параметров горячей межгалактической среды внутри скопления, проявляющей себя по рентгеновскому излучению. Одной из основных характеристик горячего газа, заполняющего объем скоплений галактик, определяющей свойства и физические процессы в этих объектах, является температура. Обычно она измеряется путем аппроксимации наблюдаемого рентгеновского спектра, вклад в который, однако, могут давать несколько компонент с разной металличностью и температурой. Как правило, применяются однотемпературные модели в расчёте на то, что полученное значение температуры будет репрезентативным средним значением, хотя и, возможно, смещённым из-за мультифазной структуры газа, что особенно актуально для спектров с малым числом отсчётов. На примере выборки скоплений галактик из численных космологических гидродинамических симуляций Magneticum продемонстрирована корреляция средней энергии спектров скоплений галактик с их температурами и массами. Этот результат позволяет минимизировать сложности, связанные с выбором модели для аппроксимации и с учётом рентгеновского фона.

---

Мария Алексеевна Куденко (Институт ядерных исследований РАН, Московский государственный университет им. Ломоносова)

*К новым тестам корреляций космических лучей и лацертид* // М.А. Куденко, С.В. Троицкий

К новым тестам корреляций космических лучей и лацертид Космические лучи сверхвысоких энергий (UHECR) могут образовываться в активных галактиках, и поэтому большое значение имеет изучение корреляций между космическими лучами и объектами на небе. Одним из загадочных результатов была корреляция направлений прихода UHECR и особого класса активных галактических ядер, объектов типа VL Lacertae, обнаруженная в 2004 г. с набором стереоданных HiRes. Если этот результат подтвердится, он определенно будет означать новую физику или очень нетрадиционную астрофизику, потому что он предполагает перемещение нейтральных частиц на космологические расстояния. Однако разрешение HiRes остается непревзойденным, и гипотеза еще не проверена на независимых данных. В исходных корреляциях использовался неполный ни по каким критериям каталог. Несмотря на то, что статистические методы анализа были выбраны для сведения к минимуму связанных с этим неопределенностей, случайные погрешности все же могли повлиять на результат. Поэтому необходимо повторить этот анализ с использованием полной выборки источников. Этот доклад посвящен методам, использованным при построении такого полного и изотропного набора VL Lac, подходящего для будущих тестов загадочных корреляций с новыми данными эксперимента Telescope Array.

Алексей Вячеславович Кузин (Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга МГУ)

*Структура и устойчивость аккреционного диска вокруг замагниченной звезды* // А.В. Кузин, Г.В. Липунова

Процессы вспышек в двойных звездных системах, содержащих компактный объект – белый карлик, нейтронную звезду или черную дыру, – связывают с эволюцией аккреционного диска вокруг этого объекта. К сравнительно медленному процессу вязкой эволюции диска, связанному с отводом момента импульса вещества от центра диска через вязкое трение, для моделирования кривых блеска рентгеновских вспышек необходимо прибавить учет процесса ионизации вещества, сопровождающегося вязкой и тепловой неустойчивостью части диска и приводящих к быстрому изменению светимости системы. S-кривые оказались удобным инструментом исследования устойчивости диска. Используя табличные данные для непрозрачности и уравнения состояния вещества, мы моделируем вертикальную и радиальную структуры тонкого



стационарного диска вокруг замагниченной компактной звезды. Работая в двух предположениях: что внешнее магнитное поле полностью проникает в диск (диффузионная модель) либо что поле вовсе не проникает в диск (диамагнитная модель), мы рассчитали вертикальную и радиальную структуру диска, уделив особое внимание исследованию зависимости S-кривых от внешнего магнитного поля. Мы показали, что две модели взаимодействия поля с диском можно различить по спектру диска при небольших темпах аккреции. В диффузионной модели диск может становиться толще и горячее стандартного диска при малых темпах аккреции, а тепловая неустойчивость наступает при меньших темпах аккреции. Диамагнитный же диск всегда холоднее и тоньше стандартного, а его устойчивость меняется незначительно при учете магнитного поля. Найдена зависимость положения «точек поворота» S-кривой от магнитного поля.

Данил Денисович Лисицин (Государственный  
астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ))

*Эффекты перестановочной неустойчивости при  
дисковой аккреции на нейтронные звезды с сильными  
магнитными полями // Д.Д. Лисицин, Н.И. Шакура*

В работе был проведен анализ неустойчивости перестановочного типа на внутреннем крае тонкого диамагнитного аккреционного диска. Модель конфигурации магнитного поля использована из статьи (Aly, 1980). Было проанализировано модифицированное дисперсионное уравнение перестановочной неустойчивости, которое учитывает кеплеровское вращение диска. В рамках рассмотрения перестановочной неустойчивости авторами был выведен внутренний радиус аккреционного диска. Показано, что внутренний радиус не отличается от альфвеновского радиуса при сферической аккреции с точностью до безразмерного коэффициента, причем коэффициент пропорциональности зависит только от альфа-параметра турбулентности и относительной толщины диска ( $h/r$ ).

---

Дмитрий Сергеевич Лукьянцев (Иркутский  
Государственный Университет)

*Моделирование гравитационного линзирования  
электромагнитного излучения внегалактических  
источников // Д.С. Лукьянцев, Н.Т. Афанасьев, А.Б. Танаев*

Для интерпретации данных измерений гамма-всплесков, рентгеновских, оптических и радио-послесвечений разработан аппарат математического моделирования характеристик электромагнитного излучения внегалактических источников с учетом эффектов гравитации и рефракционного рассеяния на неоднородностях космической среды. В основу аппарата положены лучевые дифференциальные уравнения в форме Эйлера. Для расчета влияния гравитации использована модель эффективного показателя преломления вакуума, связанного с потенциалом тяготения. Задача распространения волн в искривленном (римановом) пространстве сведена к траекторной задаче в евклидовом пространстве. Решая уравнение Пуассона для различных моделей плотности распределения массы астрофизических объектов, можно рассчитать гравитационный потенциал и вычислить эффективный показатель преломления вакуума. В предположении аддитивности вкладов различных объектов в общее гравитационное поле предложена приближенная модель эффективного показателя преломления. Для описания хаотических неоднородностей космической среды используются пространственные корреляционные функции показателя преломления. Расчеты рефракционного рассеяния волн выполнены в приближении теории возмущений. Получены интегральные представления для статистических моментов боковых отклонений лучей в картинной плоскости наблюдателя. С помощью аналитических преобразований интегралы для моментов сведены к обыкновенным дифференциальным уравнениям первого порядка для совместного численного расчета средних и среднеквадратичных отклонений лучей. На основе результатов моделирования сделана оценка условий гравитационного линзирования электромагнитного излучения различных частотных диапазонов с учетом рефракционного рассеяния. Показано, что метровое радиоизлучение внегалактических источников представляет собой условную низкочастотную границу электромагнитного диапазона для наблюдений эффекта гравитационного линзирования в стохастической космической среде.

Александра Львовна Лысенко (Физико-Технический  
Институт им. А.Ф. Иоффе РАН)

*Третий каталог коротких гамма-всплесков,  
зарегистрированных Konus-Wind // А.Л. Лысенко,  
Д.С. Свинкин, Д.Д. Фредерикс, А.В. Ридная, А.Е. Цветкова, М.В. Уланов*

Мы представляем результаты систематического анализа 199 коротких гамма-всплесков, зарегистрированных инструментом Konus-Wind между 1 января 2011г. и 31 августа 2021г. Таким образом, с учётом Второго каталога коротких гамма-всплесков, охватывающего период 1994-2010 гг, набор коротких гамма-всплесков, зарегистрированных Konus-Wind, расширен до приблизительно 500 событий. Каталог включает такие характеристики гамма-всплесков как длительности, спектральные задержки, спектральные параметры, энергетические флюенсы и пиковые потоки. Мы приводим статистические распределения этих величин для полного набора 500 коротких гамма-всплесков, зарегистрированных в 1994-2021 гг. В каталоге рассмотрены две подвыборки коротких гамма-всплесков, а именно, всплески с продлённым излучением и кандидаты в гигантские вспышки магнетаров. Мы обсуждаем результаты в контексте классификации по происхождению всплесков: Тип I, от слияния компактных объектов, и Тип II, от коллапса массивной звезды. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 21-12-00250.

Елена Дмитриевна Мазаева (Институт космических  
исследований РАН)

*Поиск оптического компонента гамма-всплеска  
GRB190425, ассоциированного со слиянием нейтронных  
звезд LIGO/Virgo GW190425z // Е. Мазаева (ИКИ), А. Позаненко  
(ИКИ), Н. Панков (ИКИ), П. Минаев (ИКИ), С. Белкин (ИКИ), А. Вольнова  
(ИКИ), Е.Клунко (ИСЗФ), Р.Инасаридзе (АбАО), И. Николенко (ИНАСАН)*

В третьем цикле (O3) работы гравитационно-волновых детекторов LIGO/Virgo было зарегистрировано единственное событие GW 190425 слияния двойной системы нейтронных звезд. (До сих пор это второе событие, зарегистрированное детекторами LIGO/Virgo.) Также был обнаружен гамма-всплеск GRB 190425, ассоциированный с этим событием. После регистрации GW 190425 и GRB 190425 мы проводили поиск оптического компонента области локализации гравитационно-волнового источника GW 190425. Наблюдения телескопами Саянской солнечной и Абастуманской астрофизической обсерваторий были направлены на мониторинг наблюдения наиболее вероятных родительских галактик из каталога GLADE. Наблюдения Симеизской обсерваторией проводились для исследования уже найденных кандидатов из других обзоров. Все наблюдения проводились в фильтре R с пропусканием до 22 зв. вел. и

---

охватили 4 кв. град. (0.1 %) 90% области локализации источника GW/GRB 190425 в северной полусфере. Обнаружено около 9 тыс. транзиентов, из которых после дополнительного анализа выделен 61 кандидат в оптический компонент источника GW/GRB 190425. Обсуждается классификация и предложены наиболее вероятные кандидаты.

Александр Михайлович Малиновский (Астрокосмический центр Физического института имени П.Н. Лебедева)

*Двойные сверхмассивные черные дыры и перспективы их наблюдения на космическом радиointерферометре*  
// А.М. Малиновский, Е.В. Михеева

На основе имеющихся данных по переменности в оптическом диапазоне и форме спектра излучения был составлен и проанализирован список кандидатов в двойные сверхмассивные черные дыры. С целью оценки потока излучения в интересующем нас диапазоне частот была построена нейронная сеть. Полученные данные затем были использованы для проверки возможности наблюдения этих источников на космической обсерватории Миллиметрон.

Игорь Фёдорович Малов (Пушчинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института РАН)

*Особенности долгопериодических радиопульсаров*  
// И.Ф. Малов

Проведен анализ параметров радиопульсаров с периодами  $P > 5$  сек. Обнаружено, что на диаграмме  $dP/dt$  ( $P$ ) нет явной зависимости между этими двумя параметрами. Отсутствие такой зависимости может быть объяснено в рамках дисковой модели. Показано, что длительность импульса в рассматриваемой выборке убывает с увеличением периода. Это может быть связано с тем, что расстояние от поверхности нейтронной звезды до области генерации радиоизлучения в этой популяции зависит от периода, или с недипольной структурой магнитного поля. Рассмотрена возможность объяснения самых длинных интервалов между последовательными импульсами в пульсарах J0901-4046 и J0250+5854 влиянием дрейфовых волн на периферии магнитосферы. В рамках дрейфовой модели вычисленные периоды вращения в этих пульсарах оказываются в несколько раз короче наблюдаемых межимпульсных интервалов.

Маргарита Маричева (Специальная астрофизическая  
обсерватория Российской академии наук)

*Исследование спектров суммарного излучения шаровых  
скоплений в галактике М31 // М.И. Маричева, М.Е. Шарина*

Формирование шаровых скоплений может происходить при особых физических условиях, которые безусловно существуют на ранних этапах эволюции галактик и их подсистем. При этом следующие физические параметры имеют высокие значения: турбулентные скорости движения газа, плотность и давление в газовой среде. Вследствие процессов формирования крупномасштабной структуры Вселенной, шаровые скопления могут переходить от маломассивных галактик к более массивным, становиться ассоциированными с приливными потоками вокруг галактик. Свойства звездных населений скоплений в галактиках разных масс и морфологических типов позволяют судить о сходстве и различии физических условий и химсоставе среды при формировании этих объектов. Целью работы является определение возраста, содержания элементов Fe, Ca, Mg, C, Mn, Ti, Sr и, впервые, удельного содержания гелия (Y) для 48 шаровых скоплений галактики М31. Материалом послужили спектры, полученные при наблюдениях авторов на 6-метровом телескопе БТА, а также спектры из открытого архива 6.5-метрового телескопа ММТ спектрографа Nectospec. Полученные значения металличности находятся в диапазоне  $[Fe/H] = -2.0..-0.7$  dex, а возраста —  $T > 10$  млрд. лет. Большинство скоплений имеют  $Y \sim 0.30$ . Мы сравниваем полученные данные с литературными для скоплений М31 и звезд нашей Галактики.

Арам Артурович Матевосян (Санкт-Петербургский  
Политехнический Университет Петра Великого)

*Влияние искривления пространства на момент инерции  
неосесимметричного магнитного поля пульсара  
// А.А. Матевосян, Д.П. Барсуков*

Рассматривается влияние искривления пространства в метрике Шварцшильда на вклад магнитного поля вне нейтронной звезды в момент инерции радиопульсара. Рассмотрены случаи как осесимметричного, так и неосесимметричного мелкомасштабного поля. Показано, что при фиксированном значении величины магнитного поля на поверхности звезды влияние искривления пространства уменьшает вклад магнитного поля вне звезды в отличие тензора инерции от сферического в несколько раз.

---

Дмитрий Алексеевич Матиенко (Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики")

*Оптическое отождествление и photo-z скоплений галактик из каталога ComPACT* // Д.А. Матиенко, А.В. Мещеряков

Изучение скоплений галактик имеет важное значение для понимания структуры Вселенной, ее эволюции и физических процессов, происходящих в ней. Скопления представляют собой самые крупные гравитационно-связанные системы, состоящие из темной материи, множества галактик и горячего газа. Скопления галактик наблюдаются в трех диапазонах: рентгеновском, субмиллиметровом и оптическом. В настоящее время появляется все больше каталогов, использующих комбинацию различных диапазонов (RASS-MCM arXiv:2305.20066, SPT-SZ MCMF arXiv:2309.09908, ComPRASS arXiv:1901.00873). В нашей работе мы используем zCluster для оптического отождествления скоплений из субмиллиметрового каталога ComPACT (arXiv:2309.17077) и измерения их красных смещений по данным фотометрического обзора DESI Legacy Imaging Surveys. Точность оптического отождествления скоплений и измерения их красных смещений зависит от набора спектральных шаблонов галактик. Мы предлагаем использовать специальный автоматический метод отбора шаблонов, который позволяет значительно повысить точность оптического отождествления и photo-z скоплений. В области покрытия обзора DESI Legacy Imaging Surveys находятся 2374 СЗ-источника ComPACT, из которых 1015 ассоциированы со скоплениями (по каталогам ACT DR5, PSZ2, MCXC, ComPRASS, SRT или PSZSPT). Около 30% из оставшихся 1359 объектов мы отождествляем как скопления в оптическом диапазоне на красном смещении от 0,2 до 1,5.

Альберт Викторович Мацейко (Институт ядерных исследований Российской академии наук; Московский физико-технический институт)

*Методы машинного обучения для эксперимента Baikal-GVD.* // И.В. Харук (ИЯИ РАН), А.В. Мацейко (МФТИ, ИЯИ РАН), А.Ю. Леонов (МФТИ, ИЯИ РАН)

Baikal-GVD — большой ( $\sim 1 \text{ км}^3$ ) подводный нейтринный телескоп, расположенный в озере Байкал, Россия. В докладе представлен обзор методов машинного обучения, разрабатываемых для анализа его данных. Обучение и оценка точностей методов проводилось на Монте-Карло симуляции событий эксперимента. Первая разработанная нейронная сеть решает задачу подавления

шумовых хитов, возникающих из-за природной люминесценции воды. Вторая создаётся для различения ШАЛ- и нейтрино-индуцированных событий. Выбран соответствующий порог классификации, сохраняется 50% событий, вызванных нейтрино, при подавлении ШАЛ-событий в  $10^6$  раз. Последняя нейронная сеть решает задачу реконструкции направления прилёта нейтрино. Медианное угловое разрешение нейросети для азимутального и полярного углов составляет 3,9 и 0,59 градуса соответственно. Обсуждается возможная схема применения трёх описанных нейронных сетей к анализу данных эксперимента.

Аркадий Ашотович Мкртчян (Институт космических исследований РАН / Московский физико-технический институт)

*Исследование возможности регистрации линейной поляризации гамма-излучения сегментированным сцинтилляционным детектором на борту микроспутника Чибис-АИ // А. Мкртчян, А. Позаненко, П. Минаев, А. Ивашкин, А. Стрижак*

В работе исследуется возможность регистрации линейной поляризации астрофизических источников гамма-излучения с помощью сегментированного гамма-спектрометра (СГС) в составе полезной нагрузки малого космического аппарата Чибис-АИ. Примерами таких источников являются космические гамма-всплески и гамма-вспышки земного происхождения. Точный механизм излучения этих явлений до сих пор остается невыясненным. Существует несколько конкурирующих моделей, которые имеют различные предсказания поляризации. Таким образом, измерения поляризации позволят ограничить класс моделей излучения. В ходе работы проведено моделирование сегментированного детектора с использованием программного пакета Geant4. Принцип регистрации поляризации гамма-излучения основан на анизотропии рассеяния фотонов, испытывавших комптоновское рассеяние.

Энеш Оразовна Мухамедова (Институт Космических Исследований РАН)

*Исследование траекторий перелета к точке либрации L1 системы Солнце-Земля с использованием солнечного паруса и гравитационного манёвра у Луны*

// Э.О. Мухамедова

В данной работе рассматривается задача моделирования полета космического аппарата (КА) в окрестность точки либрации L1 системы Солнце-Земля с использованием солнечного паруса и гравитационного маневра у Луны с целью слежения за солнечной активностью. В данной работе рассматривается возможность размещения в точке либрации L1 КА, представляющего собой обсерваторию для слежения за солнечной активностью для возможности прогнозирования состояния земной магнитосферы, которая реагирует на аномалии в выбросах солнечного вещества. Параметры рассматриваемого КА аналогичны параметрам орбитальной астрофизической обсерватории «Спектр-РГ». Для изучения солнечных вспышек, непосредственно направленных в сторону Земли, и несущих прямую угрозу космическим аппаратам, расположенным на её орбите, приборам и другим техническим системам, необходимо уменьшение амплитуды полученной квазипериодической орбиты в окрестности точки либрации. С этой целью предлагается использование гравитационного манёвра у Луны, позволяющего уменьшить амплитуду орбиты по оси Oy системы координат, связанной с точкой либрации. Для получения сведений о вспышках на Солнце как можно раньше предлагается рассмотреть возможность размещения космического аппарата дальше от Земли, чем L1. Для достижения данной цели предлагается использовать солнечный парус, установленный на КА. Также в работе исследуется возможность использования солнечного паруса для коррекции полученной орбиты, с целью сохранения топлива для дальнейших манёвров.

Андрей Анатольевич Мухин (Институт Космических Исследований РАН)

*Метод вейвлет-декомпозиции изображений для исследования боковой засветки орбитального телескопа*

*NuSTAR* // А. Мухин, Р. Кривонос, А. Вихлинин, Б.В. Грэфенштетте, К. Мэдсен, Д. Уик

Несфокусированное рентгеновское излучение (боковая засветка), регистрируемое орбитальным телескопом Nuclear Spectroscopic Telescope Array (NuSTAR) является богатым источником астрофизических данных и может быть использовано для исследования крупномасштабных структур на рентгеновском небе. В данной работе мы представляем непараметрический



автоматизированный метод для разделения сфокусированной компоненты и апертурного фона наблюдений телескопа NuSTAR максимальным сохранением площади, применимой для анализа боковой засветки. Метод основан на применении вейвлет декомпозиции «à trous» для выделения структур произвольного пространственного масштаба и формы. Применимо к наблюдениям телескопа NuSTAR метод выделяет области с наилучшим статистическим качеством для исследования боковой засветки и маскирует области со сфокусированным излучением. Метод представлен в виде открытого кода nuwavdet на языке Python, который может быть использован для генерации масок-областей для очистки наблюдений, а также списков bad-pixel, совместимых с программным обеспечением для анализа данных NuSTAR (NuSTAR Data Analysis Software). Работа опубликована в журнале Journal of Astronomical Telescopes, Instruments and Systems: 10.1117/1.JATIS.9.4.048001 Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект 22-12-00271.

Булат Аликович Низамов (Государственный  
астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ им.  
М.В. Ломоносова)

*Аннигиляция позитронов из джетов активных ядер  
галактик как источник космического гамма-фона на  
энергиях до 511 кэВ // Б.А. Низамов*

Происхождение диффузного фонового гамма-излучения в диапазоне сотен кэВ — единиц МэВ неясно. Существующие модели и наблюдения показывают, что, по крайней мере частично, это излучение производится блазарами и остатками сверхновых типа Ia в далёких галактиках, однако этих вкладов оказывается недостаточно. С другой стороны, на сегодняшний день остаётся открытым вопрос о составе джетов активных ядер галактик (АЯГ), в частности, какова доля в них позитронов. Если эта доля высока (на это указывает ряд наблюдений), то эти позитроны частично выносятся в межгалактическое пространство, а частично смешиваются с газом гало родительской галактики и сравнительно быстро аннигилируют. Зная функцию светимости АЯГ, мы оценили темп производства позитронов в их джетах, а также вклад этого процесса в диффузный фон на энергиях до 511 кэВ. Мы также оценили аналогичный вклад от аннигиляции позитронов, образующихся во вспышках сверхновых типа Ia в далёких галактиках. Оценка вклада АЯГ оказалась в 3-7 раз меньше наблюдаемой интенсивности фонового излучения, а вклад позитронов от сверхновых ещё примерно на порядок меньше. Тем не менее оценка вклада АЯГ оказалась больше, чем имеющаяся оценка вклада от блазаров, построенная по наблюдениям Swift-BAT и Fermi-LAT. Основная неопределённость в нашей модели связана с долей позитронов, которые остаются в газовом гало галактики. Эта неопределённость делает нашу оценку верхним пределом.

---

Полина Андреевна Новикова (Санкт-Петербургский  
государственный университет)

*Повторяющиеся паттерны гамма-вспышек блазаров и  
их возможная связь с нейтрино высоких энергий*

// П. Новикова, Е. Шишкина, Д. Блинов

В данной работе проводится систематический поиск повторяющихся паттернов вспышек в кривых блеска гамма-излучения 100 ярчайших блазаров по данным Fermi LAT. В результате, идентифицированы 27 таких эпизодов у 10 блазаров. Было обнаружено, что паттерны, скорее всего, создаются структурированными джетами, состоящими из быстрого хребта и более медленной оболочки. Кроме того, исследовалась теоретически предсказанная возможность того, что двойная структура джета способствует образованию нейтрино высоких энергий. Для этого использовались данные нейтринных телескопов IceCube и Baikal-GVD.

Степан Сергеевич Панарин (Специальная  
астрофизическая обсерватория Российской академии наук  
(1), Казанский (Приволжский) Федеральный Университет  
(2))

*Анализ оптических спектров карликовых новых V455  
And, ASASSN-14cv, CSS J1740*

// С.С. Панарин, А.И. Корбин, Н.В. Борисов, М.М. Галдев

Путем моделирования абсорбционных деталей бальмеровских линий в оптических спектрах карликовой новой V455 And определены параметры белого карлика  $T_{\text{eff}} = 26000 \pm 5000$  K,  $\log g = 8.4 \pm 0.9$  dex. Показано, что метод не дает необходимой точности для определения фундаментальных параметров главной компоненты. Исследован метод определения лучевой скорости белого карлика с использованием доплеровских томограмм, дающий значение  $K1 = 48 \pm 14$  км/с. С помощью кода TLUSTY показана возможность оценки параметров систем ASASSN-14cv и CSS J1740 путем моделирования оптических спектров их аккреционных дисков, а также восстановлены и проанализированы их доплеровские томограммы в состояниях с различными темпами аккреции.

Николай Сергеевич Панков (Национальный исследовательский университет "Высшая школа экономики")

*Планирование наблюдений и поиск оптических транзиентов, ассоциированных с гравитационно-волновыми событиями слияния двойных компактных объектов LIGO/Virgo/KAGRA в цикле O4*  
// (1, 2) Н.С. Панков, (1) Е.А. Щекотихин, (2,1) А.С. Позаненко, (2,3) П.Ю. Минаев, (1,2) С. Белкин, (2) А.А. Вольнова; 1. НИУ ВШЭ 2. ИКИ РАН 3. ФИАН

Представляем приложение AWARE (Alert Watcher and Astronomical Rapid Explorer) для автоматического планирования наблюдений оптических компонентов в областях локализации гравитационных событий, регистрируемых инструментами LIGO/Virgo/KAGRA. Приложение разработано таким образом, чтобы обеспечить планирование наблюдений распределенной сетью различных телескопов. В работе рассмотрена архитектура приложения и основные алгоритмы. Приведены примеры построения планов наблюдений по событиям из текущего цикла O4 LIGO/Virgo/KAGRA для сети телескопов GRB-IKI-FuN. Обсуждаются планы по применению и дальнейшей разработке приложения.

Михаил Юрьевич Пиотрович (Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН)

*Изучение активных ядер галактик спектрополяриметрическими методами: параметры аккреционного диска и сверхмассивной черной дыры.*  
// М.Ю. Пиотрович (ГАО РАН), Е.С. Шабловинская (САО РАН), Е.А. Малыгин (САО РАН), С.Д. Булига (ГАО РАН), Т.М. Нацвлишвили (ГАО РАН)

Взаимодействие сверхмассивной черной дыры с веществом аккреционного диска при наличии магнитного поля является ключевым механизмом энерговыделения в активных ядрах галактик. Однако определение физических параметров этой системы, таких как спин и масса черной дыры, форма и параметры вращения аккреционного диска и геометрия магнитного поля в аккреционном диске, представляет собой сложную и не до конца решенную задачу. В данной работе мы, используя оригинальную авторскую методику, оцениваем параметры аккреционного диска и черной дыры для выборки из 14 сейфертовских галактик 1-го типа, на основе наблюдательных данных, полученных на БТА-6м САО РАН при участии авторов. Наши результаты показывают несоответствие параметров магнитного поля аккреционного диска классической модели диска Шакуры-Сюняева.

Дарья Андреевна Подкуйченко (МГУ имени  
М.В.Ломоносова)

*Влияние эффектов неидеальности в плотной плазме на  
эволюцию и наблюдаемые характеристики белых  
карликов // Д.А. Подкуйченко, С.И. Блинников*

Недавно ставшие возможными наблюдения холодных и слабых белых карликов на телескопах GAIA и др. дают богатый материал для уточнения моделирования финальной стадии их эволюции, что в свою очередь может использоваться для изучения поведения вещества при экстремальных условиях. В настоящей работе было проведено моделирование тепловой эволюции белых карликов для разных составов атмосфер с использованием гидродинамического кода Блинникова С.И. и Дуниной-Барковской Н.В., позволяющего изучать эволюцию объекта до времен порядка возраста Вселенной. Новым в этом коде было введение уравнений состояния для неидеальной плотной плазмы, разработанных Потехиным А.Ю.. В моделировании использовалось приближение однокомпонентной плазмы, состоящей из углерода, либо кислорода. Ранее использовавшееся уравнение состояния Надёжина Д.К. с кулоновскими поправками И.Ибена для идеальной плазмы было рассчитано на горячие белые карлики и не учитывало эффектов, наступающих на поздних стадиях их эволюции, например, эффекта кристаллизации. Для расширения кода на область холодных и старых белых карликов были необходимы уравнения, включающие эффекты неидеальности в плотной плазме. Как и ожидалось, после наступления фазы кристаллизации, происходит небольшой выброс тепла, а затем скорость остывания увеличивается. Особенно этот эффект существенен для массивных белых карликов (масса  $\sim 1.3 M_{Sun}$ ), для которых время остывания до  $T_{eff} \sim 3 \cdot 10^3$  К уменьшается почти в 10 раз.

Александр Николаевич Попов (Физико-технический  
институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

*Генерация позитронов при взаимодействии фотонов  
фонового излучения // А.Н. Попов, Д.П. Барсуков, А.В. Иванчик,  
С.В. Бобашев*

Рассматривается взаимодействие гамма-квантов фонового излучения на красных смещениях порядка 1-2 с фотонами оптического фонового излучения с образованием электрон-позитронных пар. Показано, что в этом случае большинство позитронов рождаются с энергией 10 ГэВ - 1 ТэВ.

Вера Константиновна Постникова (Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга)

*SDSS-IV MaNGA: Исследование источников ионизации диффузной газовой среды на больших высотах в галактиках различных типов* // В.К. Постникова (ФФ МГУ, ГАИШ МГУ), Д.В. Бизяев (АРО NMSU, ГАИШ МГУ)

Исследуются источники ионизации диффузного газа на различных галактических высотах в различных по звездной массе, светимости в H и удельному темпу звездообразования дисковых галактиках. Привлекаются данные последних релизов обзора SDSS-IV MaNGA, а также теоретические модели фотоионизации и ударной ионизации базы данных 3MdB (the Mexican Million Models dataBase). Итоговая выборка содержит 436 галактик, наблюдаемых точно с ребра, что делает результаты статистически значимыми и позволяет с помощью процедуры сложения спектров исследовать даже большие галактические высоты. Устанавливается, что для галактик всех исследуемых типов поведение диффузного ионизованного газа адекватно описывается моделями фотоионизации молодыми OB-звездами и горячими проэволюционировавшими маломассивными звездами, при этом поток излучения от OB-звезд и ионизационный параметр с высотой уменьшаются, а относительный вклад горячих проэволюционировавших маломассивных звезд в ионизацию увеличивается. Более того, горячие проэволюционировавшие маломассивные звезды являются основным источником ионизации газа в галактиках с низким удельным темпом звездообразования (и с большими звездными массами), тогда как в галактиках с активным звездообразованием (и с меньшими звездными массами) OB-звезды являются определяющим фактором ионизации диффузной газовой среды. Также рассматриваются основные тренды параметров фотоионизационных моделей с высотой для различных типов дисковых галактик.

Артем Владимирович Просветов (Институт Космических Исследований РАН)

*Гиперновые среди сверхновых типа Ic: сравнение оптических кривых блеска* // А.В. Просветов, С.А. Гребенев, А.С. Позаненко, С.О. Белкин, П.Ю. Минаев

В рамках доклада будет представлен результат сравнительного анализа оптических кривых блеска большой выборки сверхновых типа Ic с кривыми блеска десяти гиперновых (мощных сверхновых Ic, сопровождавшихся регистрацией космического гамма-всплеска). В частности, в результате анализа было выявлено, что характерное время роста блеска гиперновых до момента достижения максимума оказывается систематически меньшим

времени роста блеска других сверхновых типа Ic. Это является серьезным аргументом в пользу того, что гиперновые физически выделены среди сверхновых типа Ic, а не являются удачно ориентированными объектами, в которых релятивистский выброс и гамма-излучение, образовавшиеся при взрыве, направлены строго на наблюдателя. В докладе будет приведен набор параметров кривых блеска, наиболее чувствительных к идентификации сверхновых в качестве гиперновых, не зависимо от того, сопровождаются они реальным гамма-всплеском или лишь оптическим послесвечением “сиротского” всплеска, а также будет представлен метод восстановления начальной части кривой блеска по информации из более поздних наблюдений.

Максим Владимирович Пупков (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

*Возможные варианты второстепенных миссий по исследованию астероидов для обсерватории СРГ*

// М.В. Пупков, Н.А. Эйсмонт, О.Л. Старинова, К.С. Федяев

В работе предлагаются варианты продления миссии космической обсерватории Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) для изучения астероидов, сближающихся с Землей. Рассмотрены случаи перенаправления космического аппарата на траектории тесного сближения с астероидами Апофис, 1997 XF11 и 1990 MU с учетом ограничений на величину характеристической скорости. Показано, что после пролета астероида Апофис в 2029 году или астероида 1997 XF11 в 2028 году возможно сохранить орбиту в окрестности солнечно-земной точки либрации L2. Также рассмотрен сценарий перенаправления обсерватории СРГ к астероиду Апофис с использованием гравитационного маневра у Луны, что позволяет уменьшить затраты рабочего тела на выполнение маневра и открывает возможность последовательного пролета астероидов 1997 XF11 и Апофис.

Тимофей Витальевич Пшеничный (МГУ имени М. В. Ломоносова)

*Клиент оповещений для модуля поиска аномалий брокера Fink* // М.В. Пупков, Н.А. Эйсмонт, О.Л. Старинова, К.С. Федяев

Значительный рост объёмов данных, поступающих с обсерваторий, открывает перед исследователями новые горизонты возможностей, но в то же время требует создания новых подходов к их обработке. Применение методов машинного обучения даёт отличные результаты, но всё же не исключает необходимость экспертного анализа. В частности, алгоритмы поиска аномалий, обнаруживая статистические отклонения в кривой блеска, зачастую указывают на объекты, не представляющие астрофизического интереса, поэтому каждая автоматически обнаруженная аномалия тщательно изучается экспертом-человеком. Доклад посвящен вопросу разработки программного клиента оповещений астрономического брокера аномалий Fink, позволяющего сделать процесс поиска научно значимых объектов в потоке обработанных данных более удобным и эффективным, обеспечивая быстрый доступ к данным и их наглядное представление.

Сергей Репин (Астрокосмический центр ФИАН)

*Однородное свечение неба (реликтовое излучение),  
наблюдаемое сквозь горловину кротовой норы*  
// М.А. Бугаев, И.Д. Новиков, С.В. Репин, П.С. Самородская

Рассматривается задача о возможности наблюдения однородного свечения неба сквозь горловину кротовой норы Эллиса–Бронникова–Морриса–Торна наблюдателем, находящимся в другом асимптотически плоском пространстве-времени. Показано, что отдельная звезда имеет множественные изображения, а изображение светящегося неба имеет сложное строение и в нем присутствуют кольцевые структуры. Рассмотрены причины возникновения таких структур. Построено распределение интенсивности излучения в изображении по радиальной координате. Кроме того, построено изображение кротовой норы Эллиса–Бронникова–Морриса–Торна на фоне однородного излучения неба в пространстве наблюдателя. После объединения обоих результатов построено синтетическое модельное изображение кротовой норы Эллиса–Бронникова–Морриса–Торна на фоне реликтового излучения, которое можно получить в реальных наблюдениях.

Сергей Репин (Астрокосмический центр ФИАН)

*Изображение черной дыры, освещенной параболическим экраном* // Е.В. Михеева, С.В. Репин, В.Н. Лукаш

Предложена модель освещающей черную дыру поверхности (параболический экран), которая позволяет естественным способом избегать появления краевых эффектов, связанных с фотонами, движущимися вдоль плоскости, освещающего черную дыру экрана. Распределение температуры вдоль радиуса соответствует распределению для релятивистского диска (диск Новикова–Торна). Показано, что структура формирующейся тени черной дыры существенно отличается от случая, когда источником фотонов является удаленный экран, поскольку в рассмотренной модели фотоны, подвергшиеся сильному гравитационному линзированию черной дыры, излучаются "обратной" стороной экрана, которая в отсутствие черной дыры не была бы видна. В приближении тонкого экрана построены изображения тени Шварцшильдовской черной дыры в случаях, когда угол между осью симметрии освещающего экрана и направлением на наблюдателя составляют 5, 30, 60 и 80 градусов. Для Керрской черной дыры изображения приведены для углов 60 и 80 градусов.

Елизавета Борисовна Рыспаева (Крымская астрофизическая обсерватория РАН)

*Долговременные вариации рентгеновских спектров звезд типа  $\gamma$  Cas* // Е. Б. Рыспаева, А. Ф. Холтыгин

К загадочному подклассу звезд типа  $\gamma$  Cas относятся Ве звезды с аномально высокой температурой плазмы, излучающей в рентгеновском диапазоне, равной 5-20 кэВ и даже более, если считать это излучение полностью тепловым. Рентгеновское излучение аналогов  $\gamma$  Cas может образовываться либо в результате взаимодействия декреционного диска с магнитным полем звезды, либо в результате аккреции на вырожденный компонент. Нельзя исключать и возможность вклада в полную рентгеновскую светимость нетеплового рентгеновского излучения этих звезд. При анализе рентгеновских наблюдений аналогов  $\gamma$  Cas, выполненных на спутниках «ХММ-Newton» и «Chandra» через длительные временные интервалы обнаружено, что по крайней мере у шести таких объектов, рентгеновские спектры наблюдений разных лет отличаются как визуально, так и по модельным характеристикам. Моделирование рентгеновских спектров этих звезд показало, что в предположении о полностью тепловой природе рентгеновского излучения температура излучающей плазмы может и уменьшиться или остаться почти такой же при уменьшении наблюдаемых потоков в рентгеновском спектре. В предположении о наличии нетепловой компоненты в рентгеновских спектрах звезд её спектральный индекс и вклад в полный модельный спектр существенно не меняются. Эти результаты позволяют предположить, что тепловое, и возможное нетепловое рентгеновское излучение



аналогов  $\gamma$  Cas должно формироваться близко к поверхности звезды или/и вырожденного спутника, а уменьшение интенсивности излучения может быть обусловлено изменением ориентации диска или орбитальной фазы спутника относительно наблюдателя.

Юлия Николаевна Соловьева (Специальная астрофизическая обсерватория Российской Академии Наук)

*Поиск ярких голубых переменных в галактиках за пределами Местной группы: новый LBV-кандидат в NGC 891* // Ю.Н. Соловьева, А.С. Винокуров

Яркие голубые переменные (LBV) - малочисленный тип (около 50 известных LBV) звёзд высокой светимости с неясным эволюционным статусом, демонстрирующих существенную спектральную и фотометрическую переменность. В рамках наблюдательной программы, направленной на поиск звёзд высокой светимости в галактиках за пределами Местной группы, мы обнаружили новый LBV-кандидат J022237.31+422234.2 ( $M_v < -9.6$  mag) в галактике NGC 891 (9.8 Мпк). В спектре звезды наблюдаются характерные для данного класса звёзд эмиссионные линии Fe II, часть которых имеет профили типа P Cug. Фотометрическая переменность по данным космического телескопа имени Хаббла (камера WFC3, 2011 г.) и Цейсс-1000 (2021 г.) составила около 1.4 зв. величин в полосе V. Ввиду большой неопределённости величины межзвёздного поглощения ( $A_v = 0.2 - 1.3$  mag) разброс значений болометрической светимости и начальной массы составил  $0.5-1.2 \cdot 10^6$  светимостей Солнца и 40-60 масс Солнца соответственно. Часть наблюдательных данных получена на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН. Работа выполнена при поддержке гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации No 075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

Александр Павлович Стужин (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»)

*Перспективы измерения ТэВных потоков электронов и позитронов ГКЛ по их синхротронному излучению в геомагнитном поле // А.П. Стужин, В.В. Михайлов*

Потоки электронов и позитронов галактических космических лучей (ГКЛ) несут уникальную информацию об астрофизических процессах и объектах в Галактике. Космический эксперимент СОНЯ, предназначенный для измерений электронных и позитронных спектров ГКЛ в области энергий  $\sim 1$  ТэВ и выше, предлагается провести на Российской Орбитальной Станции РОС. Регистрация заряженных частиц (электрона/позитрона) в эксперименте будет осуществляться по их синхротронному излучению в геомагнитном поле. В такой методике Земля выступает в качестве магнитного спектрометра. Прибор будет включать детектор синхротронного излучения, триггерную систему на основе сцинтилляционных счетчиков и электромагнитный калориметр. Подобная конструкция позволяет одновременно регистрировать электрон или позитрон высокой энергии и сопровождающие его синхротронные фотоны. Знак заряда может быть определен по относительному расположению траектории заряженной частицы и ее синхротронных фотонов. В настоящей работе приведены результаты Монте-Карло моделирования характеристик прибора СОНЯ и условий регистрации на РОС с использованием модели детектора в Geant4 и магнитного поля Земли, описываемого IGRF.

Дарья Андреевна Теплых (Пушчинская радиоастрономическая обсерватория Физического института им. П.Н.Лебедева)

*Обнаружение радиоизлучения от Гемингаподобного гамма-пульсара J1836+5925*

// В.М. Малюфеев, О.И. Малов, Д.А. Теплых, М.А. Тимиркеева

Представлены результаты обнаружения радиоизлучения от гамма-пульсара J1836+5925. В Пушчинской радиоастрономической обсерватории на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц были зарегистрированы редкие события радиоизлучения от этого объекта. Особенностью радиоизлучения пульсара J1836+5925 является двух-трех компонентный интегральный профиль и очень узкие индивидуальные импульсы. Возможно также наличие интеримпульса. Измерена мера дисперсии

$DM = 23 \pm 1$  пк/см<sup>3</sup> и дана оценка расстояния до пульсара, 1.5 кпк. Получена оценка плотности потока и нижнего предела на спектральный индекс. Работа поддержана грантом РФФ №22-12-00236.

Мария Андреевна Тимиркеева (Пущинская  
радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)

*Наблюдения гамма-пульсара J1836+5925 на 111 МГц*  
// М.А. Тимиркеева, И.Ф. Малов

Проведен сравнительный анализ углов  $\beta$  между осью вращения и магнитным моментом в трёх группах радиопульсаров: источниках, в которых наблюдается только радиоизлучение, пульсарах с зарегистрированным рентгеновским излучением и радио-громких гамма-пульсарах. С этой целью отдельно для объектов из каждой группы двумя различными методами вычислены значения угла  $\beta$ . Оказалось, что в пульсарах с жестким излучением средние значения этого угла ( $28.2^\circ$  и  $28.8^\circ$ ) больше, чем для спокойных радиопульсаров ( $12.9^\circ$ ). Однако, с применением критерия Колмогорова-Смирнова показано, что обнаруженное отличие не значимо с большой степенью вероятности. Следовательно, структура магнитосфер у трех рассмотренных групп пульсаров не сильно отличается, а их различие обусловлено величиной магнитного поля на световом цилиндре, которое обеспечивает включение механизма жесткого нетеплового излучения у пульсаров с обнаруженным рентгеновским и/или гамма излучением, но недостаточно для этого у тихих в жестких диапазонах радиопульсаров. Работа поддержана грантом РФФ № 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>).

Максим Вячеславович Ткачев (Астрокосмический Центр  
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН)

*Избыток массивных галактик в наблюдениях JWST как проверка космологических моделей с модифицированным спектром мощности* // М.В. Ткачев,  
С.В. Пилипенко, Е.В. Михеева, В.Н. Лукаш

Модифицированный космологический спектр мощности с приблизительно гауссовой добавкой (бампом) на суб-мегапарсековых масштабах может быть результатом сложной инфляции. Мы рассмотрели пять спектров с различными амплитудами и положениями гауссовских бампов  $A$  и  $k_0$  и провели численное моделирование N-тел в кубе размером  $(5/h)^3$  при  $z > 8$ , а затем построили на его основе функции масс гало и их эволюцию в зависимости от красного смещения. Мы обнаружили, что формула Шета-Тормена является хорошим приближением для функций масс гало такого вида. В рассматриваемых моделях

формирование гало из темной материи начинается значительно раньше, чем в модели  $\Lambda$ CDM, что, в свою очередь, может привести к более раннему образованию звезд и активности в ядрах галактик, что может быть обнаружено и проверено, например, с помощью JWST. При этом, при  $z = 0$  функции масс гало практически неотличимы от стандартной модели  $\Lambda$ CDM, поэтому модели с модифицированным спектром могут быть идентифицированы в наблюдениях только по избытку ярких источников с высоким красным смещением.

Роман Владимирович Тодоров (Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет))

*Моделирование линейной поляризации прецессирующих струй активных ядер галактик*

// Р.В. Тодоров, Е.В. Кравченко, И.Н. Пащенко, А.Б. Пушкарев

Последние результаты самого подробного анализа многоэпоховых поляризационно-чувствительных наблюдений струй активных ядер галактик (АЯГ) на масштабах парсек методом радиоинтерферометрии со сверхдлинными базами (РСДБ) обнаруживают несколько характерных типов распределения линейной поляризации и ее переменности (Pushkarev et al., 2023; Zobnina et al., 2023). Некоторые из них воспроизводятся уже в простой модели спирального магнитного поля. При этом ни одна из представленных к настоящему моменту моделей не может объяснить наблюдаемые профили поляризации с увеличением ее степени к краям струи, и сопровождаемые узором электронного вектора типа “фонтан” и его высокой временной переменностью в центре. С помощью численного моделирования РСДБ-наблюдений релятивистских струй в этой работе мы показываем, что такие профили линейной поляризации могут возникать естественным образом в модели струй, прецессирующих на масштабах порядка десяти лет. В этом сценарии из-за ограниченного разрешения РСДБ-систем первоначально сильная поляризация вдоль оси струи размывается из-за наложения областей, поляризационный угол которых значительно меняется в проекции на небо. В наших симуляциях численных моделей мы качественно воспроизводим структуру распределения электрического вектора и его переменность. При этом карты распределения интенсивности поляризации характеризуются яркой сердцевинной из-за недостаточного подавления поляризованного излучения, что слабо согласуется с наблюдениями квазаров. Более эффективной деполяризации можно добиться в моделях, в которых излучение центрального канала струи подавлено.

Сергей Анатольевич Тюльбашев (Пушинская  
радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)

*Поиск пульсаров и вращающихся радиотранзиентов на  
БСА ФИАН*

// С.А. Тюльбашев, Г.Э. Тюльбашева, М.А. Китаева, Т.В. Смирнова, Е.А. Брылякова, В.А. Самодуров

С 2014 года на радиотелескопе БСА ФИАН проводится мониторинговый обзор на частоте 111 МГц. Основные характеристики обзора: полоса 2.5 МГц, 32 частотных канала с шириной 78 кГц, время опроса 12.5 мс на точку. По данным аккумулярованным на интервале 9 лет проведен поиск пульсаров и вращающихся радиотранзиентов (RRAT). Всего найдено больше 130 новых пульсаров и транзиентов из них около 60 в этом году. Показано, что чувствительность при поиске обычных секундных пульсаров примерно на порядок величины выше чувствительности всех обзоров ранее проведенных в метровом диапазоне длин волн. Проведено исследование природы пульсаров и RRAT. Работа поддержана грантом РНФ 22-12-00236.

Юрий Александрович Уваров (Федеральное  
государственное бюджетное учреждение науки  
Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН)

*Магнитная турбулентность и спектры послесвечения  
гамма-всплесков* // Ю.А. Уваров, А.М. Быков

Гамма-всплески представляют собой явления быстрого энерговыделения большой мощности, происходящие при коллапсе или слиянии звезд. В результате внутренних процессов в них формируются популяции нетепловых ускоренных частиц, излучающих в широком диапазоне энергий. Недавние наблюдения показали, что от послесвечения некоторых гамма-всплесков регистрируются фотоны с энергиями вплоть до десятков ТэВ. Объяснение такого высокоэнергичного излучения в рамках стандартных моделей сталкивается с трудностями из-за больших энергетических потерь излучающих частиц. В докладе для фазы послесвечения всплеска исследуется влияние неоднородностей магнитного поля на спектры синхротронного излучения лептонов и протонов, а также на спектр обратного комптоновского излучения на собственных синхротронных фотонах. Показано, что эффект неоднородности магнитного поля может увеличить максимальные энергии синхротронного излучения лептонов и протонов в несколько раз, существенно не влияя на спектр обратного комптоновского излучения, максимальные энергии фотонов которого ограничены пределом Клейна-Нишины. Работа была поддержана грантом РНФ 21-12-00250.

Роман Иванович Уклеин (Специальная астрофизическая  
обсерватория Российской академии наук)

*MAGIC: фокальный редуктор для исследования  
активных ядер галактик*

// Р.И. Уклеин, Е.А. Малыгин, Е.С. Шабловинская, В.Р. Амирханян,  
А.Е. Перепелицын, И.В. Афанасьева и В.Л. Афанасьев†

Мы представляем универсальный фокальный редуктор MAGIC (Monitoring of Active Galaxies by Investigation of their Cores), введенный в эксплуатацию на телескопе Zeiss-1000 диаметром 1 м в САО РАН в 2020 году. В настоящее время реализованы три режима наблюдения: фотометрия, поляризация и спектроскопия с длинной щелью. MAGIC дает широкое поле зрения для фотометрии и высоту щели для спектроскопии  $\sim 12'$ , а также поле зрения  $\sim 6'.4$  для поляризации с квадрупольной призмой Волластона. Эта особенность обеспечивает эффективное изучение протяженных туманностей и галактик. Спектральный режим в диапазоне 4200-7000 Å обеспечивает спектральное разрешение  $R \sim 1000$ ; для звездоподобных объектов до 14 mag в среднеполосных фильтрах с качеством изображений  $1''$  в течение 20 минутной экспозиции точность фотометрии лучше 0.01 mag, а точность поляризации лучше 0.6%. В рамках доклада будут освещены текущий статус MAGIC и перспективы дальнейших наблюдений.

Мария Владимировна Фролова (ФГБОУВО «Московский  
государственный университет имени М.В.Ломоносова»)

*Оценки для скорости роста магнитного поля в  
галактиках различной толщины*

// Е.А. Михайлов, М.В. Фролова, Ю.А. Тихонов

В настоящее время твердо установлено, что ряд галактик обладает крупномасштабными магнитными полями. Их генерация (так же, как и в случае звезд, планет, и, вероятно, аккреционных дисков), происходит за счет механизма динамо. Оно основано на совместном действии двух процессов - альфа-эффекта и дифференциального вращения - которые описываются системой параболических уравнений. Их решение является важной и достаточно сложной задачей магнитогидродинамики и математической физики. Для этого используются приближения для каждого типа объектов, принимающие во внимание их свойства и геометрическую форму. Так, для галактик, имеющих форму диска, используются планарное и RZ-приближение. Если предположить, что поле растет по экспоненциальному закону, то исходная система уравнений сведется к задаче на собственные значения для дифференциального оператора, описывающего действие динамо. В случае бесконечно тонкого диска можно использовать достаточно простое планарное приближение [1], и в таком случае

задача на собственные значения в ряде случаев допускает точные решения. Между тем, если мы рассматриваем диски большей толщины, то точности планарного приближения оказывается недостаточно, и необходим учет более сложной структуры магнитного поля. В таком случае мы используем RZ-приближение. Поиск собственных значений и собственных функций в таком случае усложняется. Решение можно найти с помощью асимптотических методов, основанных на возмущениях собственных значений, аналогично тому, как это делается для уравнения Шредингера в квантовой механике [2]. В настоящей работе мы рассматриваем две задачи, характеризующих приближения разной степени точности. Для случая, когда азимутальная компонента является существенно превалирующей, удастся найти как линейные, так и квадратичные возмущения для собственных значений. В случае, когда этого сказать нельзя, мы находим собственные значения, используя только линейные возмущения. Аналитические результаты мы сравнили с результатами, полученными с помощью численного моделирования [3].

Список литературы

1. Moss, D. On the generation of bisymmetric magnetic field structures in spiral galaxies by tidal interactions. Monthly Notices of the Royal Astronomical Society 1995, 275, pp.191–194.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика: Нерелятивистская теория. – Наука, 1989. – С. 521.
3. Mikhailov E., Pashentseva M., Mathematics, 2023, 11, 3106

Александр Николаевич Фурсов (Санкт-Петербургский  
Политехнический Университет Петра Великого)

*Рентгеновские узелки в двухторовой пульсарной  
туманности Вела: цепочка гигантских плазмоедов?*

// А.Н. Фурсов, Г.А. Пономарёв, К.П. Левенфиш, А.Е. Петров, С.С. Фатеева

На рентгеновских изображениях пульсарных туманностей Краб и Вела имеется множество ярких деталей – торы, джеты, кольца, арки, узелки. Теория и современные РМГД-модели туманностей хорошо описывают регулярные структуры типа торов и джетов. Однако природа сильно переменных узелков, которые в обеих туманностях выстроены в регулярные арко- и кольцеподобные структуры, пока что не ясна. В 2021 году Черутти и Гьячинти [1] интерпретировали цепочку ярких узелков на "внутреннем кольце" одноторовой туманности Краб как цепочку гигантских плазмоедов. Опираясь на Particle-in-Cell (PIC) модель, они показали что такие плазмоеды могут формироваться сразу за ударной волной торможения пульсарного ветра, при фрагментации экваториального токового слоя между областями ветра различной магнитной полярности. На основе релятивистского МГД-моделирования мы показываем, что в двухторовых туманностях типа Велы крупные плазмоеды могут возникать не за ударной волной, а на периферии туманности. Там цепочки плазмоедных узелков, вероятнее всего, образуют структуры типа двух соосных "внешних

колец" разного диаметра. Ближние (к наблюдателю) стороны этих колец должны проецироваться на яркие участки обоих торов, а дальние – быть близки друг к другу и пересекаться (в проекции) с ярким участком подветренного джета туманности, если последняя видна в проекции Велы. Положение ярких узелков на адаптивно сглаженной катре Велы хорошо согласуется с предсказанием нашей РМГД модели, что позволяет нам предположить, что узелки в Веле также могут являться крупными плазмоидами. [1] Cerutti V., Giacinti G., 2021, A& A, 656, A91

Альберт Альбертович Хабибуллин (Базовая кафедра  
Физики Космоса ИКИ РАН на факультете физики  
Национального Исследовательского Университета "Высшая  
Школа Экономики")

*Моделирование кривых блеска космических  
гамма-всплесков в гамма-диапазоне*  
// А.А. Хабибуллин, А.С. Позаненко, В.М. Лозников

Из наблюдений известно, что кривая блеска гамма-всплесков в гамма-диапазоне состоит из отдельных импульсов, большинство импульсов (Hakkila & Preece 2011) описывается аналитической формой Fast Rise Exponential Decay (FRED), предложенной в работе (Norris et al. 2005). Причина формирования такого профиля импульса неизвестна. Исследование зависимостей параметров импульсов (длительность, асимметрия, амплитуда, распределение по частоте встречаемости) может помочь как определению класса физических процессов формирования импульсов, так и при классификации и определении макроскопических параметров источников излучения гамма-всплесков, таких как, например, расстояние до них. Однако исследование индивидуальных импульсов чрезвычайно затруднено, так как в кривой блеска эти импульсы существенно пересекаются друг с другом (эффект нагромождения), что препятствует выделению импульсов и определению их параметров. Поэтому, эффективно сравнивать наблюдаемые и смоделированные кривые блеска напрямую невозможно. Мы используем спектры мощности смоделированных кривых блеска для сравнения со спектром мощности выборки наблюдаемых кривых блеска так, чтобы эти спектры совпадали. В нашей работе кривые блеска генерируются случайным образом исходя из предположения, что для каждого параметра импульсов существует некоторое распределение. Показано, что только при введении зависимости между длительностью и параметром асимметрии можно достичь сходства наблюдаемых спектров мощности и полученных после моделирования кривых блеска методом, описанным выше. В работе также приведены и обсуждаются спектры мощности смоделированных кривых блеска для других (не FRED) аналитических профилей, используемых для описания импульсов, формирующих кривые блеска.

Литература



1. Hakkila, J. and Preece, R. D., "Unification of Pulses in Long and Short Gamma-Ray Bursts: Evidence from Pulse Properties and Their Correlations", *The Astrophysical Journal*, vol. 740, no. 2, 2011. doi:10.1088/0004-637X/740/2/104

2. Norris, J. P., Bonnell, J. T., Kazanas, D., Scargle, J. D., Hakkila, J., and Giblin, T. W., "Long-Lag, Wide-Pulse Gamma-Ray Bursts", *The Astrophysical Journal*, vol. 627, no. 1, pp. 324–345, 2005. doi:10.1086/430294

Тимур Игоревич Халилов (Московский  
физико-технический институт)

*Внутренняя структура релятивистского струйного  
выброса в M87 вблизи "центральной машины"*

// В. С. Бескин, Т. И. Халилов, В. И. Парьев,  
Е.Е. Нохрина, И.Н. Пащенко, Е.В. Кравченко

В настоящее время нет никаких сомнений в том, что релятивистские струйные выбросы, наблюдаемые в активных ядрах галактик, переходят от стадии сильно замагниченного течения к стадии слабо замагниченного, что наблюдается в виде разрыва зависимости ширины струи от расстояния от "центральной машины". В данной работе обсуждается возможность наблюдения другого разрыва, который должен быть расположен на меньшем расстоянии. Положение этого разрыва связано с областью формирования центрального ядра продольного магнитного поля вблизи оси вращения джета.

Антон Владимирович Халяпин (Национальный  
исследовательский университет «Высшая школа  
экономики»)

*Рождение позитронов при взаимодействии фотона с  
коротким рентгеновским импульсом*

// А.В. Халяпин, Д.П. Барсуков, С.В. Бобашев

Рассматривается рождение электрон-позитронной пары при взаимодействии гамма-кванта с очень коротким сильным рентгеновским импульсом. Такие импульсы могут генерироваться как изгибающее излучение сгустка заряженных частиц в пульсарной трубке вблизи поверхности нейтронной звезды. В данной работе мы не учитываем влияние магнитного поля на данный процесс.

Ольга Сергеевна Черненко (Институт космических исследований РАН)

*Оптимизация сценария наблюдений телескопа СРГ с целью снижения расхода топлива*

// О.С. Черненко, В.А. Зубко, Н.А. Эйсмонт

13 июля 2019 года в окрестность точки Лагранжа L2 системы «Земля-Солнце» была запущена астрофизическая обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма», на борту которой находятся два телескопа: немецкий eROSITA, работающий в мягком рентгеновском диапазоне и российский ART-XC имени М.Н. Павлинского, работающий в жестком рентгеновском диапазоне. Главная задача обсерватории – всеобщий обзор неба для построения широкомасштабной карты Вселенной. В феврале 2022 года телескоп eROSITA был переведён в спящий режим. В связи с данным решением космический аппарат приступил к изучению наиболее интересных участков, не дожидаясь завершения обзоров всего неба, что привело к необходимости пересмотреть сценарий наблюдения с целью нахождения оптимального варианта между операциями разгрузки маховиков ориентации, расходом топлива на манёвры коррекции орбиты и требованиями со стороны научных наблюдений для увеличения срока эксплуатации обсерватории. Квазипериодическая орбита в окрестности точки Лагранжа L2 является областью неустойчивого движения. Для поддержания параметров орбиты космического аппарата в заданных пределах требуется производить соответствующие коррекции, в противном случае, аппарат со временем покидает целевую орбиту в силу изначальных ошибок выведения и влияния возмущающих воздействий на орбитальное движение системы управления ориентацией. Одним из наиболее перспективных вариантов решения данной задачи является использование возмущающих движение центра масс аппарата сил, которые возникают при работе ракетных двигателей для разгрузки маховиков системы ориентации. Эти силы являются, по своему происхождению, паразитными, поскольку необходимые моменты разгрузки маховиков создаются по силовой схеме. В ходе обновлённой циклограммы полёта, необходимо подбирать участки обзореваемого неба таким образом, чтобы впоследствии, при выдаче небольшого импульса примерно раз в двое суток для разгрузки маховиков, этот импульс компенсировал уход с орбиты, возникающий вследствие операций разгрузки маховиков системы ориентации и была возможность выполнения наблюдений неба в противоположном направлении. В таком случае, даже при наблюдениях, при которых создаются импульсы, имеющие проекцию на самое неблагоприятное направление в плоскости эклиптики под углом  $28.5^\circ$  к направлению Солнце-Земля, что переводит обсерваторию на траекторию наиболее быстрого ухода из окрестности точки либрации, существует возможность подобрать время выдачи противоположного импульса так, чтобы возмущения, в конечном счёте, компенсировали друг друга даже в случае отсутствия ортогональности изначального импульса к плоскости эклиптики. Иными словами, в случае обзора неба в определённом направлении оси телескопа, необходимо также проводить наблюдения в противоположном направлении для компенсации

возмущающих воздействий. Таким образом, при данном подходе существует возможность снижения затрат на коррекцию орбитального движения, что позволит продлить срок эксплуатации обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма».

Екатерина Васильевна Шишкина (Санкт-Петербургский государственный университет))

*Исследование вращений позиционного угла поляризации блазара OJ 287*

// Е.В. Шишкина, Д.А. Морозова, П.А. Новикова, С.С. Савченко, И.С. Троицкий

Блазары — класс активных ядер галактик (АЯГ), в которых релятивистский джет направлен под небольшим углом к лучу зрения наблюдателя. Такие объекты демонстрируют значительную переменность плотности потока на всех диапазонах длин волн, а также высокую и переменную поляризацию. Кривая поляризации в некоторые периоды может демонстрировать выделенное направление, в некоторые изменяться довольно хаотически, а иногда наблюдается плавное изменение позиционного угла поляризации (EVPA). Вращения EVPA могут иметь различную скорость, амплитуду и продолжительность. Так как направление EVPA связано с магнитным полем, детальное исследование его вращений позволяет получить информацию о тонкой структуре джетов блазаров и структуре магнитного поля. В частности, присутствие вращений вектора поляризации может объясняться спиральной структурой магнитного поля в джете. В работе представлено исследование наиболее полной выборки вращений позиционного угла поляризации блазара OJ 287. С помощью нового метода выделения таких событий было найдено 81 статистически значимое вращение EVPA, из которых 55 происходят по часовой стрелке и 26 против часовой стрелки. В работе приведены характеристики найденных вращений и описаны возможные физические причины такого поведения EVPA. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант No 23-22-00121, <https://rscf.ru/project/23-22-00121/>

Леонид Александрович Шлейгер (Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН)

*Силы в метрике Керра* // L.A. Shleiger, V.D. Vertogradov

Выделены силы, действующие на частицы с нулевой и отрицательной энергией во вращающейся черной дыре. Проведено сравнение с силами инерции во вращающейся системе координат. Выделены силы, при движении пробных частиц в общем и экваториальном случаях.

---

Ольга Николаевна Шолухова (Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН)

*Поиск ярких массивных звезд в галактике NGC 6946*

// О. Шолухова, Н. Тихонов, А. Винокуров, Ю. Соловьева, А. Саркисян

Представлены результаты поиска массивных звезд высокой светимости в галактике NGC 6946 ( $D = 4.5$  Мpc). С помощью 6-метрового телескопа БТА САО РАН были получены спектры 8 кандидатов, среди которых обнаружены две звезды (J203455.57+601055.4 и J203448.52+601054.5) с эмиссионными спектрами. Объект J203455.57+601055.4 демонстрирует бленды CIII+NIИ и линии He II, характерные для WR-скоплений, одиночных WR-звезд или Ярких Голубых Переменных (LBV) в горячем состоянии. Второй объект J203448.52+601054.5 классифицирован как кандидат в LBV на основе наблюдаемых эмиссионных линий водорода, гелия HeI и многочисленных эмиссионных линий железа FeII и [FeII]. Мы получили наблюдательные данные на уникальной научной установке Большой телескоп альт-азимутальный САО РАН и выполнили работу по обработке и интерпретации спектральных данных в рамках гранта Министерства науки и высшего образования Российской Федерации No075-15-2022-262 (13.МНПМУ.21.0003).

Евгений Щекотихин (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)

*Нейронные сети в задаче вычитания астрономических изображений при поиске транзиентных источников*

// Е.А. Щекотихин, Н. С. Панков, А. С. Позаненко, П. Ю. Минаев, С. О. Белкин, А. А. Вольнова

Задача вычитания астрономических изображений возникает во многих приложениях, в частности, при поиске оптических транзиентов. Например, при поиске в больших полях области локализации оптических источников, сопровождающих гравитационно-волновые события LIGO/Virgo/KAGRA. В этом случае источник расположен в относительно близкой родительской галактике и обнаружить его другими методами не получается. Задача вычитания существенно осложняется, если два изображения, подлежащие процедуре вычитания: поисковое (с предполагаемым транзиентом) и референсное получены на разных телескопах. В этом случае обнаружение транзиента существенно осложняется ввиду большого числа артефактов, остающихся на вычтенном изображении. Для решения этой проблемы использована условная порождающая состязательная (сGAN) нейронная сеть, преобразующая фрагменты полнокадрового вычитаемого изображения (референсного) к соответствующим фрагментам поискового в соответствии с условием, формируемым на основе информации о точечных источниках,

присутствующих на обоих снимках. На примерах кадров обзора Rap-STARSS и кадров полученных на телескопе АЗТ-22 обсерватории Майданак демонстрируется снижение числа артефактов вычитания с использованием данного метода. Метод может быть применен в любой задаче, где поиск оптических транзиентов осуществляется методом вычитания.

Александр Андреевич Щепкин (Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого)

*Влияние лептонной асимметрии и стерильных нейтрино на первичный нуклеосинтез*

// А.А. Щепкин, А.В. Иванчик

Известно, что легкие стерильные нейтрино противоречат модели первичного нуклеосинтеза, поскольку наличие их в данной модели увеличивает массовую долю первичного гелия-4, что не согласуется с наблюдениями. Однако, введением лептонной асимметрии возможно скомпенсировать этот эффект. В данной работе была определена взаимосвязь между эффективным числом легких стерильных нейтрино  $\Delta N_{eff}$  и параметром асимметрии электронных нейтрино  $\xi_e$  (отношение химического потенциала к температуре) в ранней Вселенной, требуемая для соответствия, в рамках модели первичного нуклеосинтеза, наблюдательному определению массовой доли первичного гелия-4. При  $\Delta N_{eff} = 1$  ( $N_{eff} = 4$ ), что соответствует существованию легких стерильных нейтрино, требуемое значение параметра асимметрии равно  $\xi_e = 0.056 \pm 0.001$ . Было подтверждено, что легкие стерильные нейтрино могут согласоваться с моделью первичного нуклеосинтеза.

Владислав Юрьевич Юрченко (ФТИ им. Иоффе РАН)

*Отклонение от равновесия в эпоху электрон-позитронной аннигиляции*

// В.Ю. Юрченко, А.В. Иванчик

В эпоху электрон-позитронной аннигиляции в ранней Вселенной функции распределения электронов, позитронов и фотонов близки к равновесным, степень отклонения от равновесия характеризуется отношением темпа расширения Вселенной и скоростями процессов рассеяния этих частиц. Тем не менее знание динамики расширения Вселенной, а так же кинематики процессов рассеяния позволяет определить форму отклонения функций распределения частиц от равновесной. В данной работе с помощью численного решения кинетических уравнений для функций распределения электронов, позитронов и фотонов решается эта задача.