

ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

**АСТРОФИЗИКА
ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА**

ИКИ РАН

heasXXV

22–25 декабря 2025

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Всероссийская астрофизическая конференция

**АСТРОФИЗИКА ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ
СЕГОДНЯ И ЗАВТРА (НЕА-2025)**

22-25 декабря 2025 г.

проводится при финансовой поддержке:

Института Космических Исследований Российской Академии Наук

Москва

2025

Оглавление

Предисловие	10
Приглашенные доклады	12
Pooley David (Trinity University)	12
Бикмаев Ильфан Фяритович (Казанский (Приволжский) федеральный университет)	12
Быков Андрей Михайлович (ФТИ им. А.Ф.Иоффе)	12
Иванчик Александр Владимирович (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН)	13
Кочаровский Владимир Владиленович (Институт Прикладной Физики РАН)	13
Маркевич Максим Леонидович	14
Постнов Константин Александрович (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова)	14
Поутанен Юрий (Университет Турку)	14
Смирнов Олег Михайлович (Rhodes University & SARAO)	14
Сюняев Рашид Алиевич (Институт Космических Исследований РАН)	15
Черепашук Анатолий Михайлович (государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга)	15
Устные доклады	17
Афонина Марина Дмитриевна (Государственный Астрономический Институт имени П.К. Штернберга)	17
Баринов Владислав Валерьевич (Институт ядерных исследований РАН)	17
Барков Максим Владимирович (ИНАСАН)	18
Бельведерский Михаил Игоревич (Институт космических исследований РАН)	18
Бирюков Антон Владимирович (Tel Aviv University)	19
Васильев Евгений Олегович (Астрокосмический центр ФИАН)	19
Вихлинин Алексей Александрович (Институт Космических Исследований РАН)	20
Владимирова Кристина Вячеславовна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)	20
Воскресенская Светлана Алексеевна (Национальный исследовательский институт “Высшая школа экономики”, Институт космических исследований РАН)	21
Гильфанов Марат Равильевич (Институт Космических Исследований РАН)	21
Гребенев Сергей Андреевич (Институт космических исследований РАН)	22
Деришев Евгений Владимирович (Институт прикладной физики РАН)	23

Заборов Дмитрий Николаевич (Институт Ядерных Исследований Российской Академии Наук)	23
Захаров Евгений Игоревич (Институт космических исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”)	24
Иванов Павел Борисович (Физический институт имени П. Н. Лебедева)	24
Каминкер Александр Давидович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)	25
Кислицын Павел Антонович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	26
Корешкова Екатерина (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова)	27
Корочкин Александр Алексеевич (Институт ядерных исследований Российской академии наук)	27
Котов Сергей Сергеевич (Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук)	27
Кривонос Роман Александрович (Институт Космических Исследований РАН)	28
Круглов Алексей Антонович (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)	28
Лисаков Михаил Михайлович (Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso)	29
Лукиных Гавриил Геннадьевич (Московский физико-технический институт)	30
Лутовинов Александр Анатольевич (Институт космических исследований РАН)	30
Лыскова Наталья Сергеевна (Институт космических исследований РАН)	30
Макаров Дмитрий Игоревич (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)	31
Мещеряков Александр Валерьевич (Институт космических исследований РАН)	31
Минаев Павел (Институт Космических Исследований РАН)	32
Михайлов Евгений Алексеевич (НПО им. С.А. Лавочкина)	32
Моисеев Алексей Валерьевич (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)	33
Мухин Андрей Анатольевич (Институт Космических Исследований РАН)	33
Нежин Александр Николаевич (Московский Физико-Технический Институт/Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)	34
Незабудкин Валентин Олегович (Институт космических исследований РАН, Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет))	34
Николаева Евгения Александровна (Казанский (Приволжский) федеральный университет)	35
Нохрина Елена Евгеньевна (Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН)	36
Позаненко Алексей (Институт космических исследований)	37
Попкова Анна Владимировна (Государственный астрономический институт имени Штернберга)	37

Потехин Александр Юрьевич (ФГБУН Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	37
Прохоренко Сергей Александрович (Институт Космических Исследований РАН)	38
Ревнивцев Владислав Михайлович (Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга, Институт Космических Исследований)	39
Свинкин Дмитрий Сергеевич (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	39
Семена Николай Петрович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)	40
Трушкин Сергей Анатольевич (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)	40
Тырин Никита Юрьевич (Казанский Федеральный Университет)	41
Хабибуллин Ильдар (ИКИ РАН)	41
Хамитов Ирек Мунавирович (Казанский Федеральный Университет)	42
Хрыкин Илья Сергеевич (Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso)	43
Чуразов Евгений Михайлович (Институт космических исследований РАН, Институт астрофизики общества им. Макса Планка)	44
Шапошников Иван Андреевич (МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга)	44
Шарофеев Андрей Константинович (Институт ядерных исследований Российской академии наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)	45
Штернин Пётр Сергеевич (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе)	45
Постерные доклады	47
Ананьев Ярослав Олегович (Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе)	47
Барсуков Дмитрий Петрович (ФТИ им А.Ф. Иоффе)	47
Белова Софья Ивановна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	48
Бирюков Антон Владимирович (Tel Aviv University)	48
Булига Станислава Дмитриевна (Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН)	49
Гатилова Дарья (Санкт-Петербургский государственный университет)	49
Гогличидзе Олег Анзорович (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе)	50
Голубев Максим Николаевич (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»)	50
Горбачев Марк Андреевич (Казанский федеральный университет / Крымская астрофизическая обсерватория РАН)	51
Горбачев Марк Андреевич (Казанский федеральный университет / Крымская астрофизическая обсерватория РАН)	51
Дедиков Святослав Юрьевич (Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева Российской Академии Наук)	52

Докучаев Вячеслав Иванович (Институт ядерных исследований Российской Академии Наук)	53
Дроздов Сергей Александрович (Астрокосмический Центр Физического Института Академии Наук им. П.Н. Лебедева)	53
Емельянова Анастасия Романовна (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)	54
Ефремова Полина Дмитриевна (Казанский (Приволжский) федеральный университет)	54
Желенкова Ольга Петровна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)	55
Желенкова Ольга Петровна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)	56
Захаров Евгений Игоревич (Институт космических исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”)	57
Зибинская Дарья Алексеевна (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПбАУ РАН им. Ж.И. Алфёрова)	57
Исламов Сардор Санжарович (Институт космических исследований)	58
Истомин Арсений Юрьевич (Московский физико-технический институт; Физический институт имени П. Н. Лебедева)	58
Калдыбекова Амина Балгалиевна (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)	59
Карпова Анна Викторовна (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе Российской академии наук)	59
Кийков Сергей Ортабаевич (Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)	60
Кляйн Юлия Сергеевна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)	60
Князев Фёдор Алексеевич (Московский физико-технический институт)	61
Ковалев Юрий Андреевич (Физический ин-т им.П.Н.Лебедева РАН)	61
Кованкин Александр Сергеевич (Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)	62
Корягин Сергей Александрович (Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН)	63
Косенко Дарья Николаевна (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)	64
Краав Кирилл Юрьевич (Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН)	64
Лазарев Антон Денисович (Физический Факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова)	65
Лисицин Данил Денисович (Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ)	66
Лучинская Анна Александровна (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)	66
Малов Игорь Фёдорович (Пущинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института РАН)	67
Малов Игорь Фёдорович (Пущинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института РАН)	67
Маркозов Иван Дмитриевич (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	68

Мартыненко Николай Сергеевич (Физический факультет Московского государственного университета и Институт ядерных исследований Российской академии наук)	68
Матевосян Арам Артурович (Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого)	69
Махиня Диана Вадимовна (Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Сарове)	69
Мегрелишвили Багратион Анзорович (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)	70
Михайлов Александр (Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук)	70
Михайлова Мария Владимировна (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»)	71
Мишакина Александра Викторовна (Московский физико-технический институт, Национальный Исследовательский Центр “Курчатовский Институт”, Институт Астрономии РАН)	71
Мишакина Александра Викторовна (Московский физико-технический институт, Национальный Исследовательский Центр “Курчатовский Институт”, Институт Астрономии РАН)	72
Мкртчян Аркадий Ашотович (Институт космических исследований РАН)	73
Мороз Юлия Сергеевна (Институт ядерных исследований РАН)	73
Никифоров Айсен Гаврильевич (Институт астрономии Российской академии наук) . .	74
Новикова Софья Владимировна (Санкт-Петербургский государственный университет) .	74
Ожередов Вадим (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)	75
Панарин Степан Сергеевич (Казанский (Приволжский) Федеральный Университет) .	75
Парусов Кирилл Юрьевич (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова)	76
Пархоменко Владислав Александрович (Санкт-Петербургский Государственный Университет)	76
Пименов Георгий Константинович (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»)	76
Пиоторович Михаил Юрьевич (Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН)	77
Пономарёв Георгий Андреевич (Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН)	77
Попов Александр Николаевич (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)	78
Рыспаева Елизавета Борисовна (Крымская астрофизическая обсерватория РАН) . .	78
Рыспаева Елизавета Борисовна (Крымская астрофизическая обсерватория РАН) . .	79
Савиных Евгений Станиславович (Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга)	80

Садовский Андрей Михайлович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)	81
Смирнова Александрина Андреевна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН))	81
Смирнова Ксения Ильдаровна (Уральский Федеральный Университет)	82
Соколов Алексей Дмитриевич (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)	82
Столяров Владислав Александрович (Специальная Астрофизическая Обсерватория РАН)	83
Струминский Алексей Борисович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН))	83
Танашкин Артём Сергеевич (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)	83
Темирова Аделина Всеволодовна (Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической обсерватории)	84
Темирова Аделина Всеволодовна (Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической обсерватории)	84
Тимиркеева Мария Андреевна (Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)	85
Тимиркеева Мария Андреевна (Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)	85
Уваров Юрий Александрович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН)	86
Ушакова Екатерина Алексеевна (Институт космических исследований Российской академии наук; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)	87
Фурсов Александр Николаевич (Физико-Технический институт им Иоффе)	87
Халилов Тимур Игоревич (Московский физико-технический институт)	88
Хасаева Татьяна Тимуровна (Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова)	88
Хизриев Тимур Расулович (ГАИШ МГУ)	89
Чернышов Дмитрий Олегович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им.П.Н. Лебедева РАН)	89
Шинкевич Егор Максимович (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)	90
Шишкина Екатерина Васильевна (Санкт-Петербургский государственный университет)	90
Шлейгер Леонид Александрович (Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН)	91
Шолухова Ольга Николаевна (ФГБУН Специальная астрофизическая обсерватория)	91
Штернин Пётр Сергеевич (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе)	92

Щекотихин Евгений Анатольевич (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)	92
---	----

Предисловие

Идея конференции уже после первого проведения в 2001 г. доказала свою востребованность и популярность. Конференции НЕА превратились в добрую ежегодную предновогоднюю традицию и заняли одно из центральных мест в научной жизни российской астрофизики. На них были представлены самые свежие результаты всех значимых космических экспериментов в области астрофизики и наблюдательной космологии, таких как ИНТЕГРАЛ, RXTE, Chandra, XMM-Newton, Swift, Spitzer, WMAP, Fermi, Конус, GALEX, Planck, Gaia, JWST, обсуждались новейшие результаты в области радиоастрономии, регистрации космических нейтрино и гравитационных волн, а также результаты, полученные на крупнейших российских оптических и радиотелескопах, таких как БТА, SAI25, РТТ-150, АЗТ-3ЗИК, РАТАН-600. В 2004 г. конференция впервые была проведена в формате международной в связи с 90-летием со дня рождения Я.Б. Зельдовича. После запуска обсерватории СРГ в 2019 г. особое внимание в программе наших конференций уделяется ее работе и свежим научным результатам, и эта традиция будет продолжена в 2025 г. Также традиционно широкая тематика будет охватывать все разделы астрофизики высоких энергий и наблюдательной космологии:

- Космология и физика ранней Вселенной
- Скопления галактик
- Галактики и их активные ядра, квазары, космический рентгеновский фон
- События приливного разрушения звезд и другие транзиенты
- Физика компактных объектов, теория акреции, рентгеновские двойные системы
- Взрывы и остатки вспышек сверхновых, космические гамма-всплески
- Космические лучи и нейтрино

Как всегда, в программе конференции достойное место займут новости с недавно начавших работу проектов: IXPE, Евклид, Einstein Probe, XRISM, обсерватории им. Веры Рубин, а также вопросы современного состояния дел по будущим российским и зарубежным астрофизическим проектам.

Конференция проводится отделом Астрофизики Высоких Энергий ИКИ РАН.

Программный комитет

д.ф.-м.н. А.А. Вихлиний (председатель), академик М.Р. Гильфанов, д.ф.-м.н. С.А. Гребенев, 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), Н.С. Лыскова (зам. председателя), Н.Л. Александрович, М.И. Бельведерский, С.А. Воскресенская, А.С. Горбан, Е.И. Захаров, А.А. Кирпиченкова, Р.А. Кривонос, А.А. Круглов, М.С. Лапина, А.А. Мухин, В.О. Незабудкин, С.А. Прохоренко, А.Ф. Рыбакова, А.Д. Самородова, Д.В. Сербиков, Е.А. Токарева

Редакторы

Г.С. Усков

Приглашенные доклады

Pooley David (Trinity University)

Constraints on the extragalactic stellar mass-to-light ratio using Chandra observations of quasar microlensing

Бикмаев Ильфан Фяритович (Казанский (Приволжский) федеральный университет)

Рентгеновские источники СРГ по наблюдениям на РТГ-150

В докладе будет сделан обзор результатов наблюдений на РТГ-150 по наземной поддержке СРГ в рамках программ оптических отождествлений различных типов источников – массивных скоплений галактик, галактик с активными ядрами и квазаров, тесных двойных звездных систем. Дополнительно будут представлены результаты исследования параметров звезд спектральных классов FGKM с корональной активностью в окрестностях Солнца в пределах 30 парсек с использованием данных РТГ-150 и открытых архивных данных проектов GAIA, TESS, LAMOST и др.

Быков Андрей Михайлович (ФТИ им. А.Ф.Иоффе)

Источники гамма излучения высоких энергий: микроквазары, пульсары в массивных двойных системах и скопления молодых звезд

Наземные черенковские телескопы LHAASO, H.E.S.S., HAWC и др. детектировали гамма излучение с энергиями до ПэВ от пяти галактических микроквазаров, включая W50/SS433, V4641 Sgr, Cyg X1, и нескольких двойных гамма-источников с молодыми пульсарами. Построены и модели таких источников, основанные на их многоволновых наблюдениях, в частности, на данных обсерваторий Chandra, IXPE и др. В докладе представлен обзор наблюдений галактических источников гамма-излучения высоких энергий и моделей ускорителей частиц до энергий диапазона ПэВ, формирующих наблюдаемое излучение.

Иванчик Александр Владимирович (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН)

Темная Вселенная. Современный статус космологических проблем.

Развитие наблюдательной и теоретической космологии привело к построению современной модели устройства Вселенной, параметры которой определены с беспрецедентной точностью для этого направления науки, что позволяет говорить об эре «прецизионной космологии». Сегодня мы способны восстановить картину эволюции Вселенной практически с первых секунд ее рождения до настоящего момента, т.е на всем протяжении 13.8 млрд. лет. Однако не смотря на грандиозные успехи космологии, в ней остаются все еще нерешенные, а также появляются и новые, интересные проблемы. К ним относятся проблемы темной материи и темной энергии, которые возникают как множество феноменологических, астрофизических явлений, проявляющихся лишь гравитационным образом, фундаментальная природа которых до сих пор остается не понятой. В представленном докладе обсуждается современный статус этих проблем и возможные пути их решения. (Работа поддержана грантом РНФ 23-12-00166).

Кочаровский Владимир Владиленович (Институт Прикладной Физики РАН)

Корреляции в динамическом спектре пульсара B0950+08 на всём периоде излучения и проблема разделения основных импульсов, шума магнитосферы и межзвездных мерцаний

На основе 12 трехминутных серий наблюдений с января по апрель 2025 года на радиотелескопе ПРАО АКЦ ФИАН впервые зафиксировано излучение на всем периоде пульсара B0950+08 в полосе 2,5 МГц для центральной частоты 111 МГц и проведен детальный корреляционный анализ его динамического спектра. С использованием оригинального метода подавления шума установлен ряд корреляционных особенностей и взаимных корреляций различных компонент импульса и излучения между ними. Полученные результаты доказывают однополюсное происхождение излучения (модель почти соосного ротора), свидетельствуют о негауссовой статистике шумовой составляющей динамического спектра, показывают наличие различных особенностей этого спектра в разных компонентах импульса для разных серий наблюдений и указывают на возможность получения независимой информации о статистике всех компонент импульса и шума магнитосферы на фоне межзвездных мерцаний.

Маркевич Максим Леонидович

Динамика газа в скоплениях галактик по первым результатам обсерватории XRISM

Рентгеновская обсерватория XRISM, запущенная на орбиту 2 года назад и включающая в качестве основного инструмента рентгеновский микрокалориметр, впервые дала возможность точно измерить скорости межгалактической плазмы в скоплениях галактик. К настоящему времени есть результаты для интересной выборки близких скоплений – как динамически активных, так и спокойных, включая как центральные холодные области, так и основной горячий газ. Мы представим краткий обзор и предварительные выводы из этих наблюдений.

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

Наблюдения тесных двойных систем на Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ

Дается обзор последних результатов спектроскопических и фотометрических наблюдений тесных двойных систем на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ МГУ: рентгеновских новых в спокойном состоянии и ультратесных двойных систем. Получены решения кривых блеска определено изменение орбитального периода нескольких ультратесных двойных систем из-за излучения гравитационных волн. Обсуждаются дальнейшие перспективы использования аппаратурой КГО в рамках этой программы.

Поутанен Юрий (Университет Турку)

Обзор новейших результатов IXPE по рентгеновской поляриметрии аккрецирующих черных дыр

В течение последних двух лет IXPE измерил рентгеновскую поляризацию аккрецирующих черных дыр в различных спектральных состояниях. В докладе я приведу обзор последних результатов.

Смирнов Олег Михайлович (Rhodes University & SARA Observatory)

Кометы, планеты и транзиенты: приключения MeerKAT на новых фронтах радиоастрономии

Сюняев Рашид Алиевич (Институт Космических Исследований РАН)

“Охота” на скопления галактик (рентген и SZ-эффект): настоящее и будущее, выход на космологию.

1. Скопления галактик; непризнанное в течении 40 лет открытие “темного” вещества Фритьцем Цвикки.
2. Два метода поиска скоплений галактик в ходе обзоров неба: рентген (СРГ/еРозита) и SZ эффект (спутник ПЛАНК, South Pole Telescope, Atacama Cosmology Telescope).
3. Напоминание: SZ-эффект (тени на фоне реликтового излучения), независимость его спектра и амплитуды от красного смещения, а “угловой размер” скопления (около одной минуты) почти постоянен между $0.5 < z < 2$.
4. Действительно ли можно ли открыть все скопления галактик во Вселенной?
5. Сколько новых скоплений (опубликованные каталоги) открыто за последние два года? 12 000 в рентгене, 16 000 благодаря SZ! Пока практически ничья! Но явная тенденция: Микроволновые наблюдения проигрывают в ближней Вселенной и побеждают на красных смещениях, превышающих $z > 0.5$!
6. Что нового дает kSZ (кинематический эффект) ?
7. Новая генерация микроволновых телескопов. Они сканируют небо в десяток раз быстрее Атакамского Космологического Телескопа, который уже разобран и разрушен. Начнут работать всерьез в начале 2026 года.
8. выход на космологию.

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

Уникальный микреквазар SS433 : новые результаты, новые проблемы

Уникальный микреквазар SS433 является массивной рентгеновской двойной системой на продвинутой стадии эволюции. Оптическая звезда переполняет свою полость Роша и истекает в очень сильном темпе на черную дыру, вокруг которой образовался наклоненный к плоскости орбиты сверхкритический аккреционный диск с релятивистскими коллимированными выбросами вещества – джетами. И диск, и джеты прецессируют с периодом 162.3 дня. Во внешних частях прецессирующих джетов формируются эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия, которые перемещаются периодически по спектру SS433 с громадной амплитудой в $\sim 1000 \text{ \AA}$ или, в шкале скоростей $\sim 50000 \text{ км/с}$. Именно этой уникальной особенностью объект SS433 привлек к себе внимание ученых в 1979 году. За многие годы исследований в оптическом, инфракрасном, радио, рентгеновском и гамма диапазонах было получено много важных результатов о физических процессах, протекающих в этом микреквазаре, однако ряд принципиальных вопросов о природе SS433 оставался

нерешенным. В ГАИШ МГУ выполнен 30-летний спектральный и фотометрический мониторинг SS433. С использованием всех опубликованных данных за 45 лет наблюдений удалось получить ряд важных результатов, касающихся природы этого уникального микроквазара. Открыто вековое эволюционное увеличение орбитального периода SS433 с темпом $(1.14 \pm 0.25) \times 10^{-7}$ секунда за секунду. На этой основе показано, что релятивистский объект в системе SS433 является черной дырой с массой более $8M_{\odot}$. Показано, что расстояние между компонентами SS433 возрастает со временем, что препятствует образованию общей оболочки в системе. Размеры полости Роша оптической звезды-донора вещества в среднем постоянны во времени, что обеспечивает устойчивый вторичный обмен масс в системе. Открыта эллиптичность орбиты SS433, что является сильной поддержкой модели плавающего аккреционного диска, отслеживающего прецессию оси вращения оптической звезды, которая наклонена к плоскости орбиты системы в силу несимметричного взрыва сверхновой, сопутствующего образованию релятивистского объекта. Параметры кинематической модели системы, кроме прецессионного периода, в среднем постоянны на протяжении 45 лет. Обнаружены сбои в фазах прецессионного периода, но в среднем прецессионный период держится постоянным на протяжении 45 лет. Микроквазар SS433 физически подобен многим ультраярким рентгеновским источникам (ULX), открытым в последние годы в других галактиках. Регистрация жесткого гамма-излучения до 200 ТэВ от туманности W50 свидетельствует о возможном ускорении до энергий \sim ПэВ адронов в области взаимодействия мощного экваториального ветра от SS433 с веществом туманности. В SS433 особенности режима сверхкритической аккреции на черную дыру проявляются наиболее ярко. Поэтому дальнейшие многоволновые исследования этого уникального микроквазара представляются весьма перспективными.

Устные доклады

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

Могут ли наблюдаться одиночные аккрецирующие нейтронные звезды?

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

Баринов Владислав Валерьевич (Институт ядерных исследований РАН)

Калибровка масс скоплений галактик по данным оптических и рентгеновских наблюдений

Доклад посвящен калибровке масс скоплений галактик. Прецизионная калибровка масс необходима для определения космологических параметров и тестирования расхождения между измерениями, полученными по данным в ранней и поздней Вселенной. Основная идея заключается в объединении трех независимых методов измерения масс скоплений: рентгеновские измерения, данные слабого линзирования и динамика галактик в скоплениях. На основе больших спектрскопических выборок галактик из DESI и SDSS в работе получено статистически надёжное соотношения «дисперсия скоростей - масса» и шкалированный профиль дисперсии скоростей в зависимости от проекционного радиуса для стэка из более

чем 150 скоплений с независимыми измерениями масс по данным Chandra и слабого линзирования.

Барков Максим Владимирович (ИНАСАН)

Magnetar-like flares behind the high-energy emission in LS 5039

LS~5039 is a system hosting a high-mass star and a compact object of unclear nature. There are hints that the system may host a strongly magnetized neutron star, a scenario that requires a mechanism to power its persistent and strong non-thermal emission. We investigate a mechanism in which the non-steady interaction structure of the stellar and the compact object winds can regularly excite neutron star magnetospheric activity, which can release extra energy and fuel the source non-thermal emission. The neutron star wind shocked by the stellar wind can recurrently touch the neutron star magnetosphere, triggering magnetic instabilities whose growth can release extra energy into the neutron star wind in a cyclic manner. To illustrate and study the impact of these cycles on the two-wind interaction structure on different scales, we performed relativistic hydrodynamics simulations in two and three dimensions with periods of an enhanced power in the neutron star wind along the orbit. We also used analytical tools to characterize processes near the neutron star relevant for the non-thermal emission. As the neutron star wind termination shock touches the magnetosphere energy dissipation occurs, but the whole shocked two-wind structure is eventually driven away stopping the extra energy injection. However, due to the corresponding drop in the neutron star wind ram pressure, the termination shock propagates back towards the magnetosphere, resuming the process. These cycles of activity excite strong waves in the shocked flows, intensifying their mixing and the disruption of their spiral-like structure produced by orbital motion. Further downstream, the shocked winds can become a quasi-stable, relatively smooth flow. The recurrent interaction between the neutron star magnetosphere and a shocked wind can fuel a relativistic outflow powerful enough to explain the non-thermal emission of LS~5039. A magnetospheric multipolar magnetic field much stronger than the dipolar one may provide the required energetics, and help to explain the lack of evidence of a recent supernova remnant.

Бельведерский Михаил Игоревич (Институт космических исследований РАН)

Источники с экстремально жестким спектром в обзоре области Дыры Локмана СРГ/еРОЗИТА: исследование спектра АЯГ с релятивистской уширенной линией Fe K α

Среди источников, зарегистрированных телескопом СРГ/еРОЗИТА в ходе глубокого обзора области Дыры Локмана, около 5% (291 объект) обладают жестким спектром, нехарактерным для обычных активных ядер галактик (АЯГ). «Плоский» спектр этих источников (фотонный индекс не превышает 1.3 для степенного закона с галактическим поглощением) нельзя объяснить процессами, характерными для типичных АЯГ, в первую очередь — обратным

комптоновским рассеянием фотонов. Однако такие спектры совместимы с гипотезой об отраженном излучении, обычно наблюдающемся от сильно поглощенных АЯГ вплоть до оптически толстых по томсоновскому рассеянию, Compton-Thick AGN (Александр и др. 2011). Мы подробно исследовали спектры двух источников из этой выборки, для которых обсерватория XMM-Newton выполнила наблюдения с временем экспозиции ~ 1 Мсек, и в спектре одного из них обнаружили релятивистски уширенную линию Fe $\text{K}\alpha$. Красное смещение квазара SRGe J105149.5+573244 составляет $z = 0.99$. Этот источник является редким примером квазара, в спектре которого доминирует отраженная компонента и одновременно с этим наблюдается релятивистски уширенная линия железа.

Бирюков Антон Владимирович (Tel Aviv University)

Эволюция вращения деформированной замагниченной нейтронной звезды

Приводится теория долговременной вращательной эволюции деформированной (трёхосной) одиночной нейтронной звезды в приближении абсолютно твёрдого тела. При этом учитывается вклад всех трёх компонент пульсарного тормозящего момента, обеспечивающих: а) торможение, б) эволюцию магнитного угла между осью вращения и магнитным моментом и в) “аномальную” (радиативную) прецессию. Показывается, что долговременная эволюция магнитного угла таких звёзд существенно отличается от той, что предсказывается в сферическом случае. Так, магнитный угол может быть подвержен осцилляциям с периодами в тысячи и десятки тысяч лет. В зависимости от начальных условий, в конце эволюции он либо принимает ненулевое фиксированное значение, либо меняется с постоянной амплитудой. Кроме того, распад магнитного поля эффективно способствует увеличению магнитного угла к 90 градусам.

Представленные результаты позволяют количественно объяснить статистические свойства показателей торможения старых нейтронных звёзд, а также предсказывают распределение по магнитным углам пульсаров с избытком почти ортогональных ротаторов.

В завершении обсуждается влияние сверхтекучей компоненты в коре нейтронной звезды на долговременную прецессию и возможность сохранения долговременной прецессии при нарушении состояния абсолютного пининга.

Васильев Евгений Олегович (Астрокосмический центр ФИАН)

Разрушение межзвездной пыли ударными волнами от сверхновых

Основным процессом разрушения межзвездной пыли является ее испарение в горячем газе за фронтами сильных ударных волн от сверхновых. Известно, что расчет темпа разрушения пыли в межзвездной среде Галактики опирается на простую оценку массы разрушенной пыли в остатке изолированной сверхновой, которая зависит только от энергии взрыва.

Хотя разрушение пыли, по-видимому, определяется тепловой эволюцией газа в остатке. По результатам численных моделей эволюции остатка изолированной сверхновой показано, что масса разрушенной пыли существенно зависит от свойств окружающей межзвездной среды. В рамках трехмерных моделей динамики сверхболочек, образованных множественными вспышками сверхновых в звездных скоплениях, получены значения массы разрушенной межзвездной пыли в зависимости от скорости звездообразования, то есть от массы скопления. Найдено, что эффективность разрушения межзвездной пыли сверхболочками, образованными множественными вспышками сверхновых в звездных скоплениях средней и высокой массы, в 100 и более раз ниже, чем за фронтами ударных волн от ансамбля изолированных сверхновых. Показано, что при эволюции сверхболочек в неоднородной среде эффективность возрастает, но все равно остается в несколько десятков раз ниже, чем для ансамбля изолированных сверхновых. Обсуждаются баланс пыли в галактиках с учетом зависимости от свойств среды и характеристик звездных скоплений, эмиссионные свойства газа и пыли для течений, образованных множественными вспышками сверхновых.

Вихлинин Алексей Александрович (Институт Космических Исследований РАН)

Наблюдения нетеплового жесткого рентгеновского излучения от скопления галактик в созвездии Змееносца телескопами ART-XC, Chandra, NuSTAR и INTEGRAL

В докладе будут представлены результаты совместного анализа наблюдений скопления галактик в созвездии Змееносца рентгеновскими телескопами АРТ-ХС, Чандра, НуСТАР и ИНТЕГРАЛ. С помощью телескопов АРТ-ХС, Чандра и НуСТАР была точно промерена температурная структура межгалактического газа скопления и спектр его теплового излучения вплоть до нижней границы диапазона чувствительности спутника ИНТЕГРАЛ. Применение данных ИНТЕГРАЛ позволяет впервые надежно выделить нетепловую компоненту рентгеновского излучения и приблизительно локализовать ее источник в теле скопления. Комбинаций рентгеновских измерений с данными радио-наблюдений позволяет глубже понять историю ускорения релятивистских частиц и получить ограничения на магнитное поле в теле скопления галактик.

Владимирова Кристина Вячеславовна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

Взаимодействия среди карликовых галактик Местного Объема

Взаимодействия галактик, проявляющиеся на всех масштабах масс, играют ключевую роль в эволюции галактик. В данной работе представлен результат визуального поиска и каталогизации галактик со следами взаимодействия в Местном Объеме Вселенной (до

10 Мпк), основанный на данных обзоров DESI Legacy Surveys. Особое внимание уделяется карликовым галактикам, которые являются чувствительными индикаторами галактических взаимодействий. Представлены результаты оценки частоты встречаемости таких структур. Около 20% галактик демонстрируют признаки взаимодействия, а 2-3% имеют четко выраженные приливные оболочки.

Воскресенская Светлана Алексеевна (Национальный исследовательский институт “Высшая школа экономики”, Институт космических исследований РАН)

Измерение масс и красных смещений каталога скоплений галактик ComPACT

Методы машинного обучения все чаще применяются к астрономическим обзорам, предоставляя мощные инструменты для обнаружения и изучения скоплений галактик. Мы анализируем каталог скоплений галактик ComPACT, созданный с помощью сверточной нейронной сети на основе общедоступных объединённых карт ACT+Planck. Из 2 962 кандидатов, отобранных по эффекту Сюняева–Зельдовича (СЗ), около 60% подтверждены с помощью оценок фотометрических красных смещений, полученных из данных DESI LIS и литературных источников. Красные смещения охватывают диапазон $0.007 < z < 1.7$, включая около 110 новых измерений. Массы рассчитаны для 55% выборки, используя масштабные соотношения по эффекту СЗ, применённые к картам у-параметра ACT+Planck и Planck; массы лежат в диапазоне $M_{500c} = (0.25–13.1) \times 10^{14} M_{\odot}$, включая 116 новых измерений. В каталоге выделено четыре новых массивных ($M(z = 0) > 2.5 \times 10^{15} M_{\odot}$) скопления на $z > 1$, что увеличивает известную популяцию таких систем примерно на 10%.

Гильфанов Марат Равильевич (Институт Космических Исследований РАН)

Результаты рентгеновского обзора неба СРГ/еРОЗИТА на восточной Галактической полусфере.

По итогам более двух лет сканирования неба телескоп еРОЗИТА открыл на всем небе более трех миллионов рентгеновских источников, из которых примерно 20% - звезды с активными коронами в нашей Галактике, а большинство остальных - галактики с активными ядрами, квазары и скопления галактик. еРОЗИТА задетектировала более 1e3 источников, изменивших свою светимость более чем на порядок, среди которых несколько десятков событий приливного разрушения. Два события приливного разрушения вероятно ассоциированы с нейтрино IceCube. Выборки квазаров и скоплений галактик еРОЗИТА позволяют исследовать крупномасштабную структуру Вселенной на $z \sim 1$ и измерить ее

космологические параметры. В докладе обсуждаются некоторые результаты еРОЗИТы, полученные в 2025 г.

Гребенев Сергей Андреевич (Институт космических исследований РАН)

Широкополосные спектры излучения аккрецирующих черных дыр

Представлены результаты расчетов широкополосных спектров излучения, формирующихся в слое высокотемпературной ($kT_{\text{e}} \sim 50$ кэВ) полупрозрачной (с томсоновской толщиной $\tau \sim 1-3$) плазмы с плотностью, характерной для окружающих черную дыру областей аккреционного диска. Учитывались тормозные процессы рождения (и поглощения) фотонов и их последующая комптонизация. Показано, что собственного излучения такой плазмы достаточно для объяснения рентгеновских спектров, наблюдаемых в “низком состоянии” аккрецирующих черных дыр (квазистационарных источников, типа Cyg X-1, и рентгеновских новых). Никаких обычно предполагаемых дополнительных мягких фотонов (с энергиями < 1 кэВ) для поддержания комптонизации не требуется, более того их присутствие немедленно привело бы к сильным искажениям спектра по сравнению с наблюдаемым. Образующийся степенной спектр рентгеновского излучения с фотонным индексом $\alpha \sim 1.5-1.7$, экспоненциально обрывающийся на ~ 100 кэВ, в области жестких энергий заметно превосходит спектр тормозного излучения, ожидаемый от подобного слоя плазмы в пределе малой толщины. Степенной спектр простирается в неизменном виде вниз по оси энергий до 1-2 эВ, объясняя оптическое и инфракрасное (OIR) излучение системы (т.е. в этом состоянии оно формируется непосредственно в горячей плазме центральной области диска!).

Для объяснения более крутых $\alpha \sim 2.1-2.5$ спектров, наблюдаемых в “высоком состоянии” черных дыр, действительно необходимо попадание в горячее облако большого числа мягких рентгеновских и UV фотонов, дополнительных к фотонам собственного излучения плазмы. Такие фотоны могли бы испускаться поверхностью внешнего холодного аккреционного диска, внутренний край которого во время “высокого состояния” максимально близко приближается к черной дыре.

В “низком (жестком) состоянии” край холодного диска заметно отступает от черной дыры. Хотя горячая область имеет небольшую оптическую толщину по томсоновскому рассеянию, в оптическом и инфракрасном диапазонах реальная толщина по поглощению быстро нарастает за счет тормозных процессов и спектр излучения ниже ~ 1 эВ становится рэлей-джинсовским. В этом состоянии OIR излучение центральной горячей области диска заметно превышает по потоку и светимости излучение его внешних холодных областей, которые обычно считаются ответственными за наблюдаемые проявления аккрецирующих черных дыр в OIR диапазоне.

Деришев Евгений Владимирович (Институт прикладной физики РАН)

О механизме излучения блазаров

Модель равновесной релятивистской ударной волны была предложена для объяснения спектров послесвечения гамма-всплесков и их эволюции во времени. В рамках этой модели, наблюдаемое излучение имеет две компоненты, синхротронную и комптоновскую. Последняя представляет собой результат обратного комптоновского рассеяния на релятивистских электронах их собственного синхротронного излучения. При этом структура фронта ударной волны регулируется рождением электрон-позитронных пар при взаимодействии комптоновских фотонов с синхротронными. В режиме насыщения средняя энергия излучающих электронов подстраивается под такое значение, при котором доля поглощенного с рождением пар излучения достигает примерно 0.1, что соответствует почти полному исчезновению вязкого скачка. Предсказания модели хорошо согласуются с имеющимися наблюдениями широкополосных спектров послесвечения гамма-всплесков.

Равновесная конфигурация сдвигового течения в джетах блазаров также может поддерживаться за счет рождения электрон-позитронных пар. Аналитическое решение этой задачи пока не известно, однако можно осуществить перебор спектров по всему пространству параметров модели синхротронного излучения с самокомптонизацией. Оказывается, что если отобрать только те спектры, которые отвечают доле поглощенного с рождением пар излучения, равной 0.1 (как в случае ударных волн), то наблюдается их группировка. Две хорошо различающиеся по своим параметрам группы спектров могут быть сопоставлены наблюдаемым спектрам для Гэв-ных и Тэв-ных блазаров. Фундаментальным различием между группами является способ, которым образуются жесткие фотоны, рождающие электрон-позитронные пары. Для Тэв-ных блазаров эти фотоны суть результат комптонизации синхротронного излучения, тогда как для Гэв-ных блазаров они соответствуют второй комптонизации, то есть рождаются в результате рассеяния тех фотонов, которые уже были однажды комптонизированы.

Заборов Дмитрий Николаевич (Институт Ядерных Исследований Российской Академии Наук)

Результаты с нейтринного телескопа Baikal-GVD

Байкальский нейтринный телескоп Baikal-GVD представляет собой водный черенковский детектор объемом около 1 км³, предназначенный для исследования потоков нейтрино космического происхождения в диапазоне энергий от 100 ГэВ до 100 ПэВ. Готовность установки на настоящий момент составляет 70% (0,7 км³). Набор данных ведется параллельно с расширением установки. В докладе представлен обзор состояния экспериментальной установки и основных полученных результатов, включая измерение характеристик

диффузного астрофизического потока нейтрино, а также результаты поиска диффузного потока нейтрино от нашей галактики и нейтрино от других источников.

Захаров Евгений Игоревич (Институт космических исследований Российской академии наук, Национальный исследовательский университет “Высшая школа экономики”)

Поиск сигнала от темной материи с помощью рентгеновских телескопов SRG/ART-XC и NuSTAR

В докладе представлены результаты поисков сигнала от распада и аннигиляций тёмной материи с массами в диапазоне от нескольких до десятков кэВ по данным рентгеновских телескопов SRG/ART-XC и NuSTAR. Радиационные распады стерильных нейтрино в гало Млечного Пути должны сопровождаться узкими линиями в рентгеновском спектре. Анализ двухлетнего обзора всего неба, выполненного ART-XC, не выявил статистически значимых спектральных особенностей и позволил исключить широкий диапазон углов смешивания стерильных и активных нейтрино при массах 12 - 40 кэВ. Независимый анализ 11 лет наблюдений NuSTAR в режиме рассеянного излучения установил ещё более жёсткие ограничения в диапазоне 3 - 20 кэВ, вплотную подходящие к нижней границе теоретически допустимых моделей, в которых стерильные нейтрино составляют всю тёмную материю.

Дополнительно, по результатам четырёх полных обзоров SRG/ART-XC получены новые верхние пределы на сечение аннигиляции $\langle\sigma v\rangle$ частиц тёмной материи с массами 4 - 15 кэВ, основанные на наблюдениях гало Млечного Пути и 34 карликовых сфериальных галактик Местной Группы. Анализ данных NuSTAR в том же энергетическом диапазоне подтвердил и дополнил эти результаты, установив пределы $\langle\sigma v\rangle < 10^{-34} \text{ см}^3/\text{с}$ для различных моделей гало. Совокупно эти наблюдения обеспечивают самые строгие на сегодняшний день рентгеновские ограничения на распадающуюся и аннигилирующую тёмную материю кэВ-го диапазона масс.

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

Сверхмассивная двойная черная дыра в несферическом звездном скоплении

Образование тесных сверхмассивных двойных черных дыр (СМДЧД) является естественным следствием процесса слияния галактик и последующей орбитальной эволюции СМДЧД к центру образовавшейся галактики за счет динамического трения. Однако, когда расстояние между двумя ЧД становится достаточно малым, динамической трение оказывается неэффективным. С другой стороны, как правило, эти расстояния еще слишком велики, для

того, чтобы система могла слиться за хаббловское время за счет излучения гравитационных волн (ГВ). Возникает проблема формирования источников гравитационных волн (ГВ) из-за слияния СМДЧД, которая получила условное название - "проблема центрального парсека". На протяжении нескольких десятков лет было предложено несколько возможных вариантов решения этой проблемы, например, связанных с влиянием газа на динамическую эволюцию СМДЧД или увеличением числа эффективно взаимодействующих с СМДЧД звезд за счет возможной несферичности центрального звездного скопления (ЦЗС). В этом докладе мы обсудим новое решение, также определяемое несферичностью ЦЗС, которая может влиять не только на орбиты звезд, но и на орбиту СМДЧД. Будет рассмотрена модельная задача, в которой СМДЧД с достаточно малым отношением масс является гравитационно-связанной и двигается по приблизительно кеплеровской орбите, которая медленно эволюционирует за счет влияния внешнего возмущающего гравитационного потенциала ЦЗС. ЦЗС предполагается существенно несферическим на масштабах, превышающих размер орбиты. Также будет учтена Эйнштейновская прецессия перигелия орбиты. Важным для нашего рассмотрения является то обстоятельство, что возмущающий потенциал общего типа в квадрупольном приближении может быть разложен по сферическим гармоникам с азимутальным числом $m=0$, $|2|$ в системе координат, связанной с некоторой выделенной плоскостью. Существование гармоники с $m=0$ приводит к стандартной вековой эволюции орбиты типа фон Цейпеля-Лидова-Козаи (ЦЛК). Мы рассмотрим, в основном аналитическими методами, вековую эволюцию, связанную с присутствием гармоник с $|m|=2$, которая может привести к существенно большему, по сравнению с ЦЛК, изменению эксцентриситета. Мы построим асимптотические аналитические решения вековых уравнений, формально предполагая, что в некоторый момент времени малы орбитальный эксцентриситет и наклонение орбиты по отношению к выделенной плоскости, с учетом прецессии Эйнштейна. Мы также приведем аргументы, основанные на численном анализе, которые свидетельствуют о том, что наша теория качественно справедлива и для орбит с достаточно большим наклонением. Будет показано, для типичных параметров ЦЗС, что рассмотренная вековая эволюция может привести к формированию очень вытянутых орбит, с периастром порядка нескольких гравитационных радиусов более массивной черной дыры, за время меньше или порядка сотни периодов эффекта ЦЛК, что соответствует нескольким миллиардам лет.

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

Анизотропия пространственного распределения скоплений галактик.

В докладе обсуждаются результаты продолжение работ [1] и [2], в которых проводился статистический анализ особенностей пространственного распределения галактик и скоплений галактик, соответственно, в интервале космологических красных смещений

$0.1 \leq z \leq 0.47$. В указанных работах на основе спектроскопических и фотометрических измерений z в северном полушарии (каталоги галактик SDSS III и скоплений галактик [3]) и фотометрических z в южном полушарии (каталог скоплений [4]) были обнаружены выделенные направления в сопутствующем пространстве, вдоль которых одномерные распределения координат галактик и скоплений галактик содержат значимые, $\gtrsim (4 - 5) \sigma$, квазипериодические компоненты с характерными масштабами $\sim 100 - 140$ Мпк / h , где h – постоянная Хаббла в единицах 100 км / сек / Мпк. Было показано, что выделенное направление (конус направлений) в южном полушарии (экваториальные координаты: $\alpha \sim 346^\circ$, $\delta \sim -29^\circ$) является приближенным продолжением выделенного направления в северном ($\alpha \sim 170^\circ$, $\delta \sim 29^\circ$). В данной работе с использованием метода главных компонент проведена оценка значимости анизотропии распределения космологически удаленных скоплений, образующих крупномасштабные квазипериодические структуры. Значимость анизотропии составляет $\sim (3 - 4)\sigma$. Проведено также трехмерное моделирование предполагаемой анизотропной квазипериодической аномалии и показано, что несмотря на близость полученных масштабов и характерных масштабов БАО (~ 110 Мпк / h), эти два явления с большой вероятностью имеют разную природу. Аналогичный вывод относительно масштабов ($\sim 120 - 140$ Мпк / h) сделан в обзоре [5], на основе рассмотрения квазирегулярных структур в распределении сверхскоплений.

[1] Ryabinkov A.I., Kaminker A.D. 2024, MNRAS 527, 1813 [2] Рябинков А.И., Каминкер А.Д. 2024, ПАЖ 50(12), 762 [3] Wen Z.L., Han J.L., Liu F.S. 2012, ApJSS 199, 34 [4] Wen Z.L., Han J.L. 2022, MNRAS 513, 3945 [5] Einasto M. 2025, Universe 11(6), 167

Кислицын Павел Антонович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

Новые оценки распространенности первичного дейтерия

Первичный дейтерий – ключ к Новой физике. Как самый хрупкий продукт первичного нуклеосинтеза, он критически важен для проверки теорий и гипотез за пределами Стандартной модели. Однако за последние 3 десятка лет исследований получено лишь 17 оценок его распространенности, что ограничивает статистическую значимость выводов. В результате систематического анализа спектров квазаров высокого разрешения из каталогов SQUAD и KODIAQ были отобраны новые кандидаты для оценки распространенности первичного дейтерия. В настоящий момент производится их анализ. В докладе будут представлены первые результаты обработки этих данных, включая как минимум 5 новых оценок распространенности первичного дейтерия.

Корешкова Екатерина (Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова)

Распад и аннигиляция галактической тёмной материи: определение D-, Js-, Jp- и Jd-факторов с использованием профилей тёмной материи, полученных в соответствии с астрофизическими наблюдениями

Профили плотности и распределения скоростей тёмной материи для ряда карликовых сфероидальных галактик были недавно получены путём многопараметрического фита к астрофизическим наблюдениям с помощью кода GravSphere. Мы используем эти результаты для расчёта геометрических факторов потока космических лучей, ожидаемых от распада (D-фактор) и аннигиляции (Js-, Jp- и Jd-факторы для s-, p- и d-волновых процессов) частиц тёмной материи в галактиках. Общей новизной является учёт возможной анизотропии скоростей частиц тёмной материи. На основе этого анализа мы представляем эмпирические масштабные соотношения, связывающие факторы потока с типичными наблюдаемыми величинами: расстоянием до галактики, её полусветовым радиусом и дисперсией звёздных скоростей в проекции на луч зрения. Эти зависимости могут быть использованы для любых галактик. Мы также уточняем оценки, полученные в литературе: сдвиги в центральных значениях остаются в пределах 1-2 стандартных отклонений.

Корочкин Александр Алексеевич (Институт ядерных исследований Российской академии наук)

Новая модель регулярного магнитного поля Галактики

В докладе будет представлена новая модель регулярного магнитного поля Галактики за пределами тонкого диска. Модель построена на основе каталога мер Фарадеевского вращения внегалактических источников и данных поляризованного синхротронного излучения WMAP/Planck. Основными компонентами модели являются спиральные рукава, торoidalное и X-образное поле в гало, а также впервые учтен вклад Локального пузыря. Показано, что Локальный пузырь может давать существенный (>50%) вклад в интенсивность поляризованного синхротронного излучения на больших галактических широтах. Также впервые показано, что область Фан может быть естественным образом учтена в модели крупномасштабного магнитного поля Галактики. Доклад основан на работе arXiv:2407.02148.

Котов Сергей Сергеевич (Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук)

Оптическая 3D-спектроскопия рентгеновских галактик eROSITA

Из данных открытых обзоров интегрально-полевой спектроскопии MaNGA и CALIFA мы отобрали галактики, отождествляемые с рентгеновскими источниками обзора eROSITA. С целью оценки условий возбуждения эмиссионных линий в разных областях галактик построены диагностические BPT-диаграммы для центральных областей и для периферии. Мы обсуждаем, как параметры ионизованного газа, излучающего в оптических линиях, коррелируют с величиной рентгеновского потока и самим фактом наличия рентгеновских источников в галактиках.

Кривонос Роман Александрович (Институт Космических Исследований РАН)

Поиск пульсарного гало Геминги в рентгеновских лучах

Пульсарное гало (также называемое «ТэВ-ное гало») – это новый класс источников гамма-излучения в Галактике, которые проявляются в виде протяжённого гамма-излучения вокруг пульсаров среднего возраста. Такое излучение было обнаружено вокруг пульсара Геминга, пульсара Моногема и PSR J0622+3749 с помощью LHAASO. Существует общепринятая точка зрения, что тераэлектронвольтное излучение возникает в результате обратного комптоновского рассеяния убегающих электронов/позитронов из туманности пульсарного ветра на фотонах межзвёздного поля излучения, однако механизм переноса частиц в гало до сих пор вызывает споры. Высокоэнергетичные заряженные частицы должны проявлять себя в виде синхротронного рентгеновского излучения в магнитном поле Галактики, однако на данный момент такого подтверждения не было, что вызывает трудности в теоретическом объяснении этого явления. Практически все ныне работающие рентгеновские обсерватории включились в гонку поиска пульсарных гало, однако низкая ожидаемая поверхностная яркость этих объектов, представляет большую проблему для наблюдений. В докладе, я расскажу про некоторые попытки детектирования пульсарных гало с помощью данных космических обсерваторий НуСТАР, XMM-Newton, SRG/ART-XC.

Круглов Алексей Антонович (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)

Профиль рентгеновской поверхностной яркости усредненного изображения скопления галактик на основе симуляций Magneticum

Сравнение свойств внешних областей скоплений с теоретическими предсказаниями – это важный тест модели формирования крупномасштабной структуры Вселенной. Такой анализ осложняется тем, что плотность и температура горячего газа и, как следствие, интенсивность излучения, на периферии скопления гораздо ниже, чем в его центре. Кроме того, индивидуальные особенности отдельных скоплений не позволяют обобщать

характеристики отдельно взятого объекта на всю популяцию. Один из вариантов решения этой проблемы - объединение и усреднение данных по многим скоплениям, что позволяет расширить радиальный диапазон детектирования рентгеновского излучения за счёт уменьшения статистических ошибок. Это особенно важно, если учесть, что радиальные профили плотности газа и температуры в скоплениях галактик после соответствующего масштабирования, например, по радиусу или массе, демонстрируют приблизительно универсальное (самоподобное) поведение. С запуском телескопа eROSITA на борту обсерватории Спектр-РГ и проведением обзора всего неба стало возможным «проследить» индивидуальное скопление до столь угодно большого радиуса. В этой работе радиальный профиль скоплений (вплоть до радиуса R200m) из обзора всего неба SRG/eROSITA сравнивается с смоделированным профилем среднего рентгеновского изображения 84 массивных скоплений галактик из космологических симуляций Magneticum. Показано, что результаты хорошо согласуются вплоть до радиуса R200m, но также присутствуют отклонения в центральной области. Мы обсуждаем, что такое сравнение позволяет узнать об эффективности обратной связи растущих сверх массивных черных дыр в центральных галактиках, металличности межгалактического газа вблизи виртуального радиуса и перспективах дальнейших измерений спадающего профиля поверхностной яркости.

Лисаков Михаил Михайлович (Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso)

Прецессия аккреционного диска в квазаре NRAO 530

Джеты активных галактических ядер (АГЯ) могут со временем претерпевать изменения направления, часто связанные с физическими процессами, происходящими вблизи центральной сверх массивной чёрной дыры. В настоящей работе мы анализируем джет квазара NRAO 530 на парсековых масштабах, используя 170 наблюдений методом радиоинтерферометрии со сверхдлинной базой (РСДБ) на частоте 43 ГГц за период с 2007 по 2025 год. В каждом наблюдении мы определили видимый позиционный угол внутренней части джета и обнаружили квазисинусоидальную модуляцию с характерным периодом, составляющим приблизительно 6.8 года. Этот период совпадает с ранее зарегистрированными временными масштабами изменчивости потока излучения, что указывает на возможное общее происхождение этих явлений, вероятно, обусловленное изменяющимся эффектом Доплера вследствие прецессии джета. Среди механизмов, способных объяснить данное поведение, наиболее правдоподобным представляется прецессия Лензе–Тирринга наклонённого аккреционного диска. Сочетая наблюдаемый период прецессии с ограничениями, полученными на основе измеренной светимости, мы сузили допустимые диапазоны параметров системы чёрной дыры и аккреционного диска, включая величину спина чёрной дыры и размер прецессирующего диска.

Лукиных Гавриил Геннадьевич (Московский физико-технический институт)

Поиск следов экранировки космических лучей молекулярным газом в диффузном излучении Галактики

Экранирование космических лучей турбулентностью в молекулярном газе за счет возбуждаемой ими потоковой неустойчивостью – эффект, который исследуется с середины XX века. Оценки показывают, что для достаточно массивных молекулярных облаков, спектр космических лучей с энергией ниже 1 – 10 ГэВ в молекулярном газе должен быть меньше по амплитуде, чем их спектр в межзвездной среде. Соответствующее понижение интенсивности также должно наблюдаться и в гамма-излучении, порожденном космическими лучами в молекулярном газе. Однако наблюдения индивидуальных облаков осложнены плохим угловым разрешением гамма-телескопа Fermi LAT, что особенно сильно проявляется на низких энергиях, где эффект должен быть максимальным. Альтернативно, эффект экранировки может быть также обнаружен в суммарном гамма-излучении всего молекулярного газа, которое является одной из компонент диффузного излучения Галактики. Мы исследуем возможность обнаружения данного эффекта в полном излучении центральной части Галактики. Для этого мы оцениваем суммарный спектр молекулярных облаков, с учетом эффекта экранировки и сравниваем его с наблюдаемым диффузным спектром Галактики. Для расчетов учитывается градиент плотности космических лучей в Галактике, а также изменения величины магнитного поля в галактическом диске.

Лутовинов Александр Анатольевич (Институт космических исследований РАН)

Телескоп СРТ/ART-XC: текущий статус и перспективы

Лыскова Наталья Сергеевна (Институт космических исследований РАН)

Скопление галактик в созвездии Персей. Взгляд СРТ/eROSITA

Скопление галактик в созвездии Персей (Abell 426) – это близкое массивное скопление, угловой размер которого на небе составляет несколько градусов. Мы объединили данные SRG/eROSITA, XMM-Newton и Chandra, чтобы получить полное покрытие этого скопления в рентгеновском диапазоне вплоть до вироального радиуса. Центральная часть Персея представляет собой классическое «холодное ядро» с очевидными признаками влияния активного галактического ядра на распределение газа, тогда как периферия скопления является примером системы, возмущённой слиянием скоплений или групп

галактик. Рентгеновские данные указывают, что радиогалактика IC310 является главной галактикой подсистемы, которая сливается с Персеем на протяжении последних ~4 млрд лет. Статистически более вероятно обнаружить сливающуюся группу вблизи апоцентра её орбиты, поэтому неудивительно, что IC310 в Персее имеет относительно малую скорость по отношению к основному скоплению.

Персей также содержит знаменитую радиогалактику NGC1265 (ее лучевая скорость почти вдвое превышает вироальную скорость основного скопления). Обе галактики — IC310 и NGC1265 — обладают заметными радиохвостами с резкими изгибами, напоминающими «змею, кусающую собственный хвост». Мы предполагаем, что такие необычные формы являются естественным следствием их (разных) орбит в скоплении Персей. Для IC310 определяющую роль может играть её положение вблизи апоцентра и смена знака радиальной скорости (разворот в радиальном движении). Для NGC1265 важными могут быть ее движение почти вдоль луча зрения и возмущения “хвоста” движениями газа в системе, переживающей слияние.

Макаров Дмитрий Игоревич (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)

Насколько холоден хаббловский поток вокруг Местной Группы?

Мы проанализировали поле скоростей карликовых галактик в окрестностях Местной Группы вне вироальных зон Млечного Пути и Туманности Андромеды. Натекание галактик характеризуется исключительно малой дисперсией лучевых скоростей порядка 15 км/с. Столь холодный хаббловский поток наблюдается на расстояниях от 400 до 1400 кпк, фактически внутри радиуса нулевой скорости, разделяющей коллапсирующую область вокруг Местной Группы от космологического расширения Вселенной. Космологические симуляции предсказывают существенно больший разброс скоростей в окрестностях гало подобных Млечному Мути и аналогов Местной Группы. Вероятность обнаружения столь холодного потока составляет порядка 1%

Мещеряков Александр Валерьевич (Институт космических исследований РАН)

LEGQO: первые результаты оптической спектроскопии наиболее светимых рентгеновских квазаров

В докладе представлены первые результаты оптической спектроскопии наиболее светимых рентгеновских квазаров во Вселенной найденных в рамках обзора неба обсерватории СРГ/еРОЗИТА в широком диапазоне красных смещений ($0 < z < 5$).

В рамках работы отобраны точечные рентгеновские источники из 2-х летнего обзора СРГ/еРОЗИТА (на восточной галактической полусфере $0 < l < 180^\circ$) в области покрытия DESI Legacy Imaging Surveys с красными смещениями из публичных спектроскопических обзоров (DESI, SDSS, LAMOST, HELP), а также, с фотометрическими красными смещениями (photo-z) полученными системой SRGz. Полученная выборка LEGQO (акроним - Luminous Erosita Galaxies and Quastellar Objects) является наиболее полной и точной, на сегодняшний день, выборкой объектов на ярком конце рентгеновской функции светимости (XLF) активных ядер галактик (АЯГ) с порогом по светимости $L_{X,2-10kev} > 10L_\star$ (где L_\star – характерная светимость излома XLF) на восточном внегалактическом небе.

В докладе описываются результаты спектроскопических наблюдений объектов LEGQO, выполненных в 2025 году на российских телескопах - 6-м БТА, 1-6-м АЗТ-33ИК и 1.5-м РТТ150: обсуждаются особенности оптических спектров наиболее светимых рентгеновских АЯГ, полнота спектроскопической выборки LEGQO, а также, точность определения photo-z для объектов рекордной рентгеновской светимости.

Минаев Павел (Институт Космических Исследований РАН)

GRB 241105A – самый далекий короткий гамма-всплеск?

Доклад посвящен детальному исследованию активной фазы гамма-всплеска GRB 241105A в гамма-диапазоне по данным экспериментов GBM/Fermi, SPI-ACS/INTEGRAL, Konus-Wind и BAT/Swift, а также его послесвечение в рентгеновском и оптическом диапазонах по данным различных обсерваторий. Кривая блеска активной фазы имеет типичную для коротких всплесков с продленным излучением структуру. Спектральный анализ показал, что главный эпизод всплеска имеет жесткий энергетический спектр, типичный для коротких всплесков. Кроме того, на диаграммах Ep,i – $Eiso$ и $T90,i$ – ЕН главный эпизод всплеска GRB 241105A занимает характерное для коротких гамма-всплесков положение. При этом, рентгеновское и оптическое послесвечение GRB 241105A является наиболее ярким среди коротких гамма-всплесков (с измеренным красным смещением), что может указывать на принадлежность всплеска к событиям, вызванным коллапсом ядер массивных звёзд (гамма-всплескам типа II). Если же гипотеза о связи GRB 241105A с классом коротких гамма-всплесков, вызванных слияниями компактных объектов, верна, он будет самым далеким из коротких всплесков (красное смещение GRB 241105A $z = 2.681$).

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

Баллистическое и навигационное обеспечение миссии “Спектр-РГ”

Моисеев Алексей Валерьевич (Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук)

Активные сверхмассивные черные дыры вне галактических ядер

В этом году появилось сразу несколько сообщений об открытии аккрецирующих сверхмассивных черных дыр (СМЧД) находящихся на значительных (около 1 кпк) расстояниях от фотометрического центра галактики. В докладе критически рассматриваются разные методы наблюдательного обнаружения таких "блуждающих" СМЧД, представленные в литературе. Обсуждаются результаты наблюдений кандидатов в "блуждающих" СМЧД методом оптический интегрально-полевой спектроскопии.

Мухин Андрей Анатольевич (Институт Космических Исследований РАН)

Повышение чувствительности поиска рентгеновских источников в Chandra's Deep Field South с применением метода максимизации функции правдоподобия

Методы, основанные на максимизации правдоподобия, позволяют искать рентгеновские источники теоретически оптимальным образом и наиболее эффективно использовать информацию как об инструментальных эффектах телескопа, так и об ожидаемых спектральных свойствах источников. В данной работе мы представляем реализацию данного метода для архивных данных программы наблюдений Chandra's Deep Field South. Их суммарная экспозиция в 7 Mc и пространственное разрешение телескопа приводят к чувствительности, на порядки величины превышающей чувствительность наблюдений любых других рентгеновских телескопов.

Предварительные результаты показывают, что за счет применения нашего метода достигается дальнейшее улучшение чувствительности поиска источников, соответствующее примерно удвоению экспозиции наблюдения. Рост количества зарегистрированных источников во многом обусловлен значительным повышением числа обнаруженных поглощенных активных ядер галактик. Таким образом, эта мало изученная популяция объектов, являющихся основным источником излучения космического рентгеновского фона на энергиях выше 10 кэВ, начинает массово проявляться вблизи порога чувствительности обсерватории Чандра.

**Нежин Александр Николаевич (Московский
Физико-Технический Институт/Институт Космических
Исследований Российской Академии Наук)**

Оценка параметров межзвездной среды с помощью анализа неравновесных рентгеновских спектров в остатке сверхновой Cygnus Loop

При распространении ударной волны от вспышки сверхновой через низкоплотную межзвездную среду вещество за фронтом ударной волны оказывается в неравновесном температурном и ионизационном состоянии. По мере удаления от фронта параметры вещества эволюционируют к равновесному значению, определяемому в простейшем случае только характеристиками невозмущённой МЗС и скоростью ударной волны. А сам процесс эволюции будет дополнительно зависеть от соотношения эквилибрационных параметров. Эта особенность в некоторых случаях позволяет восстанавливать исходную плотность окружающей среды и её химический состав по спектрам последовательного ряда секторов. В данной работе подобный подход используется при анализе рентгеновских спектров остатка сверхновой Cygnus Loop из южного, юго-восточного и северо-западных регионов. Также обсуждается согласованность полученных параметров с морфологией остатка сверхновой и потенциальное снятие вырождения между нормировкой, ионизационным параметром и обилием.

**Незабудкин Валентин Олегович (Институт космических
исследований РАН, Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет))**

*Рентгеновское излучение центрального звездного диска по данным телескопа ART-XC им.
М. Н. Павлинского обсерватории Спектр-РГ*

Центральный звездный диск (ЦЗД) вместе с центральным звездным скоплением и сверх массивной черной дырой Sgr A* образует центральную область Млечного Пути. Известно, что рентгеновский фон Галактики связан со старым звездным населением и преимущественно формируется аккрецирующими белыми карликами. В данной работе исследуется рентгеновское излучение центра Галактики с помощью широкоугольных наблюдений телескопа ART-XC на борту обсерватории Спектр-РГ в диапазоне энергий 4–12 кэВ. Анализ показывает, что рентгеновское излучение Центральной области Галактики на масштабе нескольких сотен парсек определяется симметричной структурой ЦЗД, расположенного в плоскости Галактики и характеризующегося экспоненциальными масштабами около 20 пк по высоте и 100 пк по длине. Измеренный поток $6.8(+0.1, -0.3) \times 10^{-10}$ эрг/с/см² в диапазоне 4–12 кэВ соответствует светимости $5.9(+0.1, -0.3) \times 10^{36}$ эрг/с при расстоянии до центра Галактики 8.178 кпк. Средняя удельная рентгеновская светимость ЦЗД на единицу звездной массы составляет $5.6(+0.5, -0.7) \times 10^{27}$ эрг/с/M_{sun}

и превышает аналогичное значение для Галактического хребта в 3.3(+0.4, -0.5) раза, что подтверждает результаты других исследований. Проведена депроекция наблюдаемого распределения поверхностной яркости ЦЗД для построения трехмерной модели плотности рентгеновской светимости, сопоставимой с существующими 3D-моделями звездной массы. Пространственное распределение рентгеновского излучения ЦЗД согласуется с последними моделями распределения звездной массы с отклонением до 30%, что указывает на доминирование вклада неразрешенных точечных источников, а не диффузного излучения. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № 24-22-00212.

Николаева Евгения Александровна (Казанский (Приволжский) федеральный университет)

Природа рентгеновского излучения 15 массивных ОВА звёзд.

Массивные звёзды играют ключевую роль в эволюции галактик, являясь источниками энергии, химических элементов и кинетического воздействия на межзвёздную среду. Одним из характерных проявлений активности таких звёзд является рентгеновское излучение, возникающее, в частности, в результате ударных волн в звёздных ветрах, магнитных взаимодействий или наличия компактных компаньонов.

В докладе будут представлены результаты исследования природы рентгеновского излучения у 15 массивных звёзд, зарегистрированных телескопом СРГ/eROSITA [1]. Для анализа были отобраны сравнительно близкие объекты с высокоточной фотометрией и параллаксами, определёнными миссией Gaia. Физические параметры звёзд — эффективная температура Teff и $\log g$ — определены на основе аппроксимации спектрального распределения энергии (SED) и оптических спектров, полученных на телескопе РТТ-150.

Определение фундаментальных параметров выполнено с использованием модифицированного комплекса AstroARIADNE [2], реализующего байесовский метод подбора спектрального энергетического распределения с усреднением по нескольким сеткам моделей звёздных атмосфер. Вклад каждой модели в итоговые оценки параметров (Teff, $\log g$, [Fe/H], R^* , A_v) определяется пропорционально её статистическому правдоподобию. Поиск наиболее вероятных комбинаций параметров осуществлялся методом цепей Маркова Монте-Карло (MCMC), что позволило получить апостериорные распределения и надёжно оценить неопределённости.

В рамках настоящего исследования в комплекс были интегрированы дополнительные сетки моделей атмосфер, применимые к массивным звёздам: PoWR, TLUSTY и TMAP. Методика анализа сочетала фотометрические данные и эшелон-спектры: фотометрия обеспечивала воспроизведение полного спектрального распределения энергии (SED), тогда как спектроскопические данные использовались для уточнения $\log g$ и Teff посредством анализа профилей водородных линий.

Проведённый анализ показал, что для 10 из 15 звёзд выборки рентгеновское излучение обусловлено наличием скрытого маломассивного компаньона — звезды позднего спектрального класса, являющейся основным источником высокоэнергетического излучения. Для оставшихся 5 объектов рентгеновское излучение, по-видимому, связано с собственными процессами: магнитной активностью, быстрым вращением или ударными взаимодействиями в мощных звёздных ветрах. Скрытые компаньоны у четырёх звёзд были ранее идентифицированы и по данным миссии ROSAT.

[1] R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, H. Brunner, et al., A&A 656 (2021) A132. [2] J. I. Vines, J. S. Jenkins, MNRAS 513 (2022) 2719.

Нохрина Елена Евгеньевна (Физический Институт им. П.Н. Лебедева РАН)

“Полный набор наблюдаемых” в релятивистских джетах

В активных ядрах галактик (АЯГ) быстровращающаяся сверх массивная черная дыра, аккрецирующая вещество, может запускать хорошо сколлизированные струи, энергия в которых переносится электромагнитным полем и релятивистской плазмой (Блэндфорд и др. 2019). Аналитическое и численное магнитогидродинамическое (МГД) моделирование таких джетов описывает структуру магнитного поля и поведение (концентрация, скорость) плазмы в выбросе (например, Бескин и Нохрина 2006, Комиссаров и др. 2007, Любарский 2009). Однако принимаемое излучение джетов связано не со всей плазмой, концентрация которой может быть получена в рамках МГД моделирования, а с излучающей (релятивисткой) компонентой. Несмотря на развитие различных моделей для излучающей плазмы (Фролова и др. 2023, Хиротани и др. 2025), актуальными остаются следующие вопросы о доле релятивистской плазмы в выбросе и ее пространственном распределении. Стандартный подход применения эффектов самопоглощения синхротронного излучения (эффект видимого сдвига ядра) не дает ответа на этот вопрос, так как оптическая толщина связана с как с величиной магнитного поля, так и с концентрацией излучающей плазмы. Снять это вырождение позволяет дополнительное предположение о равнораспределении энергий между магнитным полем и излучающей плазмой (Лобанов 1998). В этой работе мы предлагаем “полный набор наблюдаемых”: параметры радиоядер, которые необходимо измерить, чтобы оценить в наиболее общих предположениях как амплитуды магнитного поля и концентрации плазмы на заданном расстоянии от основания выброса, так и скорость спадания этих физических величин с расстоянием вдоль джета. Для данных, полученных Телескопом Горизонта Событий, можно сделать вывод, что в магнитном поле в области положений измеренных радиоядер в собственной для плазмы системе координат доминирует полоидальная компонента. Скорость спадания концентрации излучающей плазмы в рамках ошибок соответствует как равнораспределению с магнитным полем, так и постоянной доле излучающей плазмы от полной концентрации с учетом ускорения в выбросе.

Позаненко Алексей (Институт космических исследований)

Обнаружение радио-послесвещения на частоте 111 МГц гравитационно-волнового события GW190425

В работе приведены результаты поиска и обнаружения вероятного радиоизлучения на частоте 111 МГц в архивных данных радиотелескопа БСА ФИАН от источника гравитационно-волнового события слияния нейтронных звезд GW190425. Новый радиоисточник обнаружен на расстоянии 2 градуса от центра области максимальной вероятной локализации GW190425, координаты источника (J2000) 16:30 +/- 15m, 13:21 +/- 15°. Построена кривая блеска, оценен поток в максимуме 1.5 Ян. Максимум в кривой блеска приходится на 20-30 день после регистрации GW190425. Рассчитана вероятность ложной тревоги (False Alarm Rate) обнаруженного источника $\sim 10^{-5}$.

Попкова Анна Владимировна (Государственный астрономический институт имени Штернберга)

Ограничение космологической популяции облаков H₂ из рентгеновских наблюдений далёких квазаров

Космологическая популяция холодных плотных облаков молекулярного водорода оказывает разнообразное влияние на наблюдения внегалактических источников. Помимо таких эффектов, как гравитационное микролинзирование и суточная переменность квазаров, могут наблюдаться случайные затмения внегалактических рентгеновских источников тёмными молекулярными облаками из галактического гало. Нами произведён поиск таких случайных затмений в выборке из почти 10^5 достаточно ярких источников из каталога 4XMM-DR14 космической рентгеновской обсерватории XMM-Newton. Произведённый поиск, а также теоретически рассчитанные вероятности наблюдения и ненаблюдения подобного явления для нашей подборки позволяют поставить ограничение на вклад тёмного молекулярного водорода в барионную компоненту тёмной материи Галактики.

Потехин Александр Юрьевич (ФГБУН Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

Урка-остывание нейтронной звезды в остатке сверхновой Кассиопея A

Наблюдаемый темп остывания молодой нейтронной звезды в остатке сверхновой Кассиопея A превосходит оценки, основанные на обычных сценариях, в которых потери тепла в основном регулируются модифицированными урка-реакциями. Наиболее популярное объяснение столь быстрого остывания - PBF-механизм (от англ. "pair breaking and

formation”), состоящий в потерях энергии за счёт распада и образования куперовских пар нейтронов с выделением нейтрино в ядре звезды. Он наиболее эффективен при температурах, немного меньших, чем критическая температура для возникновения нейтронной сверхтекучести. Для количественного описания наблюдений в рамках такой гипотезы требуются сильные ограничения на критические температуры протонной и нейтронной сверхтекучестей в ядре нейтронной звезды и на мощность PBF-механизма. Такие ограничения с трудом согласуются с современной теорией сверхплотной нуклонной материи. Чтобы их ослабить, ранее был предложен сценарий гибридного остывания, существенный вклад в которое, наряду с PBF-механизмом, дают прямые урка-процессы в небольшой центральной области звезды - ядрышке, которое намного меньше всего ядра. Мы показали, что при наличии такого ядрышка остывание нейтронной звезды в Кассиопее А можно успешно описать урка-реакциями и без привлечения PBF-механизма. Прямые урка-реакции в центральном ядрышке и модифицированные урка-реакции во внешнем ядре доминируют в остывании звезды на разных временах: модифицированные - на более ранних, а прямые - на более поздних. Ключевую роль в такой иерархии времён играет неизотермичность ядра: центральное ядрышко в течение значительного времени остаётся намного более холодным, чем окружающее его вещество. Предлагаемый сценарий остывания позволяет снять ограничения на параметры сверхтекучести нуклонов, возникавшие при использовании PBF-сценария и гибридного сценария. Наблюдаемую скорость остывания нейтронной звезды в Кассиопее А можно объяснить для различных комбинаций теоретических моделей уравнения состояния и нуклонных сверхтекучестей путём подбора подходящего размера центрального ядрышка, плотность которого должна немного превышать пороговую плотность, при которой начинают работать прямые урка-процессы. Кроме того, в работе построена упрощённая аналитическая модель остывания неизотермического ядра нейтронной звезды в урка-сценарии, вскрывающая зависимости темпа остывания на разных временах от параметров нейтронной звезды и её центрального ядрышка. Работа поддержана грантом РНФ 24-12-00320.

Прохоренко Сергей Александрович (Институт Космических Исследований РАН)

Построение самосогласованной модели взаимосвязи рентгеновского и ультрафиолетового излучения квазаров

Пол века назад была установлена корреляция между рентгеновским и ультрафиолетовым (УФ) излучением квазаров. С тех пор предпринимались попытки правильно определить параметры этой взаимосвязи, для чего требуется учесть многие эффекты селекции. Для этого мы разработали новый метод, самосогласованно учитывающий селекцию по потокам, переменность квазаров и уменьшение плотности квазаров с ростом светимости, а также допускающий разброс как вдоль рентгеновской, так и вдоль УФ оси. Мы применили этот метод к яркой, как в рентгене, так и в оптике выборке квазаров, основной на данных

СРГ/eROSITA и каталоге спектроскопических квазаров SDSS DR16Q, предварительно очистив ее от блазаров, двойных и линзированных объектов, а так же от источников с явно высоким поглощением. Эта выборка сконструирована так, чтобы минимизировать все эффекты селекции в SDSS и получить почти 100% полноту, что позволяет достаточно легко учесть селекцию по потокам. Недостатком выборки является большая задержка между измерениями в рентгене и оптике, что потребовало скрупулезного подхода к учету переменности квазаров. Мы получили результаты близкие к полученным в работе Lusso et.al. 2016. Однако, мы показали, что их метод не сработал бы для нашей выборки, тогда как наш метод выдает стабильные результаты, для выборок с разными порогами по потокам. При этом мы установили, что лучше всего описывает данные модель, где внутренний разброс (за вычетом вклада переменности и ошибок измерения) вдоль оси рентгена гораздо больше внутреннего разброса вдоль оси УФ.

Ревнивцев Владислав Михайлович (Государственный Астрономический Институт им. П.К. Штернберга, Институт Космических Исследований)

Долговременная переменность рентгеновского пульсара Her X-1

Рентгеновский пульсар Her X-1 обладает рядом хорошо известных периодичностей, среди которых имеется суперорбитальная прецессионная периодичность, длиной ~ 35 дней. Проведен анализ наблюдений рентгеновских мониторов всего неба Her X-1 за период > 35 лет. На масштабах ~ 100 прецессионных циклов выявлена долговременная переменность прецессионного цикла. Показано, что моменты главного включения и моменты максимума прецессионного цикла в среднем отслеживают поведение этой переменности, но не являются точным маркером, так как профиль прецессионного цикла меняется со временем. Притом моменты главного включения прецессионного цикла имеют бимодальное распределение и преимущественно происходят вблизи орбитальных фаз ~ 0.25 и 0.75 , что согласуется с моделью прецессирующего нутирующего наклонного аккреционного диска.

Свинкин Дмитрий Сергеевич (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

Сверхдлинный гамма-всплеск GRB 250702B

Сверхдлинные гамма-всплески (ultra-long GRBs, с длительностью $\gtrsim 1000$ с) считаются редким подклассом длинных гамма-всплесков. Значительные длительности этих всплесков можно объяснить в рамках модели коллапса ядра массивной звезды типа Вольфа-Райе (длительности до ~ 1000 с) или голубого сверхгиганта (длительности до $\sim 10^4$ с).

Собственное излучение GRB 250702B было зарегистрировано множеством инструментов в рентгеновском и гамма-диапазонах, при этом полная кривая блеска была зарегистрирована только детекторами Konus-Wind и Psyche-GRNS. Длительность GRB 250702B составила $\gtrsim 2.5 \times 10^4$ с. По данным Einstein Probe (WXT, 0.4-4 кэВ) активность источника GRB 250702B была обнаружена примерно за сутки до начала излучения в жестком рентгеновском диапазоне, что делает этот всплеск наиболее длительным гамма-всплеском за всю историю их наблюдения.

В докладе будут представлены результаты временного и спектрального анализа GRB 250702B по данным Konus-Wind, Swift-BAT и Fermi-GBM, а так же обсуждение возможных моделей источника всплеска.

Семена Николай Петрович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

Эксперимент МВН: Первые результаты

В докладе будут представлены результаты за первый год работы эксперимента.

Трушкин Сергей Анатольевич (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

Рентгеновские двойные звезды после 11й конференции “Микроквазарная Одиссея: раскрывая сложности”

сентябре 2025 года в Италии прошла очередная конференция с таким названием, в которой обсуждались ключевые проблемы и новые достижения последних четырех лет исследований рентгеновских двойных звезд с релятивистскими выбросами. Действительно, среди растущего числа микроквазаров от нескольких из них обнаружено протяженное гамма-излучение ПэВных энергий (LHAASO), то есть, вероятно, эти источники объекты главными источниками протонов космических лучей. Стало известно, что пять микроквазаров, вероятно, являются источниками нейтрино ТэВных энергий (KM3Net). У других микроквазаров обнаружены транзиентные джеты. Получены новые результаты по рентгеновской поляризации (IXPE, Cyg X-3) и по рентгеновской спектроскопии (XRISM). Появились веские указания, что знаменитые SS433 и Cyg X-3 были бы видны как ультраяркие рентгеновские источники (ULX), если бы джеты были направлены в сторону земного наблюдателя. С другой стороны, похоже большинство ULX во внешних галактиках являются рентгеновскими двойными звездами в режиме сверхкритической акреции. Обнаружены протяженные радиоструктуры вокруг некоторых микроквазаров, вероятно связанные с крупномасштабными рентгеновским излучением (V4641 Sgr, MeerKAT).

Тырин Никита Юрьевич (Казанский Федеральный Университет)

Рентгеновский обзор всего неба СРГ/ART-XC: оценка чувствительности на основе апертурной фотометрии

Обсерватория Спектр-Рентген-Гамма (СРГ) продолжает успешно работать на орбите в точке Лагранжа L2. Телескоп ART-XC им. М.Н. Павлинского продемонстрировал высокую эффективность при проведении рентгеновских обзоров в режиме сканирования больших участков неба и всей небесной сферы. Недавно опубликованный каталог источников, полученный на основе данных первых четырех и частично выполненного пятого сканирований неба, содержит 1545 объектов, обнаруженных в диапазоне энергий 4-12 кэВ. В настоящей работе, используя те же данные обзора неба, мы оцениваем на основе рентгеновской апертурной фотометрии чувствительность к обнаружению точечного источника в любом положении на небесной сфере, то есть рассчитываем верхний предел на поток в диапазоне 4-12 кэВ на любом заданном уровне значимости. Метод реализован как на основе распределения Пуассона, так и с использованием теоремы Байеса, при этом результаты соглашаются между собой. Эта информация важна для изучения свойств переменных и транзиентных рентгеновских источников, а также источников, которые не детектируются с достаточной статистической значимостью в обзоре всего неба ART-XC. Сервис оценки чувствительности ART-XC доступен по адресу <https://www.srg.cosmos.ru/uplim>

Хабибуллин Ильдар (ИКИ РАН)

Рентгеновская поляриметрия Галактического Центра

Протяженное рентгеновское излучение, наблюдаемое в направлении нескольких молекулярных облаков в Центральной молекулярной зоне (ЦМЗ) нашей Галактики, демонстрирует спектральные и временные свойства, согласующиеся со сценарием «рентгеновского эха». Он постулирует, что наблюдаемый сигнал представляет собой задержанное по времени распространения света отражение короткой вспышки, вероятнее всего, вызванной несколько сотен лет назад Sgr A. Этот сценарий также предсказывает поляризацию отраженного рентгеновского континуума - вектор поляризации перпендикурен направлению на первичный источник, а степень поляризации (PD) определяется углом рассеяния. Мы сообщаем о результатах двух глубоких наблюдений самого яркого в настоящее время (в отраженном излучении) молекулярного комплекса Sgr A, проведенных с помощью *Imaging X-ray Polarimetry Explorer* (IXPE) в 2022 и 2023 годах. Мы подтверждаем предыдущее измерение поляризации для большой области, охватывающей комплекс Sgr A, с более высокой значимостью. При этом картина поляризации для самой яркой области отражения в его центре оказывается иной. Поляризация рентгеновского излучения из этой области практически перпендикулярна ожидаемому направлению в случае облучения Sgr A и показывает меньшую PD по сравнению с большой областью. Это может указывать на одновременное распространение нескольких

фронтов освещения через ЦМЗ, при этом источник одного из них не связан со Sgr A*. Первичный источник может быть связан со звёздным скоплением Арки или с неизвестным в настоящее время источником, расположенным ближе к освещённому облаку, что потенциально снижает требуемую светимость первичного источника. Хотя для однозначного различия этих сценариев потребуются значительно более глубокие наблюдения с помощью IXPE, сочетание изображений высокого разрешения и микрокалориметрической спектроскопии может быть более многообещающим способом дальнейшего исследования.

Хамитов Ирек Мунавирович (Казанский Федеральный Университет)

Корональная активность звезд рассеянных звездных скоплений Гиады, Плеяды и Blanco 1 по данным СРГ/еРОЗИТА

Стадия Главной Последовательности характеризуется медленным изменением макроскопических параметров звезд. Однако, период вращения и рентгеновское излучение в процессе эволюции могут при этом меняться на несколько порядков. Известно, что у звезд поздних спектральных классов солнечного типа конвекция вместе с вращением приводят к возникновению магнитного динамо в основании зоны конвекции. Результаты магнитного динамо проявляются в виде магнитных явлений в звездных фотосферах и над ними в виде магнитных пятен, магнитно-замкнутой корональной плазмы, в которой периодически происходят вспышки и так далее. Ожидаемо, что вследствие вращательно индуцированного внутреннего динамо уровень рентгеновской светимости коррелирует со скоростью вращения звезды. Рассеянные звездные скопления близкие по возрасту и химсоставу, представляют собой замечательную эволюционную лабораторию для изучения распределения физических характеристик звезд на ранней стадии эволюции. Большинство членов молодых рассеянных скоплений показывают сильную магнитную активность, что приводит к разогреву корон звезд до нескольких миллионов градусов. Таким образом, источники являются яркими в рентгеновских лучах. Хотя у одиночных звезд солнечного типа в процессе взаимодействия магнитного поля со звездным ветром магнитная активность падает на масштабе времени ~ 1 млрд лет, для холодных звезд M-класса она продолжается в течение более длительного времени. В данной работе представлены отождествления звезд с рентгеном для скоплений отличных по возрасту: Blanco 1 (~ 115 млн.лет), Плеяды (~ 125 млн.лет), и Гиады (~ 700 млн.лет), по данным обзоров всего неба рентгеновского телескопа еРОЗИТА [1] на борту космической обсерватории СРГ [2] и оптического каталога членов рассеянных звездных скоплений по данным Gaia DR3 [3]. В нашем исследовании использованы только источники, находящиеся в восточной галактической полусфере, за которое отвечает российский консорциум еРОЗИТЫ. В результате в пределах трех приливных радиусов от центра скоплений в Плеядах отождествлено 850 рентгеновских источника (650 впервые отождествленных), в Гиадах – 290 источника (171 впервые) и 114 (59 впервые) в восточном приливном рукаве Гиад, а в плеядоподобном скоплении Blanco 1 отождествлено 110 источников еРОЗИТЫ.

Номинальная чувствительность eROZITy в области Blanco 1 - $L_x \sim 1.1 \text{E}29$ эрг/с, Плеяд составила - $L_x \sim 1.6 \text{E}28$ эрг/с и, соответственно, Гиад - $L_x \sim 2 \text{E}27$ эрг/с в диапазоне 0.3-2.3 кэВ. Обсуждаются зависимости полученных выборок по параметру $Rx = \log(L_x/L_{bol})$ от эффективной температуры звезд (Teff) и числа Россби (Ro). [1] P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, et al., *Astron. Astrophys.* 647, (2021) A1. [2] R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, et al., *Astron. Astrophys.* 656, (2021) A132 [3] M. Zerjal, N. Lodieu, A. Perez-Garrido, J. Olivares, V. J. S. Bejar, and E. L. Martin, *Astron. Astrophys.* 678, (2023), A75

Хрыкин Илья Сергеевич (Pontificia Universidad Catolica de Valparaiso)

Измерение магнитных полей в галактиках с помощью быстрых радиовсплесков

Быстрые радиовсплески (FRB) представляют собой яркие внегалактические миллисекундные радиоимпульсы, чья природа остаётся неизвестной. Несмотря на это, FRB являются уникальным инструментом исследования астрофизических и космологических процессов благодаря характерным мерам дисперсии (DM) и вращения (RM), несущими в себе информацию об ионизованном газе на пути следования сигнала. В настоящей работе выполнен анализ наблюдаемых значений RM для 14 локализованных FRB в диапазоне красных смещений $0.05 < z < 0.5$. На основе этих данных измерена величина магнитного поля, B , в различных галактических средах. Дополнительно оценено среднее относительное содержание барионов в окологалактической среде (CGM). Для решения этой задачи был составлен каталог галактик, лежащих вдоль луча зрения каждого из 14 FRB (галактики переднего плана), основанный на спектрскопических наблюдениях с помощью VLT/MUSE и данных коллаборации FLIMFLAM. Разработан и применён новый статистический алгоритм, позволяющий сопоставить характеристики отдельных галактических гало с наблюдаемыми значениями RM. Получены первые прямые оценки напряжённости магнитного поля в межзвёздной среде (ISM) родительских галактик FRB ($B_{\text{host_local}}$), в их гало ($B_{\text{host_halo}}$), а также в гало галактик переднего плана ($B_{\text{f/g_halos}}$). Показано, что средняя напряжённость магнитного поля в ISM родительских галактик FRB составляет $B_{\text{host_local}} = 5.44^{+1.13/-0.87} \mu\text{G}$. Установлены верхние пределы для напряженности магнитного поля в гало родительских галактик: $B_{\text{host_halo}} < 4.81 \mu\text{G}$ и в галактических гало переднего плана: $B_{\text{f/g_halos}} < 4.31 \mu\text{G}$. Получена оценка средней относительной концентрации барионов в гало с массами $10 < \log_{10} (M_{\text{halo}} / M_{\odot}) < 13.1$ - $f_{\text{gas}} = 0.45^{+0.21/-0.19}$. Полученные результаты находятся в согласии с предшествующими оценками напряжённости магнитных полей, полученными другими методами. Показано, что в отличие от предыдущих исследований, не учитывавших вклад гало галактик переднего плана и/или родительских галактик в наблюдаемые значения RM, данный вклад может быть существенным и должен приниматься во внимание при анализе будущих выборок FRB.

Чуразов Евгений Михайлович (Институт космических исследований РАН, Институт астрофизики общества им. Макса Планка)

Филаменты с сильным магнитным полем в горячем газе скоплений галактик.

Обычно предполагается, что в горячем газе скоплений галактик давление магнитного поля составляет около одного процента от теплового давления. В работе обсуждается возможность существования в таком газе “нетепловых” филаментов, в которых магнитное поле доминирует, а плотность частиц мала. Хотя доля объема, занимаемая такими филаментами несомненно мала, релятивистские электроны могут распространяться вдоль филаментов с большой скоростью и почти без потерь энергии. Это позволяет, в частности, объяснить наблюдаемые структуры, имеющие почти одинаковые спектры синхротронного излучения на масштабах порядка сотен кпк.

Шапошников Иван Андреевич (МГУ им. М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга)

Эмпирическая корреляция между массами черных дыр и звезд Вольфа-Райе, полученная из анализа распределений их масс в спектроскопических двойных системах

Завершающим этапом эволюции массивных звезд (с начальной массой более 10 масс Солнца) является гравитационный коллапс их ядер, в результате которого могут образовываться чёрные дыры. Незадолго до коллапса ядра массивная звезда, лишившаяся к тому времени большей части внешней водородной оболочки, находится на стадии звезды Вольфа-Райе (WR). Для понимания эволюции массивных звезд и механизмов образования черных дыр важно знать, какая доля массы звезды WR и ее углеродно-кислородного (СО) ядра коллапсирует в черную дыру. Обычно такие соотношения выводятся на основе модельно-зависимых теоретических расчетов. Нам же удалось эмпирически установить эволюционную связь между массой черной дыры и массой звезды WR и ее СО ядра используя тот факт, что полученные из наблюдений распределения масс звезд WR и черных дыр в спектроскопических двойных подобны друг другу и могут быть описаны логнормальным законом. На основе анализа данных о массах 30 звезд WR и 50 черных дыр показано, что согласовать между собой распределения масс звезд WR и черных дыр можно в том случае, если масса черной дыры связана с массой звезды WR соотношением $M_{\text{ЧД}} = (0.39 \pm 0.09) M_{\text{WR}}^{1.13 \pm 0.09}$, что соответствует приблизительно 90% массы СО-ядра звезды WR перед ее гравитационным коллапсом.

Шарофеев Андрей Константинович (Институт ядерных исследований Российской академии наук, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова)

Нарушение Лоренц-инвариантности и физика космических лучей

Эффективные теории поля с нарушенной Лоренц-инвариантностью (ЛИ) представляют значительный интерес в контексте физики космических лучей, поскольку энергии самых высокоэнергетических частиц существенно превышают возможности лабораторных экспериментов. В таких теориях возможны отклонения в поведении процессов взаимодействия частиц, что может приводить к заметным последствиям в развитии широких атмосферных ливней. Примечательно, что некоторые наблюдаемые феноменологические следствия нарушения ЛИ можно использовать для постановки строгих ограничений на степень этого нарушения, исходя из современных данных по широким атмосферным ливням. В докладе демонстрируется, как даже слабое нарушение ЛИ способно повлиять на спектр космических лучей; на этой основе получены ограничения на параметры эффективной теории поля с нарушенной ЛИ. Эти ограничения, основанные на анализе глубины развития широких атмосферных ливней, сопоставимы по строгости с наиболее сильными современными ограничениями.

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

Энергия симметрии ядерной материи из наблюдений нейтронных звёзд и экспериментов по столкновениям тяжёлых ионов

Одной из фундаментальных задач современной ядерной физики является определение уравнения состояния сильно взаимодействующего вещества при сверхядерных плотностях. Существует два основных способа исследования ядерной материи в этой области. Астрофизический способ опирается на наблюдения нейтронных звёзд, в ходе которых определяются их массы, радиусы, приливные деформации (из гравитационно-волновых наблюдений) и прочие параметры. Этот путь позволяет, хотя и не напрямую, установить ограничения на свойства бета-равновесного ядерного вещества, которое содержится в ядрах нейтронных звёзд [1]. Второй способ опирается на эксперименты по столкновениям тяжёлых ионов и за счёт анализа потоков частиц позволяет ограничить уравнение состояния симметричной (содержащей одинаковое число нейтронов и протонов) ядерной материи [2]. Комбинация этих подходов позволяет выяснить зависимость энергии ядерной материи от изоспиновой асимметрии. Ключевой параметр этой зависимости – разница между энергиями, приходящимися на один барион в полностью асимметричном (например, чисто нейтронном) и симметричном веществе – носит название энергии

симметрии. Помимо прочего, она определяет доли различных компонентов бета-равновесного ядерного вещества. Используя имеющиеся многоканальные астрофизические ограничения на массы и радиусы нейтронных звёзд [1], а также данные экспериментов по столкновениям тяжёлых ионов [2] мы восстанавливаем зависимость энергии симметрии от барионной плотности при значениях, многократно превышающих ядерную. Соответствующие ограничения на состав бета-равновесной ядерной материи с высокой вероятностью указывают на наличие прямого Урка-процесса в недрах массивных нейтронных звёзд. Примечательно, что этот вывод получен независимо от наблюдений тепловых состояний нейтронных звёзд и теории их остывания.

[1] Rutherford N., et al., 2024, ApJL, 971, L19 [2] Danielewicz P., Lacey R., Lynch W. G., 2002, Science, 298, 1592

Постерные доклады

Ананьев Ярослав Олегович (Физико-технический институт имени А.Ф. Иоффе)

Спектроскопическое моделирование карликовых галактик и независимая оценка постоянной Хаббла

Исследование голубых карликовых галактик помогает найти ответы на фундаментальные вопросы эволюции Вселенной. В докладе представлен метод оценки расстояний и постоянной Хаббла H_0 на основе анализа и моделирования спектров голубых компактных карликовых галактик. ГКК, характеризующиеся активным звездообразованием и низкой металличностью, рассматриваются в качестве потенциально надежных стандартных свеч. Мы демонстрируем новую методику анализа их спектров с учетом подлиниевого поглощения, межзвездного поглощения, столкновительного возбуждения, уширенного основания линий, а также с моделированием вклада звезд и межзвездной среды в суммарный континуум. Использование соотношения $L-\sigma$ для определения расстояний позволяет оценить постоянную Хаббла H_0 и параметр замедления q_0 . Эти результаты показывают перспективность использования ГКК в качестве инструмента для оценки расстояний в локальной Вселенной.

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-12-00166

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

Влияние температуры звезды на нагрев полярной шапки радиопульсара J0901-4046

Рассматривается влияние температуры поверхности нейтронной звезды на генерацию позитронов во внутреннем зазоре и нагрев полярной шапки радиопульсара J0901-4046, вызванный обратным током позитронов текущим через внутренний зазор. Учитывается фотоионизация связанных электрон-позитронных пар только фотонами теплового излучения с поверхности нейтронной звезды. Рассмотрение ограничено только интервалом температур $10^{5-3} 10^5$ К. Влиянием на фотоионизацию фотонов с горячей полярной шапки пренебрегается.

Белова Софья Ивановна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук)

Поиск дополнительных спектральных компонент и изломов спектра гамма-всплесков, зарегистрированных в экспериментах Конус-Винд и ВерроSAX/WFC

В данной работе представлены результаты совместного спектрального анализа набора 23 гамма-всплесков по данным экспериментов Конус-Винд и ВерроSAX/WFC. Совместный анализ данных позволяет более эффективно произвести поиск дополнительных спектральных компонент и дополнительных изломов в спектре гамма-всплесков. Анализ проводился с применением следующих моделей: функции Банда, степенная модель с экспоненциальным завалом (CPL), SBPL (модель двух степенных функций с изломом) и 2SBPL (модель с двумя изломами). Помимо этого были протестированы модели SBPL и CPL с добавлением чернотельной компоненты (BB) в целях выявления наличия тепловой составляющей в спектрах гамма-всплесков. Дополнительный излом в области более низких энергий в модели 2SBPL характеризуется энергией брейка и может быть рассмотрен как свидетельство в пользу синхротронной природы излучения гамма-всплесков, так как его можно идентифицировать с синхротронной частотой остывания. В работе был проведен сравнительный анализ полученных результатов, построены распределения спектральных параметров моделей, также были найдены корреляции между некоторыми параметрами (между пиковой энергией и энергией брейка для модели SBPL, между энергией чернотельной компоненты и пиковой энергией, также между потоками тепловой и нетепловой компонент в моделях SBPL+BB и CPL+BB). Аппроксимация спектров гамма-всплесков моделью SBPL+BB является статистически более предпочтительной, чем функциями Банда или SBPL (2SBPL), для примерно 50% (25%) спектров KW+WFC, тогда как для спектров исключительно KW эта доля составляет 15% (0%). Значение чернотельной температуры в моделях с данной компонентой варьируется от 15 кэВ до 65 кэВ. Модель 2SBPL является более предпочтительной, чем SBPL, для более 50% спектров, причём энергии излома степенного закона E_{br} , достигают значения 300 кэВ (в этом случае пиковая энергия $E_p \sim 1$ МэВ). Типичное соотношение энергий составляет $E_{br}/E_p \approx 0.3$, и средние значения фотонных индексов в области низких энергий и в области высоких энергий равны $\alpha_1 \approx -0.8$ and $\alpha_2 \approx -1.8$, соответственно. Эти результаты подтверждают возможность сочетания фотосферной и синхротронной компонент в значительной части гамма-всплесков, свидетельствуя в пользу гибридного механизма генерации собственного излучения гамма-всплесков.

Бирюков Антон Владимирович (Tel Aviv University)

Скоррелированность скоростей и осей вращения пульсаров и её влияние на статистику их магнитных углов

Считается, что одиночные нейтронные звёзды приобретают существенный импульс (кик) в момент своего рождения при взрыве сверхновой. В то же время свойства линейной поляризации радиоизлучения пульсаров указывают на то, что направление кика скоррелировано с направлением оси вращения звезды. Однако, в силу того, что различить X- и O-моды поляризации в радиоизлучении пульсаров сложно, нельзя сделать однозначный вывод о том, направлен ли кик вдоль оси вращения или перпендикулярно ей. В нашей работе мы предлагаем метод разрешения этой неопределенности на основе статистики магнитных углов пульсаров и их скоростей. Мы показываем, что направление кика направлено именно вдоль оси вращения. Наши выводы подтверждаются как статистическим анализом наблюдательных данных, так и в рамках популяционного синтеза, в котором направление кика является существенным параметром. В завершении обсуждаются дополнительные наблюдательные следствия и возможные дальнейшие шаги в этой области исследований.

Булига Станислава Дмитриевна (Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН)

Красные квазары: оценка масс и спинов сверхмассивных чёрных дыр, а также углов наклона аккреционных дисков

В работе были проведены оценки значений спинов и масс сверхмассивных черных дыр, а также углов наклона аккреционного диска для выборки из 42 красных квазаров. Наши расчеты показывают, что два объекта: F2MS J1113+1244 и F2MS J1434+0935 с самыми высокими соотношениями Эддингтона могут иметь геометрически толстый диск. Шесть объектов: SDSS J0036-0113, S82X 0040+0058, S82X 0118+0018, S82X 0303-0115, FBQS J1227+3214, S82X 2328-0028 имеют признаки «ретроградного» вращения. Анализ полученных значений спинов показывает, что популяция красных квазаров может содержать как обычные сейфертовские галактики, так и сейфертовские галактики с узкими линиями (NLS1).

Гатилова Дарья (Санкт-Петербургский государственный университет)

Анализ вспышечной активности близара J0006-0623 в радиодиапазоне.

В процессе многолетнего мониторинга (2006-2025 гг.) на телескопе РАТАН-600 (диапазон 1.1-21.7 ГГц) изучен внегалактический источник J0006-0623. Объект, находящийся на красном смещении $z = 0.3467$, относится к классу активных ядер галактик, подклассу BL Lac. В период с 2012 по 2025 гг. наблюдалась тройная вспышка с последовательным сокращением временных масштабов. Временная шкала для первой вспышки составляет 7 лет, второй — 4 года, а для третьей — 2 года.

С учетом эволюции спектрального индекса, такое изменение во времени указывает на возможную смену среды в джете: с оптически толстой на оптически тонкую.

С целью проверки данной гипотезы в рамках модели «Shock-in-Jet» был проведен корреляционный анализ вспышек на частотах 4.8-21.7 ГГц. Анализ корреляции кривых блеска в радиодиапазоне, проведенный методом DCF, позволил обнаружить значимые временные задержки между разными парами частот в пределах от 0 до 735 дней, при этом наблюдается их систематическое сокращение от первой эпохи к третьей. Также анализ DCF показывает, что вспышки на более высоких частотах опережают вспышки на низких частотах.

Установлено, что совместная эволюция спектрального индекса (переход от положительных значений к отрицательным) и временных задержек является наблюдательным подтверждением модели «Shock-in-Jet», в которой ударная волна последовательно «прореживает» джет, изменяя его свойства.

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

Роль вихрей Абрикосова в кинетике нейтронных звезд

В работе исследуется влияние протонных вихрей (вихрей Абрикосова) на процессы переноса в ядрах нейтронных звезд. Для этого выведено кинетическое уравнение, в котором учитывается рассеяние лептонов на вихрях и рассчитаны транспортные коэффициенты – теплопроводность и сдвиговая вязкость. Показано, что при достаточно низких температурах этот канал рассеяния может доминировать, особенно в случае сдвиговой вязкости. Полученные результаты важны для корректного описания крупномасштабной динамики и эволюции магнитного поля в нейтронных звёздах. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00048-П

Голубев Максим Николаевич (федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»)

Комптонизация спектральных искажений реликтового излучения

В скором будущем ожидаются измерения искажений реликтового излучения, связанных с испусканием рекомбинационного спектра в эпоху рекомбинации и с поглощением и испусканием нейтральным водородом фотонов с частотой 1420 МГц в эпоху Темных Веков, которые дадут нам важные данные о свойствах Ранней Вселенной, но на данный момент их

невозможно измерить из-за малой амплитуды. В данной работе рассматривается влияние комптонизации на спектральные характеристики этих искажений и на возможность их детектирования.

Горбачев Марк Андреевич (Казанский федеральный университет / Крымская астрофизическая обсерватория РАН)

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩЕНИЯ ЗВЕЗД В ПЛЕЯДАХ, ГИАДАХ И BLANCO 1 С ПОМОЩЬЮ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА TESS

Рассеянные скопления, содержащие в себе звезды, близкие по возрасту и химсоставу, представляют собой замечательные эволюционные лаборатории для изучения распределения физических характеристик звезд на ранней стадии эволюции. В работе использованы фотометрические данные космической обсерватории TESS, а также оптические каталоги звезд рассеянных скоплений Плеяды, Гиады и Blanco 1, содержащие 2226, 790 и 752 источника, отобранных на основе данных миссии Gaia. На сегодняшний день накоплено значительное число работ, посвященных изучению переменности звезд этих скоплений. Однако, представленная в них информация не включает максимально доступную часть объектов, а для некоторых звезд имеется несоответствие опубликованных данных. Применяя различные статистические методы оценки периодичности, такие как ACF, SNR и PDM, а также учитывая особенности углового разрешения TESS (1 пиксель = $21''$), в работе определены периоды для 635, 222 и 98 звезд в Плеядах, Гиадах и Blanco 1 соответственно. Поиск периодических сигналов был ограничен 13 днями, поскольку продолжительность кривой блеска в одном секторе TESS составляет около 27 дней, а использование нескольких последовательных секторов затруднено из-за смещения нуль-пункта инструментального потока между ними. Дополняя наши результаты информацией из базы VizieR, было получено, что периоды оценены для 936 (42%), 584 (74%) и 250 (33%) звезд в Плеядах, Гиадах и Blanco1 соответственно. Среди них для 44, 28 и 12 источников в указанных скоплениях периоды определены впервые. Таким образом, в данной работе подготовлен наиболее полный каталог периодов вращения звезд в этих скоплениях.

Горбачев Марк Андреевич (Казанский федеральный университет / Крымская астрофизическая обсерватория РАН)

Корреляция гамма- и оптического излучения блазара S5 1803+784 за 2019-2024 годы

Блазар S5 1803+784 имеет три сезона практически непрерывных наблюдений спутником TESS: 19.07.2019-8.06.2020, 31.12.2021-18.01.2023 и 7.12.2023-18.12.2024 (2019, 2022 и 2024, соответственно). Из-за различий в нуль пункте ПЗС-чипов детектора TESS, в поле зрения которых попадал исследуемый блазар, кривую блеска в оптическом диапазоне «сшить»

за разные участки сезонов можно только с помощью наземных наблюдений. Для этой цели мы использовали данные ZTF, AAVSO, ASAS-SN и телескопа AZT-8 Крымской астрофизической обсерватории. Данные в гамма-диапазоне получены телескопом Fermi-LAT и находятся в свободном доступе. Временную задержку между переменностью в гамма- и оптическом диапазонах определяли с помощью дискретной корреляционной функции (DCF). Значимость пика оценивали из вычисления DCF для 1000 пар модельных временных рядов, моделируемых процессом ARIMA с такими же параметрами, как и исследуемая пара кривых блеска в оптическом и гамма-диапазонах. С уровнем значимости $>99.6\%$ оптическая переменность задерживается относительно переменности гамма-излучения на 45 и 83 суток за сезоны 2019 и 2022 гг. За 2024 г. корреляции никакой не обнаружено, возможно, из-за того, что в гамма-диапазоне отсутствовали высокоамплитудные вспышки, в отличие от предыдущих сезонов. Для сезона 2019 форма кривых блеска в гамма- и оптическом диапазоне схожая: в начале малоамплитудные колебания при малой интенсивности излучения блазара, а, начиная с апреля 2020 – ряд сильных вспышек. Для этого сезона на DCF присутствует второй максимум на временной задержке 5 дней с уровнем значимости $>95.4\%$. Мы полагаем, что для блазара S5 1803+784 малоамплитудная переменность в гамма- и оптическом диапазоне коррелирует с задержкой в несколько дней, тогда как задержка между вспышечными событиями составляет несколько десятков дней. Если наблюдаемое излучение преимущественно образуется в релятивистском джете, величина задержки может изменяться из-за изменения доджета вследствие изогнутости джета и/или при изменении степенного закона спада напряженности магнитного поля вдоль джета блазара.

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

Перенос газа и пыли при взаимодействии межзвездного облака с ударной волной

Взаимодействие ударных волн с межзвездными облаками играет важную роль в формировании многофазной межзвездной среды. В рамках трехмерного многокомпонентного численного моделирования исследуется динамика газа и пыли при прохождении ударной волны по диффузным запыленным облакам в условиях межзвездной среды и в скоплениях галактик. Найдено, что динамика пыли при взаимодействии облака с ударной волной существенно зависит от соотношения времен охлаждения и разрушения облака. В радиационно охлаждающихся облаках, где время охлаждения меньше времени разрушения, пылевые частицы сохраняются и переносятся с веществом облака. В слабо охлаждающихся или адиабатических облаках, где время охлаждения больше времени разрушения, происходит сегрегация пылевых частиц вдоль движения облака: мелкие пылевые частицы увлекаются облаком; крупные пылевые частицы, для которых время торможения заметно длиннее времени разрушения облака, отстают от ускоряемого

ударной волной облака и покидают его. Обсуждаются эффективность разрушения пыли при взаимодействии облаков с ударными волнами, а также влияние перераспределения пылевых частиц по размерам в процессе транспорта вещества из галактик в окологалактическую среду.

Докучаев Вячеслав Иванович (Институт ядерных исследований Российской Академии Наук)

Finding the valid gravity theory from observations of black hole silhouettes

Nowadays the major problem in cosmology is in the choice of the valid gravity theory for interpretation of the observational data. Usually in cosmology it is used the Einstein general theory of relativity and the corresponding Friedman-Robertson-Walker equations in the strong field limit (when gravitational potential is of the order of square of the light velocity). Meanwhile, the general theory of relativity is verified and confirmed only in the weak field limit in the nearest cosmological environments. Observations of black hole images (silhouettes) opens a unique possibility for the verification (or falsification) of modified gravity theories in the strong field limit when gravitation dominates over astrophysical or cosmological factors. This is especially crucial for physical interpretation of astrophysical and cosmological observations of the far regions of the Universe and for understanding the physical origin of enigmatic dark matter and dark energy. The first visual images of supermassive black holes M87* and SgrA* have been observed recently by the Event Horizon Telescope. These images demonstrate a qualitative agreement with the general theory of relativity. In the nearest future it would be possible to quantitatively scrutinize the known modified gravity theories after construction of the Space Millimetron Observatory with nano-arcsecond angular resolution.

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

Выживание межзвёздной пыли за фронтом ударной волны.

Наблюдаемое количество пыли в ранней Вселенной, где основным источником её производства были сверхновые звёзды, и темпы её разрушения за фронтами ударных волн от таких вспышек сильно не согласуются друг с другом. Чтобы обеспечить лучшее выживание пыли, мы в этом докладе обсуждаем, какое влияние оказывает испарение пыли на остывание газа и, вследствие этого, на время нахождения пыли в агрессивных условиях. Мы рассматриваем пыль с различными начальными распределениями по размерам. Также мы оцениваем выживаемость пыли при различных начальных параметрах газа, таких как скорость ударной волны и металличность среды.

**Емельянова Анастасия Романовна (Московский
государственный университет имени М.В. Ломоносова)**

***Влияние циркумбинарных дисков на переменность рентгеновского излучения двойных
систем***

Трехмерное гидродинамическое моделирование массивных рентгеновских двойных систем (РДС) указывает на возможность образования газопылевых дисков, вращающийся вокруг обеих звёзд (циркумбинарных дисков, ЦБД) в таких системах. Однако наблюдательное подтверждение наличия ЦБД в РДС остается сложной задачей. Данна оценка возможного влияния ЦБД на переменность рентгеновского излучения РДС в рамках кинематической модели с прецессионным кольцевым ЦБД. Показано, что эффект ЦБД может обеспечивать вековую рентгеновскую переменность РДС в зависимости от соотношения орбитальных и прецессионных параметров РДС с ЦБД. Обсуждается, что наличие и эффект ЦБД может быть зарегистрирован в длительных мониторинговых наблюдениях РДС.

**Ефремова Полина Дмитриевна (Казанский (Приволжский)
федеральный университет)**

Исследование нового кандидата в катаклизмические переменные SRGeJ0202+4037

В докладе будут представлены результаты фотометрических и спектроскопических наблюдений на РТТ-150 рентгеновского источника, SRGeJ0202+4037 обнаруженного по наблюдениям СРГ/еРОЗИТА [1]. Указанный источник имеет высокое отношение рентгеновского потока к оптическому ($L_x / L_{opt} \sim 1$) и первоначально предполагалось, что он является квазаром. Фотометрические наблюдения, выполненные на РТТ-150 в августе 2023 года, показали быструю переменность на шкале минуты и часы, что исключило его принадлежность к квазарам. Единственное известное упоминание о нем содержится в статье [2], в каталоге кандидатов в белые карлики. Рентгеновская светимость источника SRGeJ0202+4037 по данным телескопа еРОЗИТА/СРГ составляет $\sim 1.1 \cdot 10^{32}$ эрг/сек в диапазоне 0.3-2.2 КэВ для оцениваемого расстояния до источника на основе параллакса из каталога GAIA DR3.

На телескопе РТТ-150 получены фотометрические данные в течение 10 ночей и спектроскопические данные в течение 3 ночей в 2023-2025 годах. Периодограммный анализ кривых блеска РТТ-150 выявил следующие значимые периоды переменности блеска системы: ~ 53 минуты, вероятнее всего являющийся периодом вращения белого карлика, и ~ 148 мин, который интерпретируется нами как период орбитального движения системы. Оптические спектры SRGeJ0202+4037 содержат плоский континуум и эмиссионные линии нейтрального водорода и нейтрального и ионизованного гелия. Значения эквивалентных ширин линий H α превышают 80 Å, отношение эквивалентных ширин линий H α и H β составляет 0.22. Отношения потоков излучения в линиях H α , H β , H γ указывают на обратный бальмеровский

декремент, характерный для магнитных катализмических переменных в высоком состоянии. По результатам анализа вышеупомянутых данных исследуемая система классифицируется нами как промежуточный поляр.

[1] R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, H. Brunner, et al., A&A 656 (2021) A132. [2] Fusillo N. et al., MNRAS, 482 (2022) 2719.

Желенкова Ольга Петровна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

Подтверждение статуса гигантских радиоисточников для объектов каталога NVGRC (NVSS Gaint Radio source Candidate)

Каталог NVGRC (Proctor, 2016) включает радиоисточники, отобранные с помощью алгоритмом распознавания образов в качестве кандидатов в гигантские радиоисточники (ГРИ). В каталог, кроме ГРИ, попали ошибочно классифицированные радиоисточники. Для подтверждения ГРИ мы использовали радиообзоры как низкого (GLEAM, NVSS, GB6), среднего (TGSS, RACS, LOFAR, Apertif), так и высокого углового разрешения (FIRST, VLASS), а также оптические (SDSS, LS, DES) и ИК- (LAS UKIDSS, WISE) обзоры. Было проверено 370 NVGRC-объектов из интервала $00h00m < RAJ < 05h20m$, а также радиоисточники в окрестности 1 градуса от цели. В этих областях было обнаружено еще 20 ГРИ, которые не были обнаружены алгоритмом и не вошли в этот каталог. С учетом этих пропущенных ГРИ эффективность алгоритма распознавания составляет около 20%. Информацию о красных смещениях для галактик-хозяев была взята из баз данных NED, Vizier, SDSS и NOAO DatLab. Для 12% ГРИ красное смещение оценивалось по эмпирическому соотношению $m_r - z$. Так из рассмотренных объектов 197 (48%) источников были классифицированы как ГРИ; у 14% размеры оказались меньше 0.7 Мпк; 38% объектов состоят из физически не связанных источников, ошибочно сгруппированных алгоритмом распознавания в один источник. Из 197 подтвержденных нами ГРИ 72 радиоисточника являются известными гигантскими радиогалактиками или радиоквазарами, и 125 NVGRC-объектов впервые подтверждены как ГРИ. Большинство родительских объектов ГРИ относятся к галактикам (74%), 11% – к квазарам и 15% – к галактикам с избытком ИК-излучения. Согласно публикациям большинство ГРИ имеют морфологический тип FRII. Мы сравнили количество источников FRI и FRI/FRII типов с количеством источников FRII в зависимости от красного смещения родительских галактик. Оказалось, что на $z < 0.05$ количество источников FRII типа и количество FRI и FRI/FRII оказались практически равным, при $0.05 < z < 0.15$ доля последних составляет 30%, а на $z > 0.15$ резко падает и становится менее 10%. Преобладание гигантов типа FRII в списках ГРИ, скорее всего, является наблюдательной селекцией, обусловленной пределами чувствительности современных радиообзоров. Одно из объяснений гигантских размеров ГРИ заключается в том, что источник расположен в МГС низкой плотности, что позволяет радиодолям расширяться с минимальным сопротивлением. Искривление радиолепестков мы обнаружили у 38% ГРИ, и это указывает на относительно плотную окружающую

среду. Визуальный анализ фрагментов из оптических обзоров показал, что согласно фотометрическим красным смещениям 39% галактик-хозяев имеют соседей в окрестностях 50 кпк. Согласно публикациям еще 28% ГРИ принадлежат группам или скоплениям галактик. Доля ГРИ, расположенных в достаточно плотной среде, может быть выше. Большие размеры ГРИ также связывают с возрастом радиоструктуры, т.е. ГРИ – старые радиоисточники. Анализ морфологии и радиоспектров ГРИ показывает, что только 33% источников демонстрируют признаки затухания; 25% показывают признаки новой радиофазы.

Желенкова Ольга Петровна (Специальная астрофизическая обсерватория РАН)

Новые радиоданные об источниках программы поиска далеких галактик «Большое трио»

Радиоисточники с крутым и ультракрутым спектрами, выявленные в ходе обзоров эксперимента Холод, проведенного на радиотелескопе РАТАН-600 в 1989-1994 гг., легли в основу программы «Большое трио» по поиску далеких радиогалактик. С появлением новых обзоров неба в радио-, оптическом и инфракрасном диапазонах стало возможным провести углубленное исследование 113 источников выборки, чтобы определить их эволюционный статус, изучить характеристики окружения и проанализировать их спектральные характеристики. На основании выявленных морфологических и спектральных особенностей у пятой части источников обнаружены признаки одной из эволюционных фаз - начальной, затухающей или возобновления активности. Особенности радиоморфологии указывают на то, что 24 источника расположены в группах или скоплениях галактик либо демонстрируют признаки реориентации джетов. Особого внимания заслуживают четыре объекта, представляющие собой пары радиоисточников: расстояние между их родительскими галактиками составляет всего несколько десятков килопарсек. Анализ спектральных индексов выявил снижение числа источников, удовлетворяющих условию $\alpha \leq 0.9$. Согласно данным до 1996 года в диапазоне 365–3940 МГц этому критерию соответствовали 90 из 113 источников. По результатам новых обзоров число таких источников сократилось до 70 для близкого диапазона 340–3000 МГц. По спектральным индексам, определенным по данным низкочастотного диапазона 76–226 МГц, оказалось, что такому условию удовлетворяют 39 радиоисточников. Этую тенденцию можно объяснить инструментальными эффектами, вызванными различиями в угловом разрешении используемых обзоров, что приводит к ошибкам в определении интегральной плотности потока, а также уточнением низкочастотной части спектров по данным обзора GLEAM. Для отдельных источников наблюдаемые различия в спектральных индексах могут быть следствием внутренних эволюционных процессов, включая переменность источника.

**Захаров Евгений Игоревич (Институт космических
исследований Российской академии наук, Национальный
исследовательский университет “Высшая школа экономики”)**

***Поиск фотонного сигнала от аннигиляции частиц темной материи с помощью
NuSTAR: Ограничения на $\langle\sigma v\rangle$ после 11 лет наблюдений***

В работе представлены новые ограничения на независящее от скорости сечение аннигиляции $\langle\sigma v\rangle$ для частиц аннигилирующей темной материи кэВ-ого диапазона масс, основанных на 11-летних наблюдениях на рентгеновском телескопе NuSTAR. Используя фотоны от боковой засветки, обеспечивающие широкое поле зрения, мы проводим поиск фотонных сигнатур от аннигиляции темной материи в галактическом гало. Мы моделируем результирующий диффузный рентгеновский спектр в диапазоне энергий 3-20 кэВ и ищем линейчатые спектральные особенности, которые могут возникать в результате аннигиляции частиц темной материи в фотоны. Статистически значимого превышения над ожидаемым астрофизическим фоном не обнаружено. Поэтому мы устанавливаем верхние ограничения на $\langle\sigma v\rangle$ как функцию массы темной материи, предполагая независимую от скорости аннигиляцию s -волн и несколько профилей темной материи в Галактике. Наши результаты на данный момент являются наиболее строгими рентгеновскими ограничениями в этом диапазоне масс и согласуются с данными, полученными другими обсерваториями.

**Зибинская Дарья Алексеевна (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, СПбАУ РАН
им. Ж.И. Алфёрова)**

***Возможность обнаружения надтепловых ионов, ускоренных обратными ударными
волнами в остатках сверхновых***

Наша работа посвящена исследованию потенциальной возможности обнаружения частиц, ускоренных обратной ударной волной в остатках исторических сверхновых. В рамках исследования построена модель спектра гамма-излучения в широких линиях ионов металлов. Такой спектр формируется при неупругом рассеянии надтепловых ионов на неподвижных протонах с возбуждением ядерных уровней энергии. Мгновенно после рассеяния быстро движущееся ядро испускает гамма-квант с энергией 100 кэВ – 10 МэВ (в зависимости от сорта). Ускорение ионов может происходить на обратной ударной волне достаточно молодого остатка сверхновой по механизму Ферми II порядка, поэтому спектр надтепловых частиц считается степенным с варьированием спектрального индекса. Полученные широкие гамма-линии модельного спектра сравниваются с чувствительностями гамма-детекторов нового поколения, таких как e-ASTROGAM. Первые результаты демонстрируют теоретическую возможность обнаружения широких линий, и впоследствии – подтверждения наличия надтепловых ионов эжекты в остатках сверхновых.

Исламов Сардор Санжарович (Институт космических исследований)

Сложная морфология источника TXS 0506+056 – гравитационно линзированный джет?

В настоящее время известны два случая сильного гравитационного линзирования блазаров: B0218+357 и PKS 1830-211. Мы предполагаем, что источник TXS 0506+056 также может подвергаться линзированию. TXS 0506+056 – это первое активное ядро галактики, идентифицированное как источник излучения нейтрино экстремально высоких энергий (IceCube-170922A). Начиная с 2016 года, источник демонстрирует довольно сложную морфологию струи: радионаблюдения на частотах 8 и 15 ГГц выявляют четко выраженную дугообразную структуру. Такая морфология нетипична для блазаров, но естественным образом проявляется в случае сильного гравитационного линзирования. В данной работе обсуждается возможное линзирование изображения TXS 0506+056 на темном массивном объекте. В качестве возможной линзы рассмотрены два типа объектов: черная дыра и гало темной материи. Стандартный подход к моделированию гравитационного линзирования предполагает, что источник и линза являются плоскими поверхностями в космосе. Хотя это применимо к черной дыре, действующей как линза, это может быть неприменимо к блазару, у которого струя направлена на наблюдателя, то есть приближается к линзе. Мы разработали модель, учитывающую изменение расстояния между линзой и струей. Когда струя пересекает плоскость линзы, изображения струи остаются непрерывными, как и в «классическом» случае линзирования, однако более не являются гладкими. Эта особенность может быть использована в качестве наблюдательной диагностики для такого сценария. Мы привели набор наиболее вероятных конфигураций гравитационно линзированной системы – параметры линзы, расстояние между источником и линзой, их относительное расположение на небесной сфере и угол направления струи, – которые воспроизводят наблюдаемую морфологию в TXS 0506+056. Это решение не является уникальным из-за обнаруженного вырождения между массой линзы, расстоянием и углом направления джета. Мы заключаем, что, в целом, блазар TXS 0506+056 может быть гравитационно линзирован, и предлагаем использовать временные задержки между изображениями струй (поскольку блазар является сильно переменным источником) в качестве дополнительного ограничения для снятия вырождения.

Истомин Арсений Юрьевич (Московский физико-технический институт; Физический институт имени П. Н. Лебедева)

Статистические особенности ширин средних профилей радиоизлучения пульсаров.

Используя данные обзоров радиотелескопов FAST и MeerKAT был проведен детальный анализ распределений наблюдаемых ширин средних профилей радиопульсаров. При

этом, наличие высококачественных поляризационных данных позволило по отдельности рассматривать средние профили сформированные обычновенной (O) и необыкновенной (X) ортогональными модами излучения. Построив соответствующую модельную функцию распределения ширин были получены оценки на вид функций распределения пульсаров по углу наклона магнитной оси к оси вращения и по углу наблюдения. Кроме того, был проведен анализ зависимости ширин средних профилей интенсивности радиопульсаров от их периодов, позволившей найти статистически значимые отличия между выборками профилей сформированных O и X модами. Это, в свою очередь, может служить указанием на различие природы генерации ортогональных мод.

Калдыбекова Амина Балгалиевна (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)

Исследование свойств АЯГ, переключающих свой оптический класс и отобранных по переменности в рентгеновском диапазоне

Собраны архивные оптические спектры из выборки сильно-переменных активных ядер галактик (АЯГ), обнаруженных в обзоре SRG/eROSITA, чей рентгеновский поток меняется в десятки раз (Медведев и др. 2022). В этой выборке были выявлены источники, меняющие свой оптический тип (Changing-Look AGN, CL-AGN) между двумя архивными спектральными наблюдениями, разнесёнными на десятилетия. Для анализа таких объектов, особенно в контексте перехода между типами, важно надёжное и точное извлечение спектральных параметров АЯГ типа 1, таких как ширина и поток широких эмиссионных линий, поскольку они используются для оценки ключевых физических параметров — массы сверхмассивной чёрной дыры (СМЧД) и эддингтоновского отношения. Однако выделение профилей широких компонентов $\text{H}\alpha$ и $\text{H}\beta$ и измерение их параметров сопряжены с трудностью вычитания вклада звёздного излучения родительской галактики и корректной оценкой фонового континуального излучения АЯГ.

В данной работе представлены результаты и обсуждены сложности моделирования таких спектров с использованием программного кода на Python — FANTASY (Fully Automated python Tool for AGN Spectra analYsis), который позволяет учитывать описанные выше сложности.

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

“Черные вдовы” PSR J0312-0921 и PSR J1627+3219 в оптическом и рентгеновском диапазонах

“Черные вдовы”, подкласс “пульсаров-пауков”, — это двойные системы с орбитальным периодом менее дня, состоящие из миллисекундного пульсара и маломассивного, с

массой менее 0.05 масс Солнца, компаньона. Обращенная к пульсару сторона компаньона нагревается его излучением и ветром релятивистских частиц, что приводит к модуляции оптического блеска. Испаряющее вещество, в свою очередь, может вызывать затмения радиоизлучения пульсара.

“Черные вдовы” PSR J0312-0921 и PSR J1627+3219 были недавно открыты в радио- и гамма-диапазонах. Их орбитальные периоды составляют 2.34 и 3.98 часа. Мы провели первые фазово-разрешенные многополосные фотометрические наблюдения источников на 10.4-метровом Большом Канарском телескопе, а также проанализировали архивные данные обсерваторий Swift и XMM-Newton.

Оптические кривые блеска обоих источников довольно симметричны, демонстрируют один пик на период с амплитудой переменности более двух звездных величин. Их аппроксимация моделью прямого нагрева позволила получить первые оценки параметров систем и их компонентов: масс, температур и степеней заполнения полости Роша компаньонов, масс пульсаров, наклонений орбит, а также независимые оценки расстояний.

Для J1627+3219 был обнаружен кандидат на отождествление в рентгеновском диапазоне. Его спектр может быть описан степенным законом с параметрами, типичными для “черных вдов”. Для J0312-0921 был установлен верхний предел на рентгеновский поток.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-12-00048-П.

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

Взаимодействие межзвездных пузырей

Рассматривается взаимодействие пузырей звёздных ветров от молодых массивных звёзд спектральных классов О и В. Рассчитываются параметры плазмы в области взаимодействия пузырей. Исследуется эволюция этих пузырей в результате этого взаимодействия. Анализируются условия, при которых может происходить объединение межзвездных пузырей в один сверхпузырь и оцениваются его параметры.

Кляйн Юлия Сергеевна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

Природа сверхэдингтоновских вспышек в массивной рентгеновской двойной LMC X-4

LMC X-4 — яркий рентгеновский пульсар в массивной двойной системе, в которой наблюдается сверхкритическая акреция. Также в ней наблюдаются вспышки, сопровождающиеся

быстрыми изменениями профиля импульса. Для объяснения этих изменений были предложены и рассмотрены гипотезы изменения динамики вращения нейтронной звезды, диаграммы направленности излучения и геометрии излучающей зоны. На основе данных наблюдений, содержащих вспышечную активность, была построена зависимость периода вращения пульсара от времени. Анализ показал, что вращательная динамика нейтронной звезды остаётся неизменной во время вспышечной активности и сразу после нее. Однако, спустя значительную временную задержку (порядка полдня) после окончания вспышек, обнаруживается переход к другому решению, описывающему изменение периода вращения со временем. Также было показано, что во время вспышек аккреционная колонка не разрушается. Таким образом, во время вспышек изменение колонки и, соответственно, изменение в профиле импульса диктуется только изменением темпа акреции.

Князев Фёдор Алексеевич (Московский физико-технический институт)

Анализ распределения ортогональных интеримпульсных пульсаров по данным обзоров FAST и MeerKat

Данные каталогов FAST и MeerKAT значительно увеличили количество радиопульсаров, у которых детально определены поляризационные характеристики их средних профилей. Это впервые позволило на однородной выборке определить относительное количество ортогональных интеримпульсных пульсаров. При этом, был подтвержден полученный ранее на меньшей статистике (и неоднородной выборке) вывод о том, что количество ортогональных интеримпульсных пульсаров составляет не менее 3%, что позволяет сделать вывод о направлении эволюции угла наклона магнитной оси к оси вращения

Ковалев Юрий Андреевич (Физический ин-т им.П.Н.Лебедева РАН)

Астрофизические источники джозефсоновского излучения

Нестационарный эффект Джозефсона может быть очень “выигрышной” и простой причиной излучения астрофизических объектов со сверхпроводимостью в их недрах и внутренним магнитным полем (пульсары, транзиенты; нейтронные звезды; возможно, белые карлики и планеты-гиганты, рентгеновские барстеры). Тогда возможна генерация излучения смесью бозонов с фермионами, которая (и если!) образует “слабо-связанные” микроструктуры (переходы Джозефсона) с вихревым током через них благодаря внутреннему магнитному полю во внешних ядрах нейтронных звезд (подробнее см., например, в постерном докладе автора на предыдущей конференции НЕА-2024). Здесь обсуждается реализуемость основных допущений в такой модели. Главный вопрос: корректно ли предположение

о “слабой сверхпроводимости губчатой микроструктуры” для замагниченной смеси бозонов (пар протонов) и фермионов (нормальных нейтронов и электронов) в нейтронных звездах? Положительный ответ основан на принципе подобия и аналогии условий в звездах и в лаборатории: 1) фермионы возмущают на расстоянии L в своей окрестности волновую функцию бозонов аналогично тому, как “слабая связь” длиной L возмущает волновую функцию сверхпроводника в лаборатории (используется эффект близости и электродинамика Асламазова и Ларкина, 1969), 2) отношения расстояний L между фермионами к длине d когерентности бозонов в смеси ($d \sim$ “размер бозона”) могут быть близкими в лаборатории и звездах : $L/d \sim 1$ или $L/d < 1$ (тогда как значения L и d по отдельности отличаются в звездах от лабораторных на много порядков); 3) сегодня “внутренний эффект Джозефсона с излучением сотен внутренних переходов Джозефсона из слоистых сверхпроводников в лаборатории” (Kleiner R., Wang H., 2019; Хан и др., УФН, июнь-2025) может рассматриваться как наиболее близкая лабораторная модель излучения к обсуждаемой модели астрофизических источников (Kovalev, 1976; 1979; 1980), впервые предложенной около 50 лет назад.

Кованкин Александр Сергеевич (Физический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова)

Обнаружение новых источников очень высоких энергий вне галактической плоскости в данных Fermi-LAT

Мы представляем результаты поиска пространственно-временных кластеров (с использованием алгоритма DBSCAN) в 16-летних данных телескопа Fermi-LAT в диапазоне очень высоких энергий (very-high-energy, VHE; $E > 100$ ГэВ) на высоких галактических широтах ($|b| > 10^\circ$), содержащих более пяти событий, а также транзиентных дублетов (два события в пределах трёх дней). Из 107 обнаруженных кластеров два соответствуют ранее неопознанным VHE-источникам – слабым объектам типа BL Lacertae: 4FGL J0039.1-2219 и 4FGL J0212.2-0219, которые представляют собой перспективные цели для наблюдений на телескопах следующего поколения, работающих в диапазоне VHE.

Благодаря низкому фону VHE-фотонов даже дублеты с длительностью в несколько дней обладали высокой статистической значимостью. В то время как большинство из 114 обнаруженных дублетов происходили от ярких источников в ТэВ-диапазоне (например, Mrk 421, Mrk 501), нами были идентифицированы шесть VHE-вспышек, не связанных с источниками из каталога TeVCAT. Пять из этих вспышек коррелируют с источниками из Третьего каталога высоконергетических источников Fermi-LAT (3FHL), тогда как одна «изолированная» вспышка не имеет соответствующего источника в диапазоне высоких энергий (high-energy, HE; $E > 10$ ГэВ). Некоторые из этих вспышек достигали экстремальных светимостей порядка 10^{47} эрг/с.

Временной корреляции между активностью в НЕ- и VHE-диапазонах выявлено не было: НЕ-вспышки могли предшествовать, совпадать или следовать за VHE-излучением, а в отдельных случаях НЕ-аналог вовсе отсутствовал. Примечательно, что 3FHL J0308.4+0408 (NGC 1218) является Сейфертовской галактикой I типа; ранее объекты этого класса не были известны как источники VHE-излучения. «Изолированная» вспышка без известных близлежащих НЕ-источников может быть связана с NGC 5549 — галактикой типа LINER с низкой светимостью. Оба источника расширяют ограниченную выборку активных ядер галактик, не являющихся блазарами, обнаруженных на очень высоких энергиях. Тот факт, что некоторые слабые источники с несоосными джетами и, порой, даже без признаков активности в НЕ-диапазоне могут демонстрировать крайне короткие и мощные VHE-вспышки, трудно объяснить в рамках большинства современных моделей АЯГ и требует их дальнейшего развития.

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

Частотный спектр радиоизлучения синхротронного мазера в модели токового слоя в приложении к пульсару в Крабовидной туманности

Мазерный механизм синхротронного излучения способен обеспечить нарастание мощности шумового затравочного излучения в 2,7 раза на весьма короткой трассе порядка длины волны в оптимальном режиме, когда плотность энергии магнитного поля порядка плотности энергии релятивистских частиц (Корягин, 2023). Необходимое соотношение плотностей энергии реализуется в релятивистском токовом слое, где плазма удерживается от разлёта собственным магнитным полем. В работе рассмотрена модель источника мазерного радиоизлучения в виде токового слоя (типа слоя Харриса), в котором плотность потока энергии ограничена сверху так называемой релятивистской интенсивностью (Soglasnov, 2007; Ландау и Лифшиц, Т. 2, § 48). По достижении указанной плотности энергии излучаемое электромагнитное поле приводит к сильным осцилляциям направления импульса частицы, выводящим последнюю из синхронизма с затравочной волной. Изучен вариант, что направление затравочной волны для мазерного излучения случайным образом меняется относительно нормали слоя между последовательными оборотами пульсара, равно как и ориентация плоскости слоя по отношению к лучу зрения. Такой подход варьирует частоту узкого мгновенного максимума мазерного излучения и характерную видимую наблюдателем поперечную площадь источника. В результате получен показатель степенного частотного спектра среднего радиоимпульса пульсара в случае изотропного и анизотропного распределения направлений затравочных волн. Наблюдаемому резко спадающему спектру радиоизлучения пульсара в Крабовидной туманности (Buhler and Blandford, 2014) соответствует вариант достаточно узко локализованного распределения направлений выхода мазерного излучения почти нормально к плоскости токового слоя.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (государственное задание ИПФ РАН по теме FFUF-2023-0002 “Структуры, динамика и волны в лабораторной и космической

плазме, квантовых материалах и газах”).

Косенко Дарья Николаевна (Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе)

Эмиссионные линии СП и HD в ранних галактиках

В работе представлена модель, позволяющая рассчитать интенсивности излучения галактик в линиях СП (158 $\mu\text{м}$) и HD (112 $\mu\text{м}$) на больших красных смещениях. Дейтерированный водород HD и однократно ионизованный углерод СП являются одними из основных трассеров холодной фазы межзвездной среды (МЗС), поэтому их изучение чрезвычайно важно для понимания физических и химических процессов в холодной МЗС. Тем не менее, на больших красных смещениях изучение этих элементов затруднено, так как основной способ их детектирования – это спектроскопия абсорбционных линий среды, попадающей на луч зрения наблюдателя – яркий фоновый источник. При этом эмиссионное излучение в линиях HD и СП от удаленной галактики слишком слабое для детектирования современными телескопами. Одним из возможных способов изучения этих элементов является метод картографирования линий (Line intensity mapping), который состоит в детектировании излучения в определенной линии от всех источников в поле зрения телескопа. Наша модель включает в себя сэмплирование галактик из функции светимости на заданном красном смещении, а также тепловой баланс для корректного расчета населеностей уровней тонкой структуры СП и вращательных уровней HD в галактике на произвольном расстоянии от ее центра. Это позволяет рассчитать профили светимостей в линиях СП и HD и найти полные светимости галактик в этих линиях. Также рассчитаны средние интенсивности излучения галактик в линиях HD и СП на больших красных смещениях и интенсивности излучения в линиях CO, CI и фонового инфракрасного излучения, которые препятствуют детектированию линий HD и СП. Кроме того, рассчитаны спектры мощности и выполнена оценка возможности детектирования HD и СП современными инструментами.

Работа поддержана грантом BASIS 24-1-2-76-3.

Краав Кирилл Юрьевич (Физико-технический институт имени А. Ф. Иоффе РАН)

Описание релятивистских неаналитических r-мод в терминах функций Хаффа

R-моды представляют собой квазитороидальные колебания вращающихся звезд, управляемые преимущественно силой Кориолиса. Будучи наиболее восприимчивыми к гравитационно-волновой неустойчивости Чандraseкара-Фридмана-Шатца, r-моды являются перспективными кандидатами для текущих и будущих наблюдений нейтронных звезд. В то время как методы их моделирования в рамках ньютоновской теории хорошо развиты, их моделирование

с учетом эффектов общей теории относительности оказывается существенно сложнее, в особенности из-за эффекта увлечения инерциальных систем отсчета (и.с.о.). Известно, что, когда этот эффект является слабым, радиальная зависимость собственных функций r -мод от скорости вращения становится неаналитической, а их угловая зависимость сохраняет такой же вид, как в ньютоновской теории. В данной работе предлагается обобщение теории неаналитических релятивистских r -мод на случай конечного – не обязательно слабого – эффекта увлечения и.с.о. Получены уравнения, позволяющие моделировать релятивистские r -моды в пределе медленного вращения звезды. Изучены угловая и радиальная зависимости собственных функций релятивистских r -мод в данном пределе. Показано, что в общем случае конечного увлечения и.с.о. модифицируется не только радиальная зависимость собственных функций r -мод, но и угловая, причем последняя описывается так называемыми функциями Хаффа. Предлагаемое описание релятивистских r -мод позволяет избежать нефизичных сингулярностей, возникающих при предпринимавшихся в литературе попытках моделирования r -мод с помощью стандартных спектральных методов.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-12-00048-П [<https://rscf.ru/project/22-12-00048/>].

Лазарев Антон Денисович (Физический Факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова)

Бимодальность кика радиопульсаров и ее связь с другими параметрами.

Основываясь на гипотезе о бимодальном распределении кика нейтронных звезд, мы исследуем различия в свойствах различных наблюдаемых параметров радиопульсаров для объектов, попадающих в разные моды начального распределения скоростей. На первом шаге мы формируем выборку пульсаров, для которых затем проводится обратное интегрирование траекторий в галактическом потенциале с целью определения начальных скоростей. На основе полученных результатов пульсар относится или к низкоскоростной, или к высокоскоростной моде. Затем, для пульсаров, относящихся к каждой из мод, строятся распределения параметров, представленных в каталоге ATNF.

Полученные распределения испытывают влияние эффектов селекции. Так, например, ожидаемо, пульсары, относящиеся к низкоскоростной моде, имеют в среднем большие характеристические возраста и меньшие расстояния от Солнца. С другой стороны, параметры, мало подверженные эффектам селекции, такие как ширина импульсов W50, не демонстрируют различий между популяциями.

Нами обнаружено, что распределения по эффективным магнитным полям (полученным по данным о периоде и первой производной) для двух мод кика значимо различаются. Пульсары с малым киком могут иметь достаточно низкие поля, в то время как все пульсары нашей выборки, относящиеся к высокоскоростной моде, имеют поля выше 10^{11} Гс. Частично, это может объясняться эффектами селекции. Однако построенное нами распределение

поле-расстояние для двух киковых мод дает косвенные указания на возможное различие двух распределений. Для прояснения этого вопроса необходим детальный популяционный синтез, который мы планируем провести на следующем этапе исследования.

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

Энергетический критерий возникновения турбулентности в аккреционных дисках вокруг чёрных дыр Керра

Современная астрофизика аккреционных дисков объясняет наблюдаемые параметры аккреционных дисков при помощи турбулентности. Турбулентность значительно увеличивает эффективную вязкость внутри диска, за счет чего увеличивается темп акреции. В контексте акреции на чёрные дыры существует проблема генерации турбулентности в отсутствии магнитного поля. Считается, что турбулентность возникает, когда бесконечно малые возмущения возрастают настолько, что начинают влиять на макроскопическую динамику. Но аккреционный диск без магнитного поля с кеплеровским профилем угловой частоты (профиль свободного вращения вокруг точечной массы) спектрально устойчив относительно бесконечно малых возмущений. В связи с этим существует проблема возникновения турбулентности, механизм которой до конца не выяснен. В нашей работе используется динамика с учетом общей теории относительности вблизи внутреннего края диска — радиуса последней устойчивой орбиты [1]. Использован критерий числа Тейлора, похожий на критерий числа Ричардсона, предложенный Зельдовичем [2], чтобы выяснить энергетическую возможность развития турбулентности за счет возникновения осесимметричных возмущений. Получено, что в отличие от кеплеровского профиля угловой скорости, в аккреционном диске возможно развитие неустойчивости в диапазоне радиусов, зависящие от удельного момента вращения черной дыры. 1. Shakura, N.I.; Lipunova, G.V. Logarithmic potential for the gravitational field of Schwarzschild black holes // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 2018, №480(3). p. 4273-4277. 2. Zeldovich, Y.B. On the friction of fluids between rotating cylinders // Proceedings of the Royal Society A. 1981, №374. p. 299–312

Лучинская Анна Александровна (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)

Построение долговременных рентгеновских кривых блеска сильно-переменных АЯГ из обзора СРГ/еРОЗИТы.

В данной работе исследуется долгосрочная рентгеновская изменчивость сильно переменных активных ядер галактик (АЯГ), представленных в статье Медведева и др. Для этого были найдены архивные данные трех телескопов, Swift, Chandra и XMM-Newton для 18 объектов

из списка Медведева и др. за последние 20 лет. На основе архивных данных были получены спектры, потоки, светимости, индексы переменности, болометрическая светимость и т.д.

В целом, спектральные характеристики, наклон спектра, внутренне поглощение объекта, поток в диапазоне 0.3-2.3 кэВ и светимость в диапазоне 0.3-8 кэВ, сходятся со статьей Медведева и др. в пределах погрешностей для большинства объектов. Выделено 5 объектов, для которых были получены еще более высокие значения индекса переменности, что указывает на существенные изменения их рентгеновской активности на многолетних масштабах.

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

О положении радиопульсаров с жёстким излучением на диаграмме Pdot-P и их эволюции

Проведен анализ расположения радиопульсаров с зарегистрированным от них жёстким излучением на диаграмме Pdot-P. За исключением 7 объектов с предполагаемой аномальной эволюцией остальные источники рассмотренной выборки лежат выше линии смерти, вычисленной для гамма-пульсаров. Показано, что торможение вращения пульсаров с периодами 30 мсек $< P < 100$ мсек может быть описано в рамках традиционной модели магнитодипольного изучения. Для объяснения торможения миллисекундных и долгопериодических пульсаров, периоды которых не попадают в указанный диапазон, необходимо рассматривать омические потери с учётом полей и токов в магнитосфере нейтронной звезды. Радиопульсары с рентгеновским излучением лежат на диаграмме Pdot-P над линией смерти. Эволюция объектов в этой популяции вызывается взаимодействием с окружающим веществом.

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

О радиопульсарах с магнитными полями в диапазоне $10^9 - 10^{10}$ Гс

Проанализирован ряд особенностей радиопульсаров с магнитными полями на их поверхности в диапазоне $10^9 - 10^{10}$ Гс. На распределении магнитных полей пульсаров из каталога ATNF исследуемая выборка соответствует минимуму между миллисекундными и нормальными пульсарами. Приведены аргументы в пользу предположения о том, что центральные нейтронные звёзды в этой выборке находятся в двойных системах и

продолжают раскручиваться за счёт акреции вещества, вытекающего из компаньона. Около 70 % исследуемых пульсаров действительно входят в состав двойных систем. Они должны быть моложе миллисекундных пульсаров, достигших минимального значения периода вращения. Действительно их средний характеристический возраст оказывается в 2.5 раза короче, чем у миллисекундных объектов, а кинематический возраст, который значительно ближе к реальному, равен нескольким миллионам лет. За это время они не могли уйти далеко от диска Галактики, где они родились и эволюционировали. Действительно они сконцентрированы вблизи диска, а их высота Z над плоскостью Галактики не превышает для большей части пульсаров исследуемой выборки нескольких десятков парсек.

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

Моделирование излучения и гидродинамики акреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров

Работа посвящена изучению свойств акреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров. На основе самосогласованного радиационно-гидродинамического кода расчитывается гидродинамическая структура плазмы, акрецирующей на поверхность нейтронной звезды. При помощи метода Монте-Карло вычисляются спектры и поляризация излучения, выходящего из акреционного канала. Учитывается резонансное комптоновское рассеяние и поляризация вакуума. Рассматриваются различные величины темпа акреции на нейтронную звезду. Работа была поддержана грантом РНФ № 24-12-00320

Мартыненко Николай Сергеевич (Физический факультет Московского государственного университета и Институт ядерных исследований Российской академии наук)

Высокоэнергичные фотоядерные взаимодействия и систематическая неопределенность числа мюонов в широких атмосферных ливнях

В Монте-Карло (МК) моделировании широких атмосферных ливней (ШАЛ) известна так называемая проблема мюонного избытка – статистически значимое превышение числа наблюдаемого в экспериментах мюонов над соответствующим ожиданием из МК симуляций при высоких энергиях космических лучей, индуцирующих ШАЛ. Для детального анализа данной проблемы необходимо учитывать все каналы систематических неопределенностей, имеющиеся в МК симуляциях. Вместе с тем, большинство исследований до недавнего времени фокусировалось лишь на доминантном механизме производства мюонов – в адронных взаимодействиях. В настоящей работе рассмотрен субдоминантный,

электромагнитный механизм рождения мюонов в ШАЛ через фотоядерные взаимодействия. Разработан аналитический метод, позволяющий связать неопределенность фотоядерного сечения при высоких энергиях с итоговой неопределенностью в числе мюонов. Обсуждается влияние этих неопределенностей на статус проблемы мюонного избытка и некоторых других экспериментальных результатов в физике ШАЛ.

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

Влияние эффектов общей теории относительности на момент инерции магнитного поля пульсара

В данной работе рассматривается зависимость вклада в тензор инерции радиопульсара гармоник внешнего неосесимметричного магнитного поля звезды от параметра мультипольности и отношения гравитационного радиуса к радиусу самой звезды. Искривление пространства-времени учитывается в рамках метрики Шварцшильда.

Махиня Диана Вадимовна (Филиал Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Сарове)

Исследование квазипериодических всплесков ультраяркого рентгеновского источника RX J1301.9+2747

Представлены результаты спектрального и временного анализа рентгеновского излучения активно аккрецирующей сверхмассивной чёрной дыры в RX J1301.9+2747, демонстрирующей квазипериодические всплески (КПВ) рентгеновского излучения. Для исследования особенностей формирования рентгеновского спектра этого источника во время КПВ, используя наблюдения ASCA, ROSAT, XMM-Newton и NICER с применением модели комптонизации. Мы обнаружили увеличение фотонного индекса Γ с темпом акреции массы \dot{M} , насыщение индекса при $\Gamma_{\text{sat}} = 2,7 \pm 0,1$ при высоких значениях \dot{M} во время пиков вспышек. Эта корреляция $\Gamma - \dot{M}$ позволила оценить массу сверхмассивной чёрной дыры в RX J1301.9+2747, $M \sim 5 \times 10^6 M_{\odot}$, используя метод масштабирования, применяя HLX-1 ESO 243-49, OJ 287 и 1H 0707-495 в качестве опорных источников. Мы также оценили массу чёрной дыры в RX J1301.9+2747 альтернативным методом в состоянии покоя источника, применяя анализ спектра мощности, в котором мы оцениваем размер комптоновского облака (СС) как $L_{\text{CC}} \sim 5 \times 10^{11} \text{ см}^3$. Предполагая, что это значение L_{CC} близко к радиусу Шварцшильда ЧД, мы подтвердили, что масса сверхмассивной чёрной дыры в центре RX J1301.9+2747 имеет порядок $2 \times 10^6 M_{\odot}$.

Мегрелишвили Багратион Анзорович (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

Формирование импульсов рентгеновских пульсаров с высокими акреционными колонками

Многие рентгеновские пульсары демонстрируют сложные, асимметричные и переменные профили импульсов, для объяснения которых предлагаются сложные конфигурации магнитного поля или смещение акреционных областей относительно магнитных полюсов. В данном исследовании мы предлагаем альтернативный механизм, демонстрирующий, что асимметричные профили могут быть получены в модели со строго дипольным полем и центральной симметрией при наличии высоких акреционных колонок. В основе нашей модели лежит последовательный учет трёхмерной геометрии акреционных колонок, в особенности их кривизны и азимутального положения. Мы демонстрируем, что ослабление и отражение излучения колонок от быстрых потоков плазмы в магнитосфере над колонками имеет решающее значение для формы импульсов от рентгеновских пульсаров при темпах акреции $> 1e18$ г/с. Мы проводим исследование распределений наблюдаемых характеристик профилей импульсов по полярным углам наблюдателя, степени азимутального заполнения магнитосферы плазмой и азимутальному смещению акреционной колонки.

Михайлов Александр (Специальная Астрофизическая Обсерватория Российской Академии Наук)

Тестирование парадигмы магнитного потока в радиогалактиках FR0 и NLS1 галактиках

Механизмы генерации релятивистских джетов в активных ядрах галактик (АЯГ) остаются одной из важнейших проблем астрофизики. Согласно парадигме магнитного потока, помимо быстровращающейся сверхмассивной черной дыры (СМЧД), для эффективного извлечения вращательной энергии черной дыры и формирования мощного джета необходим значительный поток полоидального магнитного поля Φ_{BH} , пересекающего черную дыру и акреционный диск. Магнитный поток может накапливаться в процессе акреции до некоторого предельного значения Φ_{MAD} , при котором давление магнитного поля уравновешено давлением газа и излучения, формируя т. н. magnetically arrested disk (MAD). Zamaninasab et al. 2014 показали, что 76 радио-громких АЯГ (преимущественно блазары) находятся в состоянии близком к MAD. Для тестирования парадигмы магнитного потока необходимо также изучение АЯГ с менее мощными джетами. Chamani et al. 2021 показали, что для подобного объекта, III Zw 2, магнитный поток в окрестности СМЧД значительно меньше ожидаемого в MAD состоянии, что является свидетельством в пользу парадигмы магнитного потока. В данном докладе представлены результаты вычислений магнитного потока в окрестности СМЧД для ряда компактных радиогалактик умеренной

светимости (FR0) и сейфертовских галактик 1 типа с узкими линиями (NLS1). Расчеты магнитного поля в рассматриваемых объектах основаны на моделировании радиоспектров механизмом синхротронного самопоглощения. Обсуждается положение этих объектов на диаграмме $\Phi_{\text{BH}} - \Phi_{\text{MAD}}$ с учетом неопределенностей ряда ключевых параметров.

Михайлова Мария Владимировна (Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»)

Природные источники фона для радио-нейтринных обсерваторий

Радио-нейтринные обсерватории нацелены на регистрацию нейтрино с энергиями свыше 10 ПэВ. Метод обнаружения основан на поиске аскарьяновских радиосигналов от взаимодействий нейтрино во льду. К действующим экспериментам относятся ARA на Южном полюсе и RNO-G в Гренландии; также существует более масштабный проект IceCube-Gen2 Radio. Поскольку в радиодетекторах неизбежно присутствуют радиопомехи, на фоне которых необходимо выделять редкие нейтринные сигналы, исследование фона имеет крайне важное значение. Данный доклад освещает фоны естественного происхождения, обнаруженные в радиоэкспериментах, такие как разряды во время штормов и солнечные вспышки. Представлены результаты исследований, проведённых в рамках экспериментов RICE, AURA и RNO-G. Работа позволяет глубже понять природу различных радиопомех и демонстрирует возможности использования фоновых сигналов для калибровки детектора.

Мишакина Александра Викторовна (Московский физико-технический институт, Национальный Исследовательский Центр “Курчатовский Институт”, Институт Астрономии РАН)

Двойные системы промежуточных масс: на пути от неуловимых гелиевых звезд к компактным объектам

Работа посвящена исследованию эволюции тесных двойных систем (ТДС) промежуточных масс (4–20 масс Солнца), от начальной главной последовательности до формирования конечных связанных или одиночных объектов. С использованием программы для расчетов звездной эволюции MESA построена плотная сетка моделей ТДС промежуточных масс. Расчеты детально учитывают физику звезд, в том числе вращение, конвективное перемешивание, потерю массы за счет звездного ветра, приливное взаимодействие. Основное внимание уделено устойчивости обмена веществом и формированию общих оболочек в ТДС. При обмене веществом использовался неконсервативный сценарий, основанный на предположении, что акреция невозможна после достижения акретором

критической скорости вращения (Пакет, 1981). В этом случае отслеживалась возможность удаления вещества из окрестностей двойной системы.

Интерес к ТДС указанного диапазона масс обусловлен тем, что после прохождения эволюционной стадии пока не наблюдаемых из-за неизвестных эволюционных факторов или эффектов селекции гелиевых звезд, они могут порождать массивные двойные белые карлики (возможные предшественники Сверхновых типа Ia) и значительную часть коллапсирующих Сверхновых с дефицитом водорода (Ib, Ic, IIb). Также, в этих ТДС формируются звезды Be, рентгеновские источники типа Be/X и существенная доля двойных и одиночных нейтронных звезд.

Мишкина Александра Викторовна (Московский физико-технический институт, Национальный Исследовательский Центр “Курчатовский Институт”, Институт Астрономии РАН)

Быстрое вычисление шаблонов гравитационных волн при слиянии компактных звёзд и чёрных дыр

Большинство регистраций гравитационных волн осуществляется при помощи метода согласованной фильтрации, который сравнивает данные с детекторов (LIGO, VIRGO, KAGRA) с предварительно смоделированными сигналами (шаблонами).

Банки шаблонов, используемые LIGO, основаны либо на постニュтонаовском (PN) формализме для фазы сближения, либо на результатах численных расчетов в OTO – Numerical Relativity (NR) для фазы слияния и затухания. LIGO не использует напрямую численные шаблоны в реальном времени, но применяет аналитические аппроксимации, интерполированные по численным данным.

Однако существует потребность в более быстрых аналитических шаблонах, которые бы эффективно идентифицировали сигналы гравитационных волн от двойных систем на самых ранних стадиях сближения.

В докладе обсуждаются возможности полностью аналитического расчета форм гравитационных волн с использованием систем компьютерной алгебры Maxima и Mathematica.

Предложен быстрый метод получения полностью аналитических аппроксимаций для форм гравитационных волн, порождаемых при слиянии нейтронных звезд и черных дыр. Проведено сравнение полученной аппроксимационной формулы с численным расчетом, выявлены ее точность и пределы применимости.

Мкртчян Аркадий Ашотович (Институт космических исследований РАН)

Регистрация поляризации и спектра экстремально ярких гамма-всплесков на примере моделирования GRB 221009A

Гамма-всплеск GRB 221009A, отличающийся рекордной яркостью, стал уникальным примером для тестирования современных методов регистрации спектра и поляризации гамма-излучения. В работе проведено моделирование регистрации этого гамма-всплеска с использованием сегментированного сцинтиляционного детектора на основе спектральных данных эксперимента Konus-WIND. Особое внимание уделено учету инструментальных эффектов: мертвому времени детектора, наложению импульсов (pile-up) и временному разрешению детектора. Они оказывают критическое влияние на точность восстановления спектральных и поляриметрических характеристик при экстремальных потоках излучения. Показано, что сегментированная структура детектора существенно снижает искажения спектра и позволяет эффективно регистрировать степень линейной поляризации для умеренных потоков (не выше $\sim 10^{-5}$ эрг/см 2 /с). При пиковых значениях потока, соответствующих основному максимуму GRB 221009A ($\sim 10^{-2}$ эрг/см 2 /с), надежное измерение поляризации становится невозможным из-за увеличения количества событий, при которых два почти одновременно поглощенных фотона ошибочно воспринимаются как результат комптоновского рассеяния одного фотона. В работе представлены критерии отбора фотонов для достоверных поляриметрических измерений и рассмотрены подходы к регистрации поляризации гамма-всплесков высокой интенсивности в будущих экспериментах.

Мороз Юлия Сергеевна (Институт ядерных исследований РАН)

Анализ возможных источников космических лучей сверхвысоких энергий с помощью сверточных графовых нейронных сетей

Предлагается метод анализа направлений прилета космических лучей сверхвысоких энергий (КЛСВЭ) с использованием классификатора на основе графовой сверточной нейронной сети (ГСНС). Представленный подход позволяет обнаруживать крупномасштабную анизотропию распределения КЛСВЭ, связанную с наличием близкого источника, находящегося на расстоянии до 20 Мпк. Благодаря более высокой чувствительности ГСНС к наличию локальных пространственных структур, их использование уменьшает требуемое для обнаружения анизотропии минимальное число наблюдаемых событий по сравнению с традиционными подходами, например на основе анализа углового спектра мощности. В работе демонстрируется применение разработанного подхода для оценки возможного вклада ряда ближайших активных ядер галактик в поток КЛСВЭ, наблюдаемый обсерваторией Пьера Оже.

Никифоров Айсен Гаврильевич (Институт астрономии Российской академии наук)

Влияние эксцентризитета на коллапс эллипсоида в черную дыру

Мы рассматриваем гравитационный коллапс однородного эллипсоида без давления. Мы показали, что минимальный размер r , которого может достичь эллипсоид при коллапсе, зависит от его начального эксцентризитета e_0 как $r \propto e^{\frac{1}{2}} e_0$, где $e \approx 15/8$, и эта зависимость весьма универсальна. Мы оценили параметры (в частности, начальный эксцентризитет) однородного эллипсоида без давления, при котором он коллапсирует непосредственно в черную дыру. Наше рассмотрение является чисто ньютоновским, но мы представляем обсуждение, предполагающее, что результаты, полученные в рамках общей теории относительности, вряд ли будут существенно отличаться.

Новикова Софья Владимировна (Санкт-Петербургский государственный университет)

Электрон-позитронные пары в горячих плотных колонках сверх-критических пульсаров.

Работа посвящена изучению возможности обильного рождения электрон-позитронных пар в аккреционных колонках рентгеновских пульсаров. Величины плотности, температуры и скорости вещества в колонке могут достигать экстремальных значений. Расчёты [1], выполненные в равновесном приближении, показывают, что при таких условиях в колонках могут возникать значительные концентрации электрон-позитронных пар, которые должны сильно влиять на прозрачность вещества. В ходе работы рассчитаны сечения и интегральные темпы рождения и аннигиляции электрон-позитронных пар в сильном магнитном поле в результате однофотонных процессов. Проведено численное решение системы кинетических уравнений, описывающих эволюцию пар в плотной аккреционной колонке. Определены характерные временные масштабы установления равновесия и найдены равновесные концентрации электронов и позитронов при различных параметрах. Работа И. Д. Маркозова была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики БАЗИС. [1] Alexander A Mushtukov, Igor S Ognev, Dmitrij I Nagirner, Electron-positron pairs in hot plasma of accretion column in bright X-ray pulsars, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society: Letters, Volume 485, Issue 1, May 2019, Pages L131–L135, <https://doi.org/10.1093/mnrasl/slz047>.

Ожередов Вадим (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

Создание каталога протонных возрастаний монитора радиационной обстановки Спектр-РГ

Индикатором протонных событий является возрастание счета детекторов Спектр-РГ в энергетическом диапазоне 60-120 кэВ. В работе [1] была предложена процедура автоматического обнаружения всплесков во временном ряде данных. Метод был успешно протестирован на самом «урожайном» на протонные периоде 25 цикла в мае-июне 2024. Однако, он требует слишком большого количества вычислений для адаптации его параметров, поэтому в реальном времени неприменим. В докладе будет представлен новый, более быстрый алгоритм обнаружения протонных возрастаний на основе пересечения экспоненциальных скользящих средних и рекуррентной аппроксимации фона, который эффективно обнаруживает протонные возрастания как на спокойном фоне, так и в случае не законченного предыдущего возрастания. Новый метод даёт точно такие же результаты для периода мая-июня 2024, и при этом имеет меньше настроенных параметров и в сотни раз большую скорость работы, что может позволить в будущем использовать его в автоматическом режиме. Будут представлены результаты автоматического выделения протонных возрастаний из сигнала Спектр-РГ с 2020 по настоящее время и их сравнение с каталогом НИИЯФ МГУ [https://swxdev.sinp.msu.ru/apps/sep_events_cat/].

Панарин Степан Сергеевич (Казанский (Приволжский) Федеральный Университет)

Рентгеновская активность звезд рассеянного скопления Альфа Персея по данным СРГ/eROSITA

Мы исследовали рентгеновскую активность звезд молодого рассеянного скопления Альфа Персея, используя данные обзора неба телескопом eROSITA орбитальной обсерватории СРГ и оптический каталог из 1406 членов скопления, построенный на основе данных Gaia. В результате перекрестной идентификации найдено 526 рентгеновских источников, ассоциированных со звездами скопления, включая 479 объектов, ранее не наблюдавшихся в рентгеновском диапазоне. 98 источников содержат информацию о двойственной природе. Для 117 источников дополнительно определены периоды вращения по данным орбитальной обсерватории TESS. Для этих звезд периоды не были опубликованы ранее, что позволяет расширить выборку объектов для построения зависимости рентгеновской активности от вращения. Функция распределения рентгеновской светоскости (XLDF) совместно с зависимостью «рентгеновская активность – вращение» указывают на возможное наличие подгрупп среди G- звезд скопления. Характер зависимости величины RX = log(Lx / Lbol) от

числа Россби (Ro) различен для звезд разных спектральных классов. Для K- и M-звезд при малых Ro наблюдается насыщение ($RX \approx -3$), при $Ro > \sim 0.25$ у K-звезд фиксируется падение рентгеновской активности, тогда как M-звезды с большими числами Россби в нашей выборке отсутствуют. По подвыборке K-звезд определено положение точки излома $Ro_{break} = 0.28-0.03+0.04$. Размер выборки F- и G- звезд не позволяют описать характер зависимости рентгеновской активности от вращения.

Парусов Кирилл Юрьевич (Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова)

Магниторотационная неустойчивость в кеплеровских дисках с вертикальной неоднородностью: случай нулевого возмущения азимутальной компоненты скорости

В рамках нелокального подхода рассмотрен модальный анализ малых возмущений кеплеровского аккреционного диска вдоль вертикальной координаты для случая нулевого возмущения азимутальной компоненты скорости среды. Получено уравнение типа Шрёдингера на вертикальную компоненту возмущения скорости среды и показано, что в рамках данного приближения возникновение неустойчивости невозможно.

Пархоменко Владислав Александрович (Санкт-Петербургский Государственный Университет)

Космологические возмущения в метрике Фридмана для модифицированного STEGR

В данной работе мы продолжаем развитие формализма модифицированного симметричного телепараллельного эквивалента общей теории относительности Эйнштейна (STEGR). В данном эквиваленте пространство-время описывается с помощью такой характеристики как неметричность, в отличие от ОТО, где используется кривизна. В рамках нашей работы мы рассматривали линейные космологические возмущения в метрике Фридмана (с конформным временем и в общем случае). Были получены компоненты уравнения Эйнштейна для скалярных, векторных и тензорных типов космологических возмущений.

Пименов Георгий Константинович (Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет»)

Моделирование гравитационно-волнового сигнала рентгеновских пульсаров

Работа посвящена моделированию гравитационного волнового сигнала от рентгеновских пульсаров — нейтронных звёзд в составе двойной системы с аккрецией от звезды-компаньона. Нейтронная звезда рассматривается как свободно прецессирующий трёхосный эллипсоид. Гравитационно-волновой сигнал рассчитывается в квадрупольном приближении, в поперечной безследовой калибровке строятся профили плюс- и крест-поляризаций. При использовании параметров, полученных по данным наблюдений рентгеновских телескопов, предсказывается профиль гравитационно-волнового излучения для реальных пульсаров. Работа И.Д. Маркозова поддержана субсидией Минобрнауки РФ крупным научным проектам, соглашение № 075-15- 2024-647

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

Оценка спинов сверхмассивных чёрных дыр в далёких ультраярких квазарах

Мы оценили значения спинов, углов наклона аккреционных дисков и соответствующие значения масс сверхмассивных чёрных дыр для выборки далёких ($6 < z < 7.5$) ультраярких квазаров. Полученные значения спинов в среднем превышают 0.9, а их распределение имеет характерный вид, аналогичный полученному для других типов активных ядер галактик и квазаров. Зависимость полученных параметров друг от друга показывает сильную корреляцию между ними, из чего можно предположить, что в этих ранних квазарах рост массы центральной чёрной дыры должен происходить в основном за счёт дисковой аккреции с высоким темпом, что весьма эффективно увеличивает спин.

Пономарёв Георгий Андреевич (Физико-технический институт имени А.Ф.Иоффе РАН)

Новые рентгеновские черты туманности Вела

Рентгеновская туманность пульсара Вела имеет двойной тор и множество мелкомасштабных структур, природа которых с момента их обнаружения телескопом Чандра долгое время оставалось неясной.

Недавно предложенная релятивистская МГД-модель двухторовой пульсарной туманности [1,2] смогла самосогласованно объяснить, наряду с двойным тором, низкую эффективность и предельно высокую поляризацию излучения Велы в рентгене, а также все остальные известные детали её рентгеновской морфологии.

Кроме того, модель предсказала вероятное наличие у Велы ранее неизвестных деталей и указала, где и как их следует искать. В данной работе представлены новые рентгеновские детали Велы, найденные в архивных данных телескопа Чандра на основе предсказаний

МГД-модели: расщепление двух сильно замагниченных квазиламинарных потоков в объеме рентгеновской туманности, наличие регулярных складок в этих потоках, присутствие торoidalного вихря-рециркуляции в подветренной воронке ударной волны торможения пульсарного ветра [3]

[1] Ponomaryov G. A., Levenfish K. P., Petrov A. E. Two tori of the Vela pulsar wind nebula // J. Phys.: Conf. Ser. – 2019. – Vol. 1400, Issue 2. – id 022027

[2] Ponomaryov G. A., Levenfish K. P., Petrov A. E., Kropotina Yu A. On stability of toroidal structures in two-tori pulsar wind nebulae // J. Phys.: Conf. Ser. – 2020. – Vol. 1697. – id 012022

[3] К.П. Левенфиш, Г.А. Пономарев, А.Н. Фурсов. О новых рентгеновских особенностях пульсарной туманности Вела // ПАЖ. – 2025. Том 51. – №3. – Стр. 128-152

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

Эволюция спектра позитронов, образованных при взаимодействии внегалактических гамма-квантов с фотонами оптического фонового излучения

Рассматривается взаимодействие гамма-квантов фонового излучения (CGB) на красных смещениях порядка 1-2 с оптическими фотонами фонового излучения (EBL) с образованием электрон-позитронных пар. Также учитывается торможение образовавшихся позитронов на фотонах реликтового излучения (CMB).

Рыспаева Елизавета Борисовна (Крымская астрофизическая обсерватория РАН)

Связь между вспышечной активностью и возможным нетепловым рентгеновским излучением звезд типа γ Cas

К загадочному подклассу звезд типа γ Cas (аналогов γ Cas) относятся одиночные или двойные Ве-звезды с маломассивным спутником и с аномальным рентгеновским излучением. У этих объектов рентгеновская светимость выше, чем у типичных Ве-звезд, но ниже, чем у рентгеновских двойных систем с Ве-компонентами. В предположении о полностью тепловой природе рентгеновского излучения звезд типа γ Cas, температура излучающей плазмы должна достигать 10-20 кэВ и даже выше. Многие авторы объясняют формирование рентгеновского излучения загадочных звезд пересоединением силовых линий локальных магнитных полей звезд и их декреционных дисков. Такое рентгеновского излучение должно состоять из большого числа быстрых вспышек (вспышечно-подобных событий, Smith et al., 2012). Наши исследования показали, что такие вспышки действительно присутствуют в рентгеновских кривых блеска аналогов γ Cas, но составляют очень малую часть (до 1%)

от полной рентгеновской светимости и преобладают на энергиях 1-4 кэВ. Есть, поэтому, основание предположить наличие дополнительного механизма генерации рентгеновского излучения аналогов γ Cas. Таким механизмом многие авторы считают аккрецию вещества околозвездного диска на компактный компонент. В то же время Ryspaeva & Kholygin (2020) показали, что в рентгеновских спектрах аналогов γ Cas может присутствовать степенная компонента, описывающая возможное нетепловое излучение, формирующееся в результате обратного комптоновского рассеяния излучения звезды на релятивистских электронах (в рамках модели White & Chen, 1991). Доля степенной компоненты в полном модельном спектре может достигать 80-90%. Наблюдения звезд типа γ Cas, проведенные через длительные промежутки времени, показали, что в рентгеновских спектрах таких объектов могут присутствовать долговременные изменения, по-видимому, связанные с изменениями параметров декреционных дисков (масса, плотность, угол наклона и другие, Rauw et al. 2018). При уменьшении рентгеновского потока доля степенной компоненты возрастает, а температуры излучающей плазмы уменьшается при почти неизменном спектральном индексе. В настоящей работе исследована связь чисел и мощностей быстрых вспышек с долговременными изменениями в рентгеновских спектрах 5 аналогов γ Cas в предположении о наличии степенной компоненты в их рентгеновских спектрах. Число быстрых вспышек не коррелирует с изменениями в рентгеновских спектрах, что свидетельствует о том, что эти изменения связаны главным образом с увеличением поглощения рентгеновского излучения.

Рыспаева Елизавета Борисовна (Крымская астрофизическая обсерватория РАН)

Исследование эволюции магнитных полей звезд типа γ Cas и типичных Be-звезд и её связи с рентгеновским излучением

К загадочному подклассу аналогов γ Cas, относятся Be-звезды с особым рентгеновским излучением. В предположении о его полностью тепловой природе, температура излучающей плазмы должна достигать аномальных значений 10-20 кэВ и даже более, а рентгеновская светимость звезд типа γ Cas на порядок выше, чем у типичных Be-звезд, но ниже, чем у массивных рентгеновских двойных систем с Be-компонентами. При этом аналоги γ Cas, как все Be-звезды, не имеют больших магнитных полей, поле напряженностью в 10 Гс привело бы к разрушению декреционного диска. Многие авторы придерживаются гипотезы о формировании рентгеновского излучения аналогов γ Cas в результате взаимодействия магнитного поля декреционного диска с локальными магнитными полями звезды (Smith et al., 2016). Такое излучение должно состоять из большого числа коротких вспышек (вспышечно-подобных событий, быстрых вспышек). В статье Smith et al. (2012) были обнаружены 1615 вспышечно-подобных событий длительностью до полутора минут в рентгеновских кривых блеска звезды типа γ Cas HD 110432 (BZ Cru, B0.5IVpe). В настоящей работе показано, что быстрые рентгеновские вспышки имеют

место и на звездах типа γ Cas, и на типичных Be-звездах. Сделано предположение, что одним из возможных механизмов возникновения магнитных полей Be-звезд может быть динамо, во время быстрых вспышек на звезде происходят выбросы вещества в декреционный диск. В рамках планарного приближения, которое ранее использовалось при изучении магнетизма тонких аккреционных дисков, выполнен расчет магнитных полей в дисках 5 звезд типа γ Cas и 5 типичных Be-звезд с учетом результатов поиска быстрых вспышек в их рентгеновских кривых блеска. Показано, что наибольшие магнитные поля всех рассмотренных звезд не превышают 2 Гс, а у аналогов γ Cas несмотря на большее число быстрых рентгеновских вспышек, напряженности полей не выше, чем у типичных Be-звезд. Возможно, помимо механизма генерации рентгеновского излучения звезд типа γ Cas в результате взаимодействия магнитных полей звезды и диска, присутствует дополнительный.

Савиных Евгений Станиславович (Государственный астрономический институт имени П.К.Штернберга)

Оценки локального параметра Хаббла в системах Солнце-Земля и Земля-Луна

Вопрос о том, существует ли хаббловское расширение на малых (например, межпланетных) расстояниях обсуждается уже на протяжении свыше 90 лет, однако остаётся не до конца решённым до настоящего времени. При этом особый интерес представляет возможное значение параметра Хаббла на масштабе Солнечной системы. В настоящей работе предпринята попытка оценить эту величину двумя способами: (1) по анализу приливной эволюции системы Земля-Луна за последние несколько десятков лет и (2) по тепловой эволюции системы Солнце-Земля на протяжении всего её времени жизни (порядка 4 млрд. лет). Оценка локального параметра Хаббла в системе Земля-Луна даёт значение 56 ± 8 км/с/Мпс. Если считать, что на малых масштабах эффект Хаббла создаётся лишь идеально однородной “тёмной энергией”, в то время как на больших масштабах в него даёт вклад также и средняя плотность нерелятивистской материи (как видимой, так и тёмной), то вышеприведённое значение увеличивается до 67 ± 10 км/с/Мпс, т.е. хорошо согласуется с межгалактическими данными. С другой стороны, анализ, основанный на тепловой эволюции системы Солнце-Земля в значительно большей степени страдает от различных геофизических неопределённостей. Однако, если исключить из анализа последние 500-600 млн. лет (когда влияние биологической эволюции на температуру Земли было особенно сильным), то получающиеся значения локального параметра Хаббла лежат в интервале 70-110 км/с/Мпс, т.е. по порядку величины согласуются с межгалактическими данными.

Садовский Андрей Михайлович (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

Возможные источники ускорения космических лучей

Возникновение космических лучей сверхвысоких энергий на сегодняшний день остается загадкой. Эффект Грейзена–Зацепина–Кузьмина дает теоретический верхний предел энергии космических лучей от отдаленных источников. Однако наблюдаются протоны, энергия которых, возможно, превышает установленный предел. Считается, что ускорение таких частиц должно происходить в каких-то экзотических объектов во Вселенной, но на сегодняшний день однозначного ответа на вопрос, что же может представлять собой такой адронный ускоритель, нет. С другой стороны, наблюдения показывают, что ни один из известных астрофизических объектов гарантированно в качестве такого ускорителя работать не может. Рассматривается возможность стохастического ускорения протонов, когда единичный акт ускорения — ускорение в одном из “макро” ускорителей со своим характерным временем и электрическим полем. Множество “макро” ускорителей формирует необходимую цепочку ускорения. В работе сделаны оценки на возможные электрические поля, ускоряющие протоны, и на время, необходимое для такого ускорения, для различных источников частиц. Показано, что протоны при своем распространении могут продолжать набирать энергию в достаточно слабых средних электрических полях в течение долгого времени, что может объяснить появление частиц сверхвысоких энергий.

Смирнова Александрина Андреевна (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН))

Наблюдения ионизированного газа вокруг активных галактик на 2.5-м телескопе ГАИШ МГУ

Картировщик галактических эмиссионных линий MaNGaL (Mapper of Narrow Galaxy Lines), установленный на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ позволяет обнаруживать и изучать облака газа, ионизованного излучением активных галактических ядер. Мы представляем обзор результатов наблюдений различных проявлений галактических конусов ионизации, таких как обнаружение затухания активности ядра в сливающихся галактиках, ионизация газа в дисках спутников активных галактик, открытие сложной системы внешних газовых филаментов вблизи галактик NGC 1142/1144. Приводятся карты излучения газа в линии [OIII], полученные в ходе недавних наблюдений различных галактик с активными ядрами, включая редкий тип объектов —

“зеленая фасоль”, являющихся примерами мощных протяженных конусов ионизации на красных смещениях $z=0.2-0.4$.

Смирнова Ксения Ильдаровна (Уральский Федеральный Университет)

Сравнение областей звездообразования двух каталогов выделенных по данным MUSE

В последние годы развитие обзорных программ, таких как PHANGSMUSE, позволило систематически исследовать близкие спиральные галактики с высоким пространственным разрешением. На основе полученных наблюдений были созданы два ключевых каталога Н II областей: каталог Groves и более поздний каталог Congiu, которые используют разные методики выделения областей. В работе рассматривается выборка из 19 галактик. Исследование было направлено на выявление особенностей выделенных областей, сопоставление их карт сегментации, а также количественную оценку доли уникальных, частично и полностью перекрывающихся Н II областей. Результаты показали, что для большинства галактик совпадение областей между каталогами неполное: области из каталога Congiu зачастую лишь частично перекрывают области из каталога Groves. При этом области из каталога Groves в большинстве случаев полностью покрываются областями Congiu. Кроме того, выявлено, что каталог Groves содержит существенно меньше уникальных областей по сравнению с каталогом Congiu.

Соколов Алексей Дмитриевич (Институт Космических Исследований Российской Академии Наук)

Исследование характеристик рентгеновских спектров активных ядер галактик из обзора всего неба CGP/ART-XC по архивным данным Swift/XRT

В работе представлены результаты анализа рентгеновских спектров 101 активного ядра галактик (АЯГ) из каталога источников, обнаруженных телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского на борту орбитальной обсерватории CGP в ходе первых пяти обзоров всего неба (ARTSS1–5). Для анализа использовались архивные данные телескопа Swift/XRT в диапазоне энергий 1–10 кэВ. Для всех объектов впервые получены оценки наклона степенного континуума, колонки внутреннего поглощения и потока исправленного за поглощение рентгеновского потока. Исследование проведено в рамках работы по составлению статистической полной базы данных о населении АЯГ на основе каталога ARTSS1–5.

**Столяров Владислав Александрович (Специальная
Астрофизическая Обсерватория РАН)**

*Система для наблюдений в субтерагерцовом диапазоне на оптическом 6-метровом
телескопе БТА*

В докладе представлены концепция и первые результаты установки сверхпроводникового радиоприемника субтерагерцового диапазона частот ~ 100 ГГц, в фокусе 6 -метрового рефлектора оптического телескопа БТА САО РАН. Описаны условия микроволнового астроклимата, играющие существенную роль в ограничениях субТГц наблюдений на БТА. Данна схема оптического согласования субТГц приемника с оптикой БТА, а также особенности технических решений, связанных с глубоким криогенным охлаждением субТГц детектора.

**Струминский Алексей Борисович (Федеральное
государственное бюджетное учреждение науки Институт
космических исследований Российской академии наук (ИКИ
РАН))**

Проблема открытого магнитного потока Солнца и квант магнитного потока

**Танашкин Артём Сергеевич (Физико-технический институт им.
А.Ф. Иоффе)**

Исследование рентгеновского излучения пульсара B0950+08

PSR B0950+08 это сравнительно старый пульсар с характеристическим возрастом около 18 млн лет, периодом 253 мс и потерями вращательной энергии 5.6×10^{-32} эрг/с. В работе Завлина и др. [1] было указано на возможное наличие в рентгеновском спектре пульсара тепловой компоненты, что может свидетельствовать о процессах подогрева поверхности нейтронной звезды, например в области полярных шапок. Для прояснения этого вопроса нами были проведены глубокие наблюдения пульсара при помощи обсерватории XMM-Newton с суммарной экспозицией 340 кс. Пульсар надёжно отождествлён на изображениях, выполнен временной анализ его излучения, в том числе разрешённый по энергетическим диапазонам. Построены кривые блеска с хорошей детализацией и высоким отношением сигнал/шум. Спектральный анализ подтверждает наличие тепловой компоненты, излучаемой небольшими пятнами на поверхности нейтронной звезды. Получены оценки на её параметры для моделей чернотельного излучения и водородных атмосфер. Работа поддержана грантом РНФ № 24-12-00320.

Литература: [1] Zavlin et al. 2004 ApJ 616, 452

Темирова Аделина Всеолодовна (Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической обсерватории)

Investigation of the update sample of ultra steep spectra objects and search of section of RATAN Zenit Field (RZF) survey

0h < R.A. < 24h, 40.5° < DEC < 42.5° was carried out with the RATAN-600 radio telescope. Within $\pm 2^\circ$ of the center of the survey region, 448 objects were detected, and 73 of them with A deep RATAN Zenith Field (RZF) survey at wavelength $\lambda = 7.6$ cm in the region 0 ultra-steep spectra (USS), which are the main indicator for finding possible candidates for distant galaxies. Optical identifications for 31 of USS objects using the SDSS (DR7, DR12) surveys have been used. It turned out that 23 objects are galaxies, and 8 are star-forming objects. Photometric redshifts and radio luminosities at 3.9 and 1.4 GHz are determined for 31 objects with spectral indices $\alpha < -1.1$, for which magnitudes in various filters are presented in the SDSS survey. In the sample of USS objects (23 galaxies and 8 star-forming sources), 15 galaxies have photometric redshifts $z_{\text{ph}} < 0.5$, and 8 of them have relatively high radio luminosities $4 > 10^{26}$ W/Hz of type FR II. Seven galaxies at $z_{\text{ph}} > 0.5$ are also of type FR II. Five sources are of intermediate type FR I-FR II. Only three radio galaxies at $z_{\text{ph}} < 0.5$ proved to be a rare nearby galaxy with relatively low radio luminosity $L_{1.4} < 10^{25}$ W/Hz (type FR I). These radio sources are either located in the dense intergalactic media of rich clusters of galaxies or confined within their host galaxies. Nearly all these sources can be observed with the SAO 6-m telescope. Galaxies with $L_{1.4} > 10^{26}$ W/Hz (FR II) have magnitudes m_r in the range $18 < m_r < 23$. The search of candidates to Giga-Peaked-Spectrum (GPS) objects in RZF survey was carried (N=745) and 21 of them turned out to be candidates to GPS. The most sensitive radio and optical catalogs, a new blazar candidate catalog, Blazar Radio and Optical Survey (BROS) was used. BROS catalog located at declination $\delta > -40^\circ$ and outside the galactic plane.

Темирова Аделина Всеолодовна (Санкт-Петербургский филиал Специальной Астрофизической обсерватории)

Investigation of the new sample of ultra steep spectra objects and search of section of RATAN Zenit Field (RZF) survey

0h < R.A. < 24h, 40.5° < DEC < 42.5° was carried out with the RATAN-600 radio telescope. Within $\pm 2^\circ$ of the center of the survey region, 448 objects were detected, and 73 of them with A deep RATAN Zenith Field (RZF) survey at wavelength $\lambda = 7.6$ cm in the region 0 ultra-steep spectra (USS), which are the main indicator for finding possible candidates for distant galaxies. Optical identifications for 31 of USS objects using the SDSS (DR7, DR12) surveys have been used. It turned out that 23 objects are galaxies, and 8 are star-forming objects. Photometric redshifts and radio luminosities at 3.9 and 1.4 GHz are determined for 31 objects with spectral indices $\alpha < -1.1$, for which magnitudes in various filters are presented in the SDSS survey. In the sample of USS objects (23 galaxies and 8 star-forming sources), 15 galaxies have photometric redshifts $z_{\text{ph}} < 0.5$, and 8 of them have relatively high

radio luminosities $4 > 10^{26}$ W/Hz of type FR II. Seven galaxies at $z_{\text{ph}} > 0.5$ are also of type FR II. Five sources are of intermediate type FR I-FR II. Only three radio galaxies at $z_{\text{ph}} < 0.5$ proved to be a rare nearby galaxy with relatively low radio luminosity $L_{1.4} < 10^{25}$ W/Hz (type FR I). These radio sources are either located in the dense intergalactic media of rich clusters of galaxies or confined within their host galaxies. Nearly all these sources can be observed with the SAO 6-m telescope. Galaxies with $L_{1.4} > 10^{26}$ W/Hz (FR II) have magnitudes m_r in the range $18 < m_r < 23$. The search of candidates to Giga-Peaked-Spectrum (GPS) objects in RZF survey was carried (N=745) and 21 of them turned out to be candidates to GPS. The most sensitive radio and optical catalogs, a new blazar candidate catalog, Blazar Radio and Optical Survey (BROS) was used. BROS catalog located at declination $\delta > -40^\circ$ and outside the galactic plane.

Тимиркеева Мария Андреевна (Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)

О радиопульсарах с магнитными полями в диапазоне $10^9 - 10^{10}$ Гс

Проанализирован ряд особенностей радиопульсаров с магнитными полями на их поверхности в диапазоне $10^9 - 10^{10}$ Гс. На распределении магнитных полей пульсаров из каталога ATNF исследуемая выборка соответствует минимуму между миллисекундными и нормальными пульсарами. Приведены аргументы в пользу предположения о том, что центральные нейтронные звёзды в этой выборке находятся в двойных системах и продолжают раскручиваться за счёт акреции вещества, вытекающего из компаньона. Около 70 % исследуемых пульсаров действительно входят в состав двойных систем. Они должны быть моложе миллисекундных пульсаров, достигших минимального значения периода вращения. Действительно их средний характеристический возраст оказывается в 2.5 раза короче, чем у миллисекундных объектов, а кинематический возраст, который значительно ближе к реальному, равен нескольким миллионам лет. За это время они не могли уйти далеко от диска Галактики, где они родились и эволюционировали. Действительно они сконцентрированы вблизи диска, а их высота Z над плоскостью Галактики не превышает для большей части пульсаров исследуемой выборки нескольких десятков парсек.

Тимиркеева Мария Андреевна (Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН)

О положении радиопульсаров с жёстким излучением на диаграмме $P_{\text{dot}}-P$ и их эволюции

Проведен анализ расположения радиопульсаров с зарегистрированным от них жёстким излучением на диаграмме $P_{\text{dot}}-P$. За исключением 7 объектов с предполагаемой аномальной эволюцией остальные источники рассмотренной выборки лежат выше линии смерти,

вычисленной для гамма-пульсаров. Показано, что торможение вращения пульсаров с периодами $30 \text{ мсек} < P < 100 \text{ мсек}$ может быть описано в рамках традиционной модели магнитодипольного изучения. Для объяснения торможения миллисекундных и долгопериодических пульсаров, периоды которых не попадают в указанный диапазон, необходимо рассматривать омические потери с учётом полей и токов в магнитосфере нейтронной звезды. Радиопульсары с рентгеновским излучением лежат на диаграмме $P_{\text{dot}} - P$ над линией смерти. Эволюция объектов в этой популяции вызывается взаимодействием с окружающим веществом.

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

Концепция малоразмерного комптоновского гамма-телескопа

Множество интересных астрофизических процессов, связанных с активным энерговыделением, сопровождается гамма-излучением - электро-магнитным излучением с энергиями квантов выше 100 кэВ. Такое излучение формируется, например, в окрестности релятивистских истечений в центрах галактик и в микроквазарах, в источниках гамма-всплесков, в пульсарных туманностях, в остатках сверхновых звезд, в солнечных вспышках и в окрестности центра Галактики. Регистрация гамма-квантов с необходимыми для наблюдений указанных астрофизических объектов угловым разрешением и чувствительностью связана с существенными технологическими трудностями, всвязи с чем этот диапазон до настоящего времени остается недостаточно хорошо изученным. Особенно слабо изучен диапазон энергий 0.3-10 МэВ: большинство данных в этом диапазоне энергий было получено обсерваторией CGRO/COMPTEL (1991-2000), после которой так и не было реализовано ни одного проекта с детекторами, обладающими лучшей чувствительностью в диапазоне энергий порядка МэВ. Несмотря на то, что в последнее время активно обсуждаются различные проекты перспективных гамма-телескопов, в обозримом будущем предполагается только запуск в 2027 году миссии COSI (NASA), которая за 2 года обзора неба в диапазоне энергий фотонов 0.2-5 МэВ, вероятно, превзойдет по чувствительности COMPTEL.

В докладе обсуждается концепция малоразмерного комптоновского гамма-телескопа, основанного на технологии двухсторонних кремниевых стриповых детекторов (Si-DSSD). Как показывает моделирование, в диапазоне энергий 0.3-3 МэВ этот малоразмерный детектор сможет обладать лучшей чувствительностью в континууме, чем COSI. Наблюдения с предлагаемым новым телескопом позволят исследовать ряд интересных астрофизических объектов, в том числе, измерить поляризацию излучения от Крабовидной туманности и ярких гамма-всплесков.

Ушакова Екатерина Алексеевна (Институт космических исследований Российской академии наук; Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»)

Изменение положения циклотронных линий в спектре рентгеновского пульсара 4U 0115+63 в зависимости от его светимости

Во время гигантских вспышек у рентгеновского пульсара 4U 0115+63 светимость может достигать 10^{38} эрг/с, что соответствует закритическому режиму акреции. Также в эти моменты у источника наблюдаются квази-периодические осцилляции (КПО) с частотой 1-2 мГц, при этом величина рентгеновского потока может меняться в 2 раза. Наличие такой переменности позволяет проследить за изменениями спектра при увеличении темпа акреции как на больших (месяцы и годы), так и на малых (минуты и часы) масштабах времени.

В энергетическом спектре пульсара 4U 0115+63 наблюдаются несколько циклотронных линий, причём их количество и положение в работах разных авторов различаются в зависимости от выбранной модели континуума. В данной работе по данным обсерватории NuSTAR исследовалась зависимость положения циклотронных линий в спектре пульсара от его светимости — как по отдельным наблюдениям, так и внутри наблюдений с КПО большой амплитуды, полученных вблизи максимумов пиков. Было показано, что для нескольких предложенных в литературе моделей континуума, энергия циклотронных линий демонстрирует слабый рост при увеличении светимости, что не согласуется с предсказаниями теории акреции на замагниченные нейтронные звезды.

Фурсов Александр Николаевич (Физико-Технический институт им Иоффе)

Ускорение протонов до очень высоких энергий в пульсарных туманностях с двойным рентгеновским тором

Прямым численным моделированием показано, что пульсарные туманности с двойным рентгеновским тором могут ускорять протоны до очень высоких энергий. Такие объекты (прототипом которых служит туманность Вела), отличает особая структура МГД-потоков. Она позволяет туманности длительно удерживать высоко-энергичные частицы, которые могут ускоряться в ее теле по механизму Ферми на сдвиговых и встречных потоках. Процесс ускорения позволяет 5-6% протонов повысить свой Лоренц-фактор с 10^4 до $\sim 5 \times 10^5$ всего за 10-30 лет. Среди ускоренных частиц формируются три отдельные популяции. Наиболее энергичная из них включает протоны с энергиями свыше 100 ТэВ, и имеет резко анизотропное распределение. Ее частицы покидают туманность преимущественно вдоль ее экватора.

Халилов Тимур Игоревич (Московский физико-технический институт)

Синхротронное излучение в неоднородном магнитном поле

Обсуждается искажение спектра синхротронного излучения, принимаемого удаленным наблюдателем, связанное с неоднородностью магнитного поля. Показано, что в случае излучения одной частицы заметное отличие интегрального спектра от случая однородного магнитного поля имеет место лишь для времен наблюдений, значительно превышающих времена выхода наблюдателя из диаграммы направленности, и лишь только для субрелятивистских частиц, когда за время наблюдения излучение приходит из областей с существенно различным магнитным полем. При меньших временах наблюдения неоднородность поля приводит лишь к мелкомасштабным (меньшим или сравнимым по частоте с основной гирочастотой) искажениям, никак не проявляя себя в интегральном спектре. Для случая же ансамбля частиц, интересного для астрофизических приложений, отличие в интегральном спектре становится пренебрежимо малым.

Хасаева Татьяна Тимуровна (Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова)

Оценки действия мелкомасштабного динамо во внешних областях галактик

В настоящее время магнитные поля в спиральных галактиках изучены достаточно хорошо как с наблюдательной, так и с теоретической точки зрения. Предполагается, что их существование связано с действием механизма крупномасштабного динамо, связанного с зависимостью угловой скорости вращения галактики от расстояния до оси (дифференциальное вращение) и спиральностью турбулентных движений (альфа-эффект). Как правило, большинство работ ограничивается умеренными расстояниями от центра (вплоть до 10 – 15 кпк). В то же время, существуют серьезные аргументы в пользу того, что в периферийных областях также может присутствовать магнитное поле – это связано, в первую очередь, с характеристиками межзвездной турбулентности. При этом, оценки показывают, что действие крупномасштабного динамо во внешних областях хотя и возможно, но сильно подавлено, и может объяснить лишь не очень большие поля, которые недостаточны для объяснения свойств среды [1]. То же самое относится и к другим механизмам – таким, как магниторотационная неустойчивость [2]. Одним из способов решения данной проблемы может быть учет действия мелкомасштабного динамо, связанного с характеристиками турбулентных движений [3]. В настоящей работе мы делаем простые оценки и с помощью несложной качественной модели показываем, что мелкомасштабное динамо может создавать относительно значимые магнитные поля на большом удалении (15 – 20 кпк) от центра галактического диска.

Список источников 1. E. Mikhailov, A. Kasparova, D. Moss, R. Beck, D. Sokoloff, A. Zasov. Magnetic fields near the peripheries of galactic discs // *Astron. Astrophys.*, 568, A66 (2014) 2. E. Mikhailov, T. Khasaeva. Eigenvalue problem describing magnetorotational instability in outer regions of galaxies // *Mathematics*, 12, 5, 760 (2024) 3. A.A. Schekochihin, S.C. Cowley, S.F. Taylor, G.W. Hammett, J.L. Maron, J.C. Williams. Saturated State of the Nonlinear Small-Scale Dynamo // *Phys. Rev. Lett.*, 92, 084504 (2004)

Хизриев Тимур Расулович (ГАИШ МГУ)

Обратная задача оценки спектра первичных флюктуаций из данных гравитационно-волновых измерений

Эволюция скалярных возмущений в ранней Вселенной связана с генерацией гравитационно-волнового фона, который существует возможность наблюдать в современную эпоху с помощью пульсарного тайминга. Процесс возникновения этих волн описывается нелинейным интегральным уравнением. Формулируя на основе этого уравнения обратную задачу, можно восстановить спектр первичных скалярных возмущений путём её решения на основе измерений пульсарного тайминга, так как последний предоставляет средство наблюдения гравитационных волн соответствующих частот.

Решение упомянутого интегрального уравнения, в силу его сильной нелинейности, крайне затруднительно. В данном докладе представлена разработанная для него итеративная методика, позволяющая получить решение в произвольном случае и достоверно оценить его погрешность. Реалистичные симулированные пульсарные данные использованы для проверки алгоритма, а также сделаны выводы о его применимости к существующему на сегодня реальным данным.

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

Влияние экранирования космических лучей в молекулярном газе на синхротронное излучение из Sgr B2

Экранирование космических лучей в молекулярном газе происходит из-за их рассеяния на турбулентности, возбуждаемой неустойчивостью потока космических лучей, проникающих в молекулярное облако. Этот эффект затрагивает все компоненты космических лучей, и в том числе релятивистские электроны. Синхротронное излучение затронутых экранированием электронов попадает в радиодиапазон, и поэтому доступно для наблюдений с гораздо большим разрешением, чем гамма-излучение протонов и ядер. Как следствие, наблюдение синхротронного излучения молекулярного газа может позволить зарегистрировать эффект

экранирования. Мы рассматриваем гигантское облако в галактическом центре, Sgr B2, вычисляем ожидаемые спектры радиоизлучения и сравниваем их с экспериментальными данными, для определения возможности наблюдения данного эффекта.

Шинкевич Егор Максимович (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова)

Анизотропия массовых компонент космических лучей сверхвысоких энергий по данным эксперимента KASCADE

На сегодняшний день происхождение космических лучей с энергиями выше 1 ПэВ достоверно неизвестно. Предполагается, что как минимум до энергий 100 ПэВ, космические лучи рождаются внутри нашей Галактики и удерживаются ее магнитным полем. Долгое время основным кандидатом на ускорители частиц до таких энергий были галактические сверхновые, но недавние наблюдения источников гамма-излучения с энергиями до 1 ПэВ обсерваторией LHASSO не выявили их явной связи со сверхновыми и таким образом поставили эту модель под сомнение. В данной же работе предлагается провести анализ анизотропии направлений прихода отдельных массовых компонент космических лучей в диапазоне энергий 1 – 100 ПэВ, которые были выделены в опубликованных данных эксперимента KASCADE путем их переработки с помощью машинного обучения. Данная задача актуальна, так как наблюдение зависимости анизотропии космических лучей от их массы позволит лучше понять физику межзвездной среды, в которой они распространяются, и также может дать дополнительные указания на происхождение космических лучей. Целью работы является анализ анизотропии галактических космических лучей в диапазоне энергий 1 – 100 ПэВ с использованием статистических методов локальных превышений над фоном.

Шишкина Екатерина Васильевна (Санкт-Петербургский государственный университет)

Блазары с доминирующим направлением вращений позиционного угла поляризации

Блазары - подкласс активных ядер галактик, джеты которых направлены практически на наблюдателя. Они излучают во всем спектральном диапазоне от радио до сверхвысоких энергий. В оптическом диапазоне для блазаров характерна сильная переменность плотности потока, а также высокая и переменная поляризация. Наблюдения блазаров показали, что в некоторые моменты времени позиционный угол плоскости поляризации (EVPA) приходящего от них излучения демонстрирует плавные упорядоченные изменения, называемые вращением. Иногда такие события могут совпадать с проявлениями активности блазаров в других диапазонах спектра. Поскольку направление EVPA связано с магнитным

полем, детальное исследование его вращений позволит получить информацию о тонкой структуре джета блазара. Мы проанализировали оптические кривые степени и угла поляризации для 31 объекта, входящего в программу мониторинга лаборатории наблюдательной астрофизики СПбГУ*, и обнаружили, что пять источников (OJ 287, S5 0716+71, 3C 454.3, CTA 102, PG 1553+113) демонстрируют доминирующее направление вращений. Такой эффект можно объяснить спиральным магнитным полем в джете, в таком случае доминирующее направление вращений может отражать глобальную структуру магнитного поля, связанную с направлением вращения эргосферы центральной черной дыры или аккреционного диска.

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

Легкие стерильные нейтрино в ранней Вселенной

Представлены результаты расчётов осцилляций активных-сторильных нейтрино в ранней Вселенной и их влияния на N_{eff} . В рамках схемы 3+1, мы решаем кинетические уравнения Больцмана для распределений стерильных нейтрино и антинейтрино, что позволяет отследить их производство и эволюцию, а как следствие оценить вклад в N_{eff} . Найдены области параметров масс и углов смешивания стерильных нейтрино, согласующиеся с текущими космологическими оценками N_{eff} .

Шолухова Ольга Николаевна (ФГБУН Специальная астрофизическая обсерватория)

Поиск эмиссионных звезд высокой светимости в галактиках NGC1433, NGC1566 и NGC1087

На основе архивных данных спектрографа MUSE (Multi Unit Spectroscopic Explorer) телескопа VLT были отобраны 58 кандидатов в звезды высокой светимости с собственной эмиссией в области линии H-альфа в галактиках NGC1433, NGC1566 и NGC1087.

По результатам анализа спектров кандидатов и прямых изображений галактик с высоким угловым разрешением из архива космического телескопа имени Хаббла показано, что 7 объектов в NGC1433, 9 - в NGC1566 и 7 - в NGC1087 являются звездами Вольфа-Райе или включающими их компактными звездными ассоциациями. 9, 5 и 6 источников соответственно - имеют спектры с широкими ветровыми линиями с окружающими компактными туманностями. Наибольший интерес для дальнейших наблюдений с целью более точной классификации и оценки фундаментальных параметров, представляют 13 звезд, предварительно классифицированные как B[e]-сверхгиганты или желтые сверхгиганты, и два кандидата в яркие голубые переменные (LBV-кандидаты).

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

Тормозное излучение нейтринных пар при электромагнитных столкновениях в ядрах нейтронных звёзд.

Пересмотрена задача о тормозном излучении нейтринных пар в электромагнитных столкновениях заряженных частиц в нуклонных (прей) ядрах нейтронных звёзд. Рассмотрены два предельных случая: (i) протоны находятся в нормальном состоянии и (ii) протоны находятся в сверхпроводящем состоянии. В обоих случаях основной вклад в мощность тормозного излучения Q_{Br} вносит поперечная часть электромагнитных взаимодействий в среде. Для несверхпроводящего вещества мы получаем необычную температурную зависимость $Q_{Br} \propto T^{23/3}$ из-за динамического характера экранирования плазмы в поперечном канале, но при этом значительно меньшие значения Q_{Br} , чем в предыдущих исследованиях, что делает рассматриваемый процесс несущественным на практике. Напротив, для сверхпроводящего и сверхтекучего вещества процессы испускания нейтрино с участием нуклонов подавлены, а Q_{Br} связанное со столкновениями лептонов обеспечивает остаточный вклад мощность нейтринного излучения вещества ядра нейтронной звезды. В сверхпроводящем случае плазменное экранирование становится статическим, и восстанавливается стандартная температурная зависимость $Q_{Br} \propto T^8$. Приведены простые аналитические выражения для Q_{Br} в обоих рассматриваемых предельных случаях.

Щекотихин Евгений Анатольевич (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук)

Диффузионная модель броуновского моста в задаче условного восстановления изображений

В докладе представлен алгоритм применения диффузионной модели броуновского моста (Brownian Bridge Diffusion Model, BBDM) в задаче условного восстановления астрономических изображений. Предложенный подход использует единственную пару изображений и диффузионную модель машинного обучения, обучающуюся отображению опорного кадра в целевой в известных областях, с целью восстановления области интереса на последнем. Эффективность и стабильность метода продемонстрирована на примерах условного восстановления реальных астрономических изображений галактик из обзора SDSS по соответствующим опорным изображениям из обзора Pan-STARRS.