

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе
Российской академии наук



Тезисы докладов Всероссийской конференции
ФИЗИКА НЕЙТРОННЫХ ЗВЁЗД

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург
13 – 17 июля 2026 г.

Санкт-Петербург, 2026

УДК 524.35(082)

ББК 22.63

Физика нейтронных звёзд: тезисы докладов всероссийской конференции (Санкт-Петербург, 13–17 июля 2026 г.) / Под ред. Д.П. Барсукова и А.Ю. Потехина. – СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2026. – 78 с., эл. изд. – ISBN 978-5-93634-082-6

Организатор

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

При поддержке

ООО «ИННО-МИР»

Программный комитет

В.С. Бескин (ФИАН, МФТИ, Москва)

С.И. Блинников (НИЦ Курчатовский институт – ККТЭФ, Москва)

А.М. Быков (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)

М.Р. Гильфанов (ИКИ РАН, Москва)

Вл.В. Кочаровский (ИПФ РАН, Нижний Новгород)

К.А. Постнов (ГАИШ МГУ, Москва)

А.Ю. Потехин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург) – председатель

Ю.Й. Поутанен (Университет Турку, Финляндия)

П.С. Штернин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)

Д.Г. Яковлев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)

Организационный комитет

К.Ю. Краав (сопредседатель), А.В.Бобаков (сопредседатель), С.А. Балашев, Д.П. Барсуков, М.Е. Гусаков, Н.А. Земляков, А.В. Иванчик, А.Д. Каминкер, Е.М. Кантор, А.В. Карпова, Д.Н. Косенко, И.Д. Маркозов, Д.С. Свинкин, Ю.А. Уваров, А.И. Чугунов, Е.В. Шишкина.

Сборник содержит краткие тезисы докладов на Всероссийской конференции «Физика нейтронных звёзд – 2026». Это тринадцатое широкомасштабное научное мероприятие, посвящённое обсуждению физики и астрофизики нейтронных звёзд и связанных с ними явлений. Оно продолжило серию совещаний и конференций по данной тематике в Санкт-Петербурге, организованных на базе ФТИ им. А.Ф. Иоффе в 1988, 1992, 1995, 1997, 1999, 2001, 2005, 2008, 2011, 2014, 2017 и 2023 годах.

Редакторы: Д.П. Барсуков и А.Ю. Потехин

Данное издание осуществлено Физико-техническим институтом им. А.Ф. Иоффе Российской Академии наук.

ISBN 978-5-93634-082-6

© Авторы тезисов, 2026

© ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2026

Содержание

Программа конференции	7
Тезисы устных докладов	12
В. Ю. Авдеев и др. Тонкая структура индивидуальных импульсов пульсара B1237+25 по данным проекта Радиоастрон	12
Ф. А. Агаронян. Туманности пульсарного ветра в гамма-лучах сверхвысоких энергий	13
В. А. Арефьев и др. Ускользящее гало (поиск пульсарного гало Геминги в рентгеновских лучах)	14
М. Д. Афонина, С. Б. Попов. Популяционный синтез высокоскоростных рентгеновских двойных с аккрецирующими нейтронными звёздами . .	15
Д. А. Байко, А. И. Чугунов. Любопытная история нейтронной звезды в системе IGR J17480-2446	16
К.-Е. С. Беккер, А. И. Чугунов, Д. Д. Оффенгейм. Масса и радиус нейтронной звёзды: как учесть кору, не зная её уравнения состояния?	17
В. С. Бескин. История заблуждений в теории радиопульсаров	18
А. Бирюков, А. Левинсон, П. Аболмасов. Теоретические ограничения на параметры сверхтекучей жидкости в коре Нег X-1 из анализа наблюдаемой прецессии звезды	18
В. В. Вдовин и др. Исследование частотных профилей излучения радиопульсаров: влияние межзвёздной дифракции и поиск компонент импульса .	19
С. А. Гребенев. Рентгеновское и гамма-излучение высокотемпературной плазмы	20
М. Е. Гусаков. Магнитные поля и эволюция нейтронных звёзд	21
Н. А. Земляков, А. И. Чугунов. Упругость коры нейтронных звёзд	21
Д. А. Зюзин, А. В. Карпова, М. Р. Гильфанов. Первые результаты поиска изолированных нейтронных звёзд типа Великолепной Семёрки по данным CPG/eROSITA	22
А. Ю. Истомин, Ф. А. Князев, В. С. Бескин. Влияние эффектов распространения на поляризационные характеристики радиоизлучения пульсаров	23
А. Ф. Июдин. Особенности пульсарной туманности “Бумеранг” в области высоких и сверхвысоких энергий гамма-излучения	24
А. Д. Каминкер и др. Поляризация и спектры рентгеновских пульсаров в докритическом режиме аккреции. Эффекты поляризации вакуума . . .	25
Е. М. Кантор, К. Ю. Краав, М. Е. Гусаков. Влияние релятивистского эффекта увлечения инерциальных систем отсчёта на собственные функции г-мод на Солнце	26
А. В. Карпова. Пульсары-пауки”: наблюдения и поиск кандидатов	26
Ф. А. Князев, А. Ю. Истомин, В. С. Бескин. К статистике радиопульсаров .	27
Е. Э. Коломейцев. Уравнение состояния ядерного вещества: теория и “эксперимент”	27
И. А. Кондратьев, С. Г. Моисеенко, Г. С. Бисноватый-Коган. Асимметрии и МГД неустойчивости в многомерных моделях магниторотационных сверхновых	28

Вл. В. Кочаровский и др. Спектрально-корреляционный анализ непрерывного излучения радиопульсара B0950+08 на всём периоде его вращения: Блуждающие импульсы, межзвёздные мерцания и шум	29
К. Ю. Краав, М. Е. Гусаков, Е. М. Кантор. Сильное влияние увлечения инерциальных систем отсчета на свойства г-мод в небаротропных нейтронных звёздах	30
Н. И. Крамарев, А. В. Юдин. Неконсервативный обмен веществом в модели обдирания нейтронных звёзд	31
К. П. Левенфиш, А. Н. Фурсов, Г. А. Пономарёв. Интерпретация данных о поляризации и морфологии рентгеновской туманности Вела на основе её численной МГД-модели	32
А. А. Лутовинов. Открытие и определение параметров новых аккрецирующих компактных объектов телескопом ART-XC обсерватории Спектр-РГ	32
И. Ф. Малов, З. В. Кенько. Поиск генетической связи радиопульсаров с известными остатками сверхновых	33
В. М. Малофеев, О. И. Малов, Д. А. Теплых. Аномальное межимпульсное радиоизлучение у гамма-пульсара J0357+3205	34
И. Д. Маркозов и др. Диаграммы направленности излучения аккреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров	35
А. В. Мишакина, С. И. Блинников. Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем	36
И. Н. Никоноров и др. Туманность Гитара: экстремальный ускоритель в экстремальном окружении	37
Д. Д. Офенгейм, Е. Э. Коломейцев, П. С. Штернин. Энергия симметрии ядерной материи из наблюдений нейтронных звёзд и экспериментов по столкновениям тяжёлых ионов	38
А. Е. Петров, А. М. Быков, С. М. Осипов. Моделирование вклада туманностей ближайших пульсаров с головными ударными волнами в античастицы космических лучей в диапазоне ГэВ–ТэВ	39
Д. А. Подкуйченко, С. И. Блинников. Моделирование эволюционных треков белых карликов с использованием уравнения состояния для неидеальной плазмы	40
Н. К. Порайко и др. Поиск тёмной материи с помощью пульсарных экспериментов	41
В. М. Ревнивцев и др. Долговременная переменность периода прецессии аккреционного диска в двойной системе Her X-1	42
А. Н. Семена и др. Природа миллигерцовых КПО массивных рентгеновских двойных	43
Т. В. Смирнова и др. Близкий 7 сек пульсар J1951+2857 с самой низкой светимостью	44
М. А. Тимиркеева и др. Оценка радиосветимости пульсаров и транзиентов, открытых в ходе мониторинга на БСА ФИАН (111 МГц)	45
Т. Ю. Третьякова, Д. Е. Ланской. Гиперонные взаимодействия в лаборатории и материя нейтронных звёзд	46

С. А. Трушкин и др. Многолетняя программа мониторинга рентгеновской двойной звезды LSI+61°303 на РАТАН-600	47
С. А. Тюльбашев и др. Транзиенты и пульсары в наблюдениях на БСА ФИАН	48
Е. Н. Фадеев, Д. О. Панфилова. Измерение скорости и направления дрейфа дифракционной картины мерцаний радиопульсаров	48
А. Н. Фурсов и др. Ускорение нетепловых частиц до очень высоких энергий в пульсарных туманностях с двойным рентгеновским тором	49
А. Ф. Холтыгин. Природа спутников рентгеновских двойных звёзд с Ве компонентами	50
С. С. Цыганков. Рентгеновская поляризация аккрецирующих пульсаров: новые вызовы	51
А. И. Чугунов. Транзиентно-аккрецирующие нейтронные звёзды: роль пластической деформации	52
Д. М. Шленев, Д. А. Румянцев, А. А. Ярков. Перенос излучения равновесной электронной плазмы с учётом резонансного комптоновского процесса .	53
П. С. Штернин, Д. Д. Офенгейм. Ограничения на уравнение состояния сверхплотного вещества по данным наблюдений	54
А. В. Юдин. Модель обдирания для коротких гамма-всплесков: современный статус, проблемы и перспективы	55
Тезисы стендовых докладов	56
В. Ю. Абрамкин, Г. Г. Павлов. Пульсар B1133+16 в дальнем ультрафиолетовом диапазоне	56
В. Ю. Абрамкин, Г. Г. Павлов, Б. Посселт. Изолированная нейтронная звезда RX J2143.0+0654 в УФ-ИК-диапазоне	57
М. Д. Афонина, С. Б. Попов, А. В. Бирюков. Могут ли наблюдаться одиночные аккрецирующие нейтронные звёзды?	58
А. М. Ахмедов, С. В. Сушков. Построение модели вращающейся нейтронной звезды в рамках теории гравитации с неминимальной кинетической связью	59
Д. П. Барсуков, А. Н. Попов. Влияние мелкомасштабного магнитного поля на нагрев полярной шапки радиопульсара J0311+1402	60
Е. А. Брылякова и др. Пушинский многолучевой поиск пульсаров. Распределение импульсов по энергиям у 15 RRAT	60
М. М. Верязов и др. Оптические исследования источника 4FGL J0935.3+0901	61
О. А. Гогличидзе, М. Е. Гусаков. Роль вихрей Абрикосова в кинетике нейтронных звёзд	61
Н. А. Земляков, А. И. Чугунов. Электро- и теплопроводность электронов в поликристаллической мантии нейтронных звёзд	62
Е. М. Кантор, М. Е. Гусаков. Пересмотр глубинного нагрева коры замедляющихся миллисекундных пульсаров	63
М. А. Китаева и др. Пульсар с периодом 40.9 секунды по данным мониторинга на радиотелескопе БСА ФИАН	64
А. Д. Лазарев, С. Б. Попов. Бимодальность кика нейтронных звёзд и её связь с физическими параметрами	65

Д. Д. Лисицин, Н. И. Шакура. Краевой эффект, определяющий внутренний радиус аккреционного диска вокруг нейтронной звезды	66
А. А. Матевосян, Д. П. Барсуков, А. В. Скобля. Влияние искривления пространства на вклад в индексы торможения радиопульсаров	66
У. А. Мельникова, И. Д. Маркозов. Релятивистская стационарная модель аккреционной колонки рентгеновского пульсара	67
С. А. Михеев и др. Зависящие от плотности ΛN - и $\Lambda\Lambda$ -взаимодействия в материи нейтронных звёзд	68
А. И. Насакин и др. Влияние Ξ -гиперонов на характеристики нейтронных звёзд в подходе Скирма	69
С. В. Новикова, И. Д. Маркозов. Электрон-позитронные пары в горячих плотных колонках сверхкритических пульсаров	70
Е. А. Патраман, Г. С. Бисноватый-Коган. Нейтронные и кварковые (странные) звёзды в приближении однородной плотности	71
Г. К. Пименов, Д. И. Маркозов, А. А. Муштуков. Моделирование гравитационно-волнового сигнала рентгеновского пульсара Her X-1 . . .	71
Н. О. Прокопья, Г. В. Верещагин. Излучение и остывание горячей кварковой звезды	72
Д. К. Романов и др. 4FGL J2054.2+6904: исследование кандидата в системы типа “redback”	72
Е. Б. Рыспаева, А. Ф. Холтыгин. Исследование рентгеновского и оптического излучения звезды типа γ Cas SS 397	73
М. А. Тимиркеева, И. Ф. Малов. О положении радиопульсаров с жёстким излучением на диаграмме $\dot{P}$ – P и их эволюции	74
М. А. Тимиркеева, И. Ф. Малов. О радиопульсарах с магнитными полями $10^9 - 10^{10}$ Гс	74
Ю. А. Уваров и др. Концепция орбитального комптоновского гамма-телескопа	75
А. Х. Хоконов, А. А. Хоконов. Оценка вязкости адронного вещества по динамике нейтронных звёзд и данным ядерной спектроскопии	76
А. И. Чугунов и др. Высокоточная капельная модель для внутренней коры нейтронной звезды	77
М. В. Шахов, С. П. Рошупкин. Резонансный электронный трезубец при столкновении ультрарелятивистских электронов с рентгеновским излучением нейтронных звёзд	78

ПРОГРАММА

13 июля, понедельник

- 09:15 Регистрация
- 10:30 Открытие конференции
- 10:40 М.Е. Гусаков. Магнитные поля и эволюция нейтронных звёзд (40 минут)
- 11:20 Д.А. Байко, А.И. Чугунов. Любопытная история нейтронной звезды в системе IGR J17480-2446 (25 минут)
- 11:45 Перерыв на кофе
- 12:15 А.И. Чугунов. Транзиентно-аккрецирующие нейтронные звёзды: роль пластической деформации (25 минут)
- 12:40 Н.А. Земляков, А.И. Чугунов. Упругость коры нейтронных звёзд (25 минут)
- 13:05 Д.А. Подкуйченко, С.И. Блинников. Моделирование эволюционных треков белых карликов с использованием уравнения состояния для неидеальной плазмы (25 минут)
- 13:30 ОБЕД
- 15:00 Ф.А. Агаронян. Туманности пульсарного ветра в гамма-лучах сверхвысоких энергий (40 минут)
- 15:40 А.Е. Петров, А.М. Быков, С.М. Осипов. Моделирование вклада туманностей ближайших пульсаров с головными ударными волнами в античастицы космических лучей в диапазоне ГэВ–ТэВ (25 минут)
- 16:05 К.П. Левенфиш, А.Н. Фурсов, Г.А. Пономарёв. Интерпретация данных о поляризации и морфологии рентгеновской туманности Вела на основе её численной МГД-модели (25 минут)
- 16:30 Перерыв на кофе
- 17:00 А.Н. Фурсов и др. Ускорение нетепловых частиц до очень высоких энергий в пульсарных туманностях с двойным рентгеновским тором (25 минут)
- 17:25 И.Н. Никоноров, М.В. Барков, М. Лютиков. Туманность Гитара: экстремальный ускоритель в экстремальном окружении (25 минут)
- 17:50 Окончание 1-го дня заседаний

14 июля, вторник

- 10:00 К.-Е.С. Беккер, А.И. Чугунов, Д.Д. Оффенгейм. Масса и радиус нейтронной звёзды: как учесть кору, не зная её уравнения состояния? (25 минут)
- 10:25 Е.Э. Коломейцев. Уравнение состояния ядерного вещества: теория и “эксперимент” (40 минут)
- 11:05 Т.Ю. Третьякова, Д.Е. Ланской. Гиперонные взаимодействия в лаборатории и материя нейтронных звёзд (25 минут)
- 11:30 Перерыв на кофе
- 12:00 П.С. Штернин, Д.Д. Оффенгейм. Ограничения на уравнение состояния сверхплотного вещества по данным наблюдений (40 минут)
- 12:40 Д.Д. Оффенгейм и др. Энергия симметрии ядерной материи из наблюдений нейтронных звёзд и экспериментов по столкновениям тяжёлых ионов (25 минут)
- 13:05 А.Ф. Холтыгин. Природа спутников рентгеновских двойных звёзд с Ве компонентами (25 минут)
- 13:30 ОБЕД
- 15:00 А.А. Лутовинов. Открытие и определение параметров новых аккрецирующих компактных объектов телескопом ART-XC обсерватории Спектр-РГ (40 минут)
- 15:40 В.А. Арефьев и др. Ускользящее гало (поиск пульсарного гало Геминги в рентгеновских лучах) (25 минут)
- 16:05 А.Н. Семёна и др. Природа миллигерцовых КПО массивных рентгеновских двойных (25 минут)
- 16:30 Обсуждение стендовых докладов и лёгкий фуршет

15 июля, среда

- 10:00 Е.Н. Фадеев, Д.О. Панфилова. Измерение скорости и направления дрейфа дифракционной картины мерцаний радиопульсаров (25 минут)
- 10:25 Н.К. Порайко и др. Поиск тёмной материи с помощью пульсарных экспериментов (40 минут)
- 11:05 С.А. Трушкин и др. Многолетняя программа мониторинга рентгеновской двойной звезды LSI+61°303 на РАТАН-600 (25 минут)
- 11:30 Перерыв на кофе
- 12:00 В.С. Бескин. История заблуждений в теории радиопульсаров (40 минут) (25 минут)
- 12:40 Ф.А. Князев, А.Ю. Истомин, В.С. Бескин. К статистике радиопульсаров (25 минут)
- 13:05 А.Ю. Истомин, Ф.А. Князев, В.С. Бескин. Влияние эффектов распространения на поляризационные характеристики радиоизлучения пульсаров (25 минут)
- 13:30 ОБЕД
- 15:00 С.А. Тюльбашев и др. Транзиенты и пульсары в наблюдениях на БСА ФИАН (40 минут)
- 15:40 М.А. Тимиркеева и др. Оценка радиосветимости пульсаров и транзиентов, открытых в ходе мониторинга на БСА ФИАН (111 МГц) (25 минут)
- 16:05 Т.В. Смирнова и др. Близкий 7 сек пульсар J1951+2857 с самой низкой светимостью (25 минут)
- 16:30 Перерыв на кофе
- 17:00 В.М. Малофеев, О.И. Малов, Д.А. Теплых. Аномальное межимпульсное радиоизлучение у гамма-пульсара J0357+3205 (25 минут)
- 17:25 И.Ф. Малов, З.В. Кенько. Поиск генетической связи радиопульсаров с известными остатками сверхновых (25 минут)
- 17:50 Окончание 3-го дня заседаний

16 июля, четверг

- 10:40 Д.М. Шленев, Д.А. Румянцев, А.А. Ярков. Перенос излучения равновесной электронной плазмы с учётом резонансного комптоновского процесса (25 минут)
- 11:05 С.А. Гребенев. Рентгеновское и гамма-излучение высокотемпературной плазмы (25 минут)
- 11:30 Перерыв на кофе
- 12:00 С.С. Цыганков. Рентгеновская поляризация аккрецирующих пульсаров: новые вызовы (40 минут)
- 12:40 А.Д. Каминкер и др. Поляризация и спектры рентгеновских пульсаров в докритическом режиме аккреции. Эффекты поляризации вакуума (25 минут)
- 13:05 И.Д. Маркозов и др. Диаграммы направленности излучения аккреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров (25 минут)
- 13:30 ОБЕД
- 15:00 А.В. Юдин. Модель обдирания для коротких гамма-всплесков: современный статус, проблемы и перспективы (25 минут)
- 15:40 Н.И. Крамарев, А.В. Юдин. Неконсервативный обмен веществом в модели обдирания нейтронных звёзд (40 минут)
- 16:05 И.А. Кондратьев, С.Г. Моисеенко, Г.С. Бисноватый-Коган. Асимметрии и МГД неустойчивости в многомерных моделях магниторотационных сверхновых (25 минут)
- 16:30 А.Ф. Июдин. Особенности пульсарной туманности “Бумеранг” в области высоких и сверхвысоких энергий гамма-излучения
- 16:55 Кофе и обсуждение докладов

17 июля, пятница

- 10:00 А.Д. Каминкер. Несколько слов о Юрии Анатольевиче Шибанове (15 минут)
- 10:15 Д.А. Зюзин, А.В. Карпова, М.Р. Гильфанов. Первые результаты поиска изолированных нейтронных звёзд типа Великолепной Семёрки по данным *CPG/eROSITA* (25 минут)
- 10:40 А.В. Карпова. “Пульсары-пауки”: наблюдения и поиск кандидатов (40 минут)
- 11:20 Перерыв на кофе
- 11:50 Вл.В. Кочаровский и др. Спектрально-корреляционный анализ непрерывного излучения радиопульсара B0950+08 на всём периоде его вращения: Блуждающие импульсы, межзвёздные мерцания и шум (25 минут)
- 12:15 В.В. Вдовин и др. Исследование частотных профилей излучения радиопульсаров: влияние межзвёздной дифракции и поиск компонент импульса (25 минут)
- 12:40 В.Ю. Авдеев и др. Тонкая структура индивидуальных импульсов пульсара B1237+25 по данным проекта Радиоастрон (25 минут)
- 13:05 М.Д. Афонина, С.Б. Попов. Популяционный синтез высокоскоростных рентгеновских двойных с аккрецирующими нейтронными звёздами (25 минут)
- 13:30 ОБЕД
- 15:00 А.В. Бирюков, А. Левинсон, П. Аболмасов. Теоретические ограничения на параметры сверхтекучей жидкости в коре Нег X-1 из анализа наблюдаемой прецессии звезды (25 минут)
- 15:25 В.М. Ревнивцев и др. Долговременная переменность периода прецессии аккреционного диска в двойной системе Нег X-1 (25 минут)
- 15:50 А.В. Мишакина, С.И. Блинников. Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем (25 минут)
- 16:15 Перерыв на кофе
- 16:45 К.Ю. Краав, М.Е. Гусаков, Е.М. Кантор. Сильное влияние увлечения инерциальных систем отсчета на свойства γ -мод в небаротропных нейтронных звездах (25 минут)
- 17:10 Е.М. Кантор, К.Ю. Краав, М.Е. Гусаков. Влияние релятивистского эффекта увлечения инерциальных систем отсчёта на собственные функции γ -мод на Солнце (25 минут)
- 17:35 Закрытие конференции

ТЕЗИСЫ УСТНЫХ ДОКЛАДОВ

(Подчёркиванием отмечены соавторы, представляющие доклад.)

Тонкая структура индивидуальных импульсов пульсара B1237+25 по данным проекта Радиоастрон

В. Ю. Авдеев*, А. С. Андрианов, М. В. Попов, В. А. Согласнов

АКЦ ФИАН

В работе представлены результаты анализа архивных наблюдений пульсара B1237+25, выполненных в рамках проекта Радиоастрон. Наблюдения проводились на частоте 324 МГц в полосе 16 МГц с регистрацией сигналов в двух поляризациях (LCP/RCP). Основной целью исследования было изучение тонкой временной структуры индивидуальных импульсов. Для этого были построены и проанализированы кросс-корреляционные функции между поляризационными каналами приёмника. Анализ выполнялся отдельно для пяти компонентов среднего профиля пульсара. Показано, что в усреднённых кросс-корреляционных функциях признаки микроструктуры отсутствуют, однако в ряде индивидуальных субимпульсов она проявляется достаточно отчётливо. Доля подобных событий составляет около 12% от общего числа проанализированных импульсов. Характерные временные масштабы выявленной микроструктуры находятся в диапазоне 0.11.0 мс. Кроме того, обнаружен пекулярный импульс, состоящий из серии микроимпульсов высокой интенсивности (до ~ 2000 Ян) длительностью порядка 10 мкс. По своим характеристикам данные микроимпульсы близки к гигантским импульсам, зарегистрированным у ряда других пульсаров, и, вероятно, отражают процессы искрового разряда в вакуумном зазоре над полярной шапкой нейтронной звезды. Полученные результаты представляют интерес для исследований механизмов радиоизлучения пульсаров и структуры магнитосферы нейтронных звёзд.

*E-mail: adisonmail@gmail.com

Туманности пульсарного ветра в гамма-лучах сверхвысоких энергий

Ф. А. Агаронян^{1*}

¹Ереванский государственный университет

Одним из наиболее примечательных достижений в астрофизике высоких энергий за последние годы стало открытие источников гамма-излучения сверхвысоких энергий (СВЭ; $E > 100$ ТэВ), что подразумевает наличие в Млечном Пути ПэВатронов космических лучей внеземных ускорителей частиц, способных разгонять электроны и протоны до петаэлектронвольтных энергий. Это открытие обычно рассматривается в контексте происхождения галактических космических лучей. Однако оно имеет более широкие последствия, особенно для физики так называемых экстремальных ускорителей, в которых частицы ускоряются с эффективностью, приближающейся к абсолютным теоретическим пределам. Это относится прежде всего к электронным ПэВатронам, требующим тонкой настройки для достижения баланса между скоростью ускорения и радиационными потерями. Значительное число из десятков обнаруженных источников гамма-излучения СВЭ связано с пульсарными туманностями, включая их уникального представителя – Крабовидную туманность. В этом докладе я расскажу о значении недавних открытий LHAASO в контексте прогресса в понимании физики пульсарных туманностей.

*E-mail: faa137@googlemail.com

Ускользящее гало (поиск пульсарного гало Геминги в рентгеновских лучах)

В. А. Арефьев^{1*}, Р. А. Кривонос¹, А. А. Лутовинов¹, А. Ю. Ткаченко¹,
Е. В. Филиппова¹,

¹ИКИ РАН

Пульсарное гало (также называемое ТэВ-ное гало) – относительно 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 тераэлектронвольтовое 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 ищут пульсарных гало, однако низкая ожидаемая поверхностная яркость и большой угловой размер этих объектов представляет большую проблему для наблюдений. Будет рассказано про попытки детектирования пульсарных гало с помощью космических обсерваторий NuStar, XMM-Newton, и, естественно, про наблюдения SRG/ART-XC.

*E-mail: arefiev@cosmos.ru

Популяционный синтез высокоскоростных рентгеновских двойных с аккрецирующими нейтронными звёздами

М. Д. Афолина^{1,2*}, С. Б. Попов¹

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

²Физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

Недавние рентгеновские наблюдения выявили двойные системы с пекулярной скоростью более 200 км с^{-1} [1]. Некоторые из них содержат маломассивную звезду главной последовательности ($0.3 - 2 M_{\odot}$) и кандидата в нейтронные звёзды. Мы предлагаем и исследуем гипотезу о том, что в части обнаруженных высокоскоростных двойных систем рентгеновская светимость может объясняться аккрецией звёздного ветра нормального компонента на нейтронную звезду. В таком случае наблюдение и моделирование подобных систем дадут уникальную возможность изучения аккреционных процессов при малых темпах $\lesssim 10^{14} \text{ г с}^{-1}$ ($\lesssim 10^{-12} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$). В данной работе представлены оценки количества таких двойных систем в Галактике и времени выхода нейтронной звезды на стадию аккреции. В результате расчетов популяционного синтеза $\sim 1.7 \times 10^7$ прародителей с помощью кода BSE получена выборка из $\sim 3 \times 10^4$ систем с нейтронной звездой, что соответствует $\sim 2 \times 10^4$ объектам в Млечном Пути. Оценки пекулярных скоростей показывают, что в Галактике лишь ~ 20 (~ 400) систем с массой звезды-компаньона $0.3 - 2 M_{\odot}$ ($0.1 - 2 M_{\odot}$) могут иметь скорости выше 200 км с^{-1} . В результате расчётов дальнейшей эволюции двойных получено, что подавляющая доля нейтронных звёзд начинает аккрецировать вещество звёздного ветра в течение 10^{10} лет, достигая максимальной светимости $\sim 10^{32} - 10^{34} \text{ эрг с}^{-1}$, что позволяет наблюдать часть из них в рентгеновском диапазоне.

Работа поддержана грантом РФФ 25-12-00012.

Список литературы

- [1] Y. Zhao et al., arXiv:2601.02287 (2026)

*E-mail: afoninamd@gmail.com

Любопытная история нейтронной звезды в системе IGR J17480-2446

Д. А. Байко*, А. И. Чугунов

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

IGR J17480-2446 – маломассивная рентгеновская двойная система, содержащая аккрецирующий пульсар (нейтронную звезду) с необычной частотой вращения 11 Гц и очень медленным остыванием после эпизода аккреции. Первое может означать, что пульсар наблюдается на начальной стадии раскрутки, а второе, вероятно, свидетельствует о наличии во внешней коре, в сравнительно узком диапазоне плотностей, слоя с низкой теплопроводностью, возможно состоящего из стекла. Мы предлагаем интерпретацию этих пекулярных наблюдательных фактов в рамках естественного сценария, объясняющего наличие стекла в необходимом диапазоне плотностей и не противоречащего наблюдениям других транзиентно-аккрецирующих источников. Сценарий также позволяет сделать конкретные выводы о структуре и параметрах данной нейтронной звезды и, тем самым, улучшить понимание таких различных областей физики и астрофизики как переход кристалл-стекло в плотной, полностью ионизованной плазме, происхождение нейтронных звёзд в шаровых скоплениях, свойства нейтронных звёзд, родившихся в результате вырожденного коллапса, и др. Работа А.И. Чугунова выполнена за счет гранта Российского научного фонда 22-12-00048-П, <https://rscf.ru/project/22-12-00048/>.

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

Масса и радиус нейтронной звёзды: как учесть кору, не зная её уравнения состояния?

К.-Е. С. Беккер^{1,2*}, А. И. Чугунов¹, Д. Д. Оффенгейм^{1,3}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Политехническая ул. 26

²Санкт-Петербургский государственный университет, Кафедра астрономии, Санкт-Петербург, Петродворец, Университетский пр. 28

³Еврейский университет г. Иерусалима, Иерусалим, Израиль

При построении моделей нейтронных звёзд важную роль играет внутренняя термодинамическая согласованность, в частности, согласованность моделей ядра и коры звезды. Во многих случаях, авторы уравнений состояния для ядра звезды не строят уравнение состояния для коры, а для построения зависимости масса-радиус используют одно из доступных в литературе. Это требует искусственной сшивки и может нарушать термодинамическую согласованность. В результате, масса и толщина коры может рассчитываться некорректно, приводя к ошибкам при вычислении массы и радиуса всей звезды [1]. В работе [1] предложен подход для определения массы и толщины коры, основанный на термодинамической согласованности, без привязки к какому-либо уравнению состояния коры. В докладе предложено уточнение этого подхода на основе описания коры в политропной модели. Аналитически получены формулы для массы и толщины коры, уточняющие результаты работы [1]. Показано, что толщина и масса коры слабо зависят от используемого в модели индекса политропы n при реалистичных значениях $n \gtrsim 1$. Подход протестирован на группе термодинамически и микрофизически согласованных уравнений состояния BSK19-26 [2,3]. Показано, что точность описания толщины и массы коры для типичных нейтронных звёзд (с массой $\gtrsim 1M_\odot$) существенно улучшается по сравнению с подходом работы [1]. Работа выполнена за счет средств гранта РНФ 22-12-00048-П.

Список литературы

- [1] J. L. Zdunik, M. Fortin, P. Haensel, A&A 599, A119 (2017)
- [2] A. Y. Potekhin, A. F. Fantina, N. Chamel, J. M. Pearson, & S. Goriely, A&A 560, A48 (2013)
- [3] J. M. Pearson, N. Chamel, A. Y. Potekhin, A. F. Fantina, C. Ducoin, A. K. Dutta, & S. Goriely, MNRAS 481, 2994 (2018); Erratum (2019)

*E-mail: eva.bekker.03@mail.ru

История заблуждений в теории радиопульсаров

В. С. Бескин^{1,2*}

¹ФИАН

²МФТИ

В следующем году мы будем отмечать шестидесятилетие открытия радиопульсаров. Однако, несмотря на многолетние усилия, некоторые ключевые вопросы (какова природа наблюдаемого радиоизлучения, как эволюционирует угол между осью вращения и осью магнитного диполя) до сих пор не имеют общепринятого ответа. Более того, многие казалось бы устоявшиеся мнения впоследствии самым решительным образом отбрасывались и превращались в заблуждения. В докладе сделана попытка кратко изложить поучительную историю этих заблуждений, некоторые из которых, не исключено, таковыми на самом деле не являются.

*E-mail: beskin@lpi.ru

Теоретические ограничения на параметры сверхтекучей жидкости в коре Нег X-1 из анализа наблюдаемой прецессии звезды

А. Бирюков^{1,2*}, А. Левинсон¹, П. Аболмасов¹

¹Tel Aviv University, Tel Aviv, Israel

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

Недавние наблюдения источника Нег X-1, проведённые орбитальной обсерваторией IXPE, показали наличие корреляции между его рентгеновским потоком, степенью поляризации и углом ориентации вектора поляризации в течение 35-дневного суперорбитального периода. Распространённая интерпретация этих результатов заключается в том, что 35-дневный период запускается свободной прецессией нейтронной звезды. Если это так, то это существенно ограничивает свойства сверхтекучей компоненты в коре звезды. Так, для поддержания прецессии в течение ~ 50 -летнего интервала наблюдений за Нег X-1 необходимо, чтобы сверхтекучие вихри (вихри) оставались незакреплёнными на протяжении столетий и испытывали чрезвычайно слабое взаимное трение при прохождении через кристаллическую решётку коры. Что ставит под сомнение общепринятые представления о динамике глитчей нейтронных звёзд. В данной работе приводится детальное аналитическое рассмотрение вращательной динамики Нег X-1 с учётом внешнего аккреционного момента сил и внутреннего момента, обусловленного взаимодействием со сверхтекучей компонентой. Приводится оценка сверху на максимальную силу трения вихрей о решётку. Обсуждается, как свободная прецессия может поддерживаться долгое время за счёт баланса между внутренними и внешними силами. Статья направлена в журнал. Препринт доступен по адресу <https://arxiv.org/abs/2605.04686>

*E-mail: ant.biryukov@gmail.com

Исследование частотных профилей излучения радиопульсаров: влияние межзвёздной дифракции и поиск компонент импульса

В. В. Вдовин^{1*}, С. В. Логвиненко², Е. М. Лоскутов¹, В. М. Малофеев²,
А. М. Фейгин¹, Вл. В. Кочаровский¹

¹ИПФ РАН

²ПРАО АКЦ ФИАН

В докладе представлены результаты анализа частотных профилей пульсаров B0950+08, B1237+25 и других, для которых нами изучались динамические спектры излучения [1, 2] путём наблюдений на радиотелескопе БСА ПРАО АКЦ ФИАН с центральной частотой около 111 МГц в полосе 2.5 МГц, принимающем одну линейную поляризацию и каждые сутки дающем для отдельного источника примерно трёхминутные интервалы данных длиной немного больше 3 минут в 500 частотных каналах шириной почти по 5 кГц. Разработана процедура выделения и удаления из сигнала частотного профиля, присущего данному радиотелескопу и конкретным сериям наблюдений. С использованием этой процедуры для пульсара B0950+08, излучение которого обычно моделируется сигналами из обоих магнитных полюсов [3, 4], проведено сравнение частотных профилей компонент, предположительно относящихся к разным полюсам. Для излучения этого пульсара известно также наличие двух разных частотных масштабов, вызванных межзвёздной дифракцией либо другими причинами изменчивости частотного профиля сигнала [5]. Нами проведено точное измерение этих масштабов для нескольких серии наблюдений в отдельности, в том числе раздельно для сильнейших по S/N периодов пульсара и для всех периодов вместе взятых. Это дало возможность судить об изменении межзвёздной рефракции для трассы распространения излучения данного пульсара на временных масштабах от суток до месяцев. Подобные точные измерения как частотного, так и временного масштабов межзвёздной дифракции проведены и для ряда других пульсаров. Показано, что выделение и использование эталонного частотного профиля сигнала пульсара позволяет улучшить отношение S/N и детектировать слабые компоненты излучения, не выделяющиеся над фоном по интенсивности. Такая ситуация возможна, например, из-за некогерентной компенсации дисперсии и связанного с этим искажения интегрального профиля пульсара [6, 7]. Разработанный нами метод использован для анализа излучения пульсара B1237+25 с целью поиска и выделения компонент его импульса. Работа поддержана грантом РФФ 23-62-10043.

Список литературы

- [1] Вл. В. Кочаровский, В. В. Вдовин, А. С. Гаврилов, Е. Р. Кочаровская, С. В. Логвиненко, Е. М. Лоскутов, В. М. Малофеев, Письма в Астрон. журн., 50 (2), 142–162, (2024)
- [2] В. В. Вдовин, С. В. Логвиненко, Е. М. Лоскутов, В. М. Малофеев, А. М. Фейгин, Вл. В. Кочаровский, Письма в Астрон. журн., 51 (10), 591–601, (2025)
- [3] Zhengli Wang, Jiguang Lu, Jinchun Jiang et. al., MNRAS, 517, 5560–5568 (2022)
- [4] Zhengli Wang, Jiguang Lu, Jinchun Jiang et. al., ApJ, 963, 65 (2024)
- [5] T. V. Smirnova, M. O. Toropov, & S. A. Tyulbashev, Astron. Rep., 68, 828–837 (2024)
- [6] I. A. Girin, S. F. Likhachev, A. S. Andrianov, M. S. Burgin, M. V. Popov, A. G. Rudnitskiy, V. A. Soglasnov, and V. A. Zuga, Astron. Comput., 45, 100754 (2023)
- [7] M. V. Popova, and T. V. Smirnova, Astron. Rep., 69 (9), 819–833 (2025)

*E-mail: valeryvdo@ipfran.ru

Рентгеновское и гамма-излучение высокотемпературной плазмы

С. А. Гребенев^{1*}

¹Институт космических исследований РАН, Москва

Представлены результаты численных расчётов широкополосных спектров излучения, формирующихся в слое высокотемпературной ($kT_e \sim 50$ кэВ) полупрозрачной (с томсоновской оптической толщиной $\tau_T \sim 1 - 3$) плазмы с плотностью электронов $N_e \sim 10^{17} - 10^{19}$ см⁻³, характерной для окружающих нейтронную звезду или чёрную дыру областей аккреционного диска в рентгеновских двойных системах. В расчётах учитывались тормозные процессы рождения (и поглощения) фотонов и их последующая комптонизация. Показано, что собственного излучения такой высокотемпературной плазмы достаточно для объяснения рентгеновских спектров, наблюдаемых в жёстком состоянии галактических рентгеновских источников. Никаких обычно предполагаемых дополнительных мягких (с энергиями $h\nu \lesssim 1$ кэВ) фотонов для поддержания комптонизации не требуется; более того, их присутствие привело бы к сильным искажениям спектра по сравнению с наблюдаемым или потребовало бы тонкой настройки параметров плазмы. В жёстком рентгеновском диапазоне образующийся степенной спектр излучения с фотонным индексом $\alpha \sim 1.2 - 1.7$, экспоненциально обрывающийся на энергиях $h\nu \gtrsim 100$ кэВ, значительно превышает поток тормозного излучения, который можно было бы ожидать от подобного слоя плазмы в пределе бесконечно малой толщи. Это результат многократного обратного комптоновского рассеяния тормозных фотонов. Важно, что степенной спектр излучения такой высокотемпературной плазмы должен, согласно расчёту, простирается в неизменном виде вниз по оси энергий вплоть до ультрафиолетового, оптического и инфракрасного диапазонов ($h\nu \sim 1 - 3$ эВ). На энергиях $h\nu \lesssim 1$ эВ толща по тормозному поглощению быстро нарастает и спектр излучения становится рэлей-джинсовским. Для объяснения более крутых ($\alpha \sim 2.1 - 2.5$) рентгеновских спектров действительно необходимо попадание в горячее облако большого числа мягких фотонов, дополнительных к фотонам собственного тормозного излучения плазмы.

*E-mail: grebenev@cosmos.ru

Магнитные поля и эволюция нейтронных звёзд

М. Е. Гусаков^{1*}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

В докладе будет представлен обзор современной теории эволюции магнитных полей в нейтронных звёздах. После краткого введения будут рассмотрены основные физические механизмы, определяющие поведение магнитного поля в коре и ядре звезды. Особое внимание будет уделено ключевым нерешённым вопросам: проблеме устойчивости звёздных магнитных конфигураций, характерным временным масштабам долговременной магнитной эволюции, связи между эволюцией магнитного поля в коре и ядре, а также возможным наблюдательным проявлениям такой эволюции. Будут обсуждены основные достижения последних лет и перспективы дальнейших исследований. Работа выполнена при поддержке РНФ (грант № 22-12-00048-П).

*E-mail: michael.gusakov@gmail.com

Упругость коры нейтронных звёзд

Н. А. Земляков^{1*}, А. И. Чугунов¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Кора нейтронных звёзд окружает жидкое ядро и состоит из атомных ядер, образующих кристалл. Как и любой кристалл, она обладает упругими свойствами, и их количественное описание необходимо для моделирования и интерпретации ряда наблюдательных проявлений нейтронных звёзд (колебания, излучения гравитационных волн и т.д.). При расчёте упругих свойств необходимо учитывать поликристаллическую структуру коры, а в самых глубоких и плотных частях, где расстояние между атомными ядрами становится сравнимым с их размером, изменение формы атомных ядер при деформации коры. В докладе приведён краткий обзор наших недавних результатов в этой области.

*E-mail: zemlyakov@mail.ioffe.ru

Первые результаты поиска изолированных нейтронных звёзд типа Великолепной Семёрки по данным CPГ/eROSITA

Д.А. Зюзин^{1*}, А.В. Карпова¹, М.Р. Гильфанов^{2,3}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²ИКИ РАН

³Max-Planck-Institut für Astrophysik, Garching, Germany

Великолепная семёрка (M7) – это класс изолированных нейтронных звёзд, излучение которых наблюдается преимущественно в рентгеновском диапазоне и имеет тепловую природу. Впервые данные объекты были обнаружены по результатам обзора всего неба, выполненного телескопом ROSAT. В настоящее время инструмент eROSITA на борту обсерватории Спектр-Рентген- Гамма завершил 4.5 обзора всего неба, что по чувствительности более чем на порядок превосходит эксперимент ROSAT. Ожидается, что глубина новых данных позволит существенно увеличить численность известной популяции нейтронных звёзд типа M7. В докладе представлены первые результаты поиска таких объектов на восточной половине неба. В ходе работы были обнаружены два новых источника, SRGe J013505.9+370127 и SRGe J021439.9+384612, обладающие следующими свойствами: (1) на их положениях отсутствуют оптические источники по данным каталога Pan-STARRS; (2) рентгеновские спектры описываются моделью абсолютно чёрного тела с температурами 60–80 эВ; (3) источники демонстрируют временную стабильность излучения в рентгеновском диапазоне. Совокупность указанных характеристик делает обнаруженные объекты прекрасными кандидатами в класс M7.

*E-mail: da.zyuzin@gmail.com

Влияние эффектов распространения на поляризационные характеристики радиоизлучения пульсаров

А. Ю. Истомин^{1,2*}, Ф. А. Князев^{1,2}, В. С. Бескин^{2,1}

¹Московский физико технический институт

²Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук

Эффекты распространения в магнитосферах пульсаров играют определяющую роль в формировании их наблюдаемого радиоизлучения. Особого внимания заслуживает эффект предельной поляризации, описывающий эволюцию поляризационных характеристик излучения при распространении в неоднородной плазме, заполняющей магнитосферу. Корректный анализ данного эффекта позволил объяснить как высокую долю круговой поляризации, часто наблюдаемую у радиопульсаров, так и отклонения кривых позиционного угла от стандартной S-образной кривой, предсказываемой моделью RVM. Для количественного анализа эффектов распространения была построена детальная модель магнитосферы радиопульсара, позволяющая решать соответствующие уравнения переноса в реалистичной геометрии. Это, в свою очередь, дало возможность вычислять модельные средние профили поляризованного излучения и сравнивать результаты с наблюдениями. В рамках данной простой модели удалось воспроизвести достаточно сложные морфологические особенности профилей поляризации пульсаров. Кроме того, показано, что вследствие частотной зависимости эффекта предельной поляризации возможно возникновение эффективной, зависящей от фазы импульса добавки к мере вращения, что подтверждается наблюдательными данными.

*E-mail: istomin.aiu@phystech.edu

Особенности пульсарной туманности “Бумеранг” в области высоких и сверхвысоких энергий гамма-излучения

А. Ф. Июдин*

НИИЯФ МГУ

Пульсарная туманность “Бумеранг” G106.6+2.9 из-за своих характеристик гамма-излучения высоких и сверхвысоких энергий считается кандидатом в источники космических лучей сверхвысоких энергий. Система остатка сверхновой G106.6+2.9 представляет собой пространственно протяжённую структуру, состоящую из пульсара PSR J2229+6114 и окружающей его пульсарной туманности характерной формы, напоминающей бумеранг, которую часто называют головной частью системы, а также из протяжённой части остатка сверхновой, называемой “хвостом”. Спектры гамма-излучения от этих двух частей туманности несколько отличаются друг от друга, что даёт основание предполагать наличие нескольких зон образования гамма-излучения в этом источнике, возможно, с разными механизмами излучения. В данном докладе мы обсудим роль лептонов и адронов в образовании наблюдающегося гамма-излучения от пульсарной туманности и остатка сверхновой, и представим результаты оценки величины магнитного поля вблизи головной области остатка, основанные на результатах измерений спектра гамма-излучения различными экспериментами, включая измерения приборами Comptel, EGRET и гамма-телескопа на борту COS-B.

*E-mail: aiyudin@srd.sinp.msu.ru

Поляризация и спектры рентгеновских пульсаров в докритическом режиме аккреции. Эффекты поляризации вакуума

А. Д. Каминкер^{1*}, И. Д. Маркозов¹, А. Ю. Потехин¹, А. А. Муштуков^{2,3}

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

²Mullard Space Science Laboratory, University College London, UK

³Astrophysics, Department of Physics, University of Oxford, UK

В докладе обсуждаются результаты расчётов спектров и поляризации излучения аккрецирующих нейтронных звёзд с сильным магнитным полем, рентгеновских пульсаров, в докритическом режиме аккреции. Перенос поляризованного излучения и гидродинамика плазмы внутри аккреционного канала рассматриваются самосогласованно с учётом резонансного комптоновского рассеяния и эффектов поляризации вакуума в сильном магнитном поле. Показано определяющее влияние эффектов поляризации вакуума на форму абсорбционной циклотронной линии и на зависимость линейной поляризации от энергии. Проведено сравнение с наблюдаемыми спектрами докритических рентгеновских пульсаров. Работа ИДМ, АЮП и АДК поддержана Российским научным фондом, грант 24-12-00320.

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

Влияние релятивистского эффекта увлечения инерциальных систем отсчёта на собственные функции γ -мод на Солнце

Е. М. Кантор^{1*}, К. Ю. Краав¹, М. Е. Гусаков¹

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Как было показано в нашей недавней работе [1], релятивистский эффект увлечения инерциальных систем отсчёта, величина которого пропорциональна компактности звезды, может существенно исказить собственные функции γ -мод нейтронных звёзд. При этом степень искажения возрастает при уменьшении скорости вращения звезды. В настоящей работе мы показываем, что вращение Солнца является настолько медленным, что даже его малая компактность приводит к заметной модификации собственных функций солнечных γ -мод, или волн Россби. Таким образом, с точки зрения динамики γ -мод, Солнце, несмотря на свою малую компактность, может проявлять свойства релятивистского объекта. Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 22-12-00048-П.

Список литературы

- [1] K. Y. Kraav, M. E. Gusakov, and E. M. Kantor, Phys. Rev. D 106, 103009 (2022)

*E-mail: kantor.elena.m@gmail.com

“Пульсары-пауки”: наблюдения и поиск кандидатов

А. В. Карпова^{1*}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

“Пульсары-пауки” представляют собой тесные двойные системы, состоящие из миллисекундного пульсара и маломассивной звезды-компаньона, испаряющейся под действием пульсарного ветра и излучения. В докладе будет представлен обзор наблюдательных исследований данных объектов, преимущественно в оптическом диапазоне, с акцентом на результаты, полученные группой из ФТИ им. А. Ф. Иоффе. Также будет рассмотрены результаты поиска кандидатов в пульсары-пауки по данным различных обзоров.

*E-mail: annakarpova1989@gmail.com

К статистике радиопульсаров

Ф. А. Князев^{1,2*}, А. Ю. Истомин^{1,2}, В. С. Бескин^{2,1}

¹Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет)

²Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

Данные, накопленные за последние годы с помощью радиотелескопов MeerKAT и FAST, позволили значительно увеличить статистику поляризационных свойств средних профилей излучения радиопульсаров. Это позволило, используя разработанную нами ранее процедуру определения мод ортогональной поляризации, выделить две статистически независимые популяции пульсаров, чьё излучение преимущественно формируется одной модой. Подтверждено, что профили, формируемые О-модой, систематически шире профилей, связанных с Х-модой, что согласуется с предсказаниями теории распространения волн в магнитосфере нейтронной звезды. Кроме того, увеличенная статистика позволила провести анализ распределения ортогональных пульсаров по периоду.

*E-mail: kniazev.fa@phystech.edu

Уравнение состояния ядерного вещества: теория и “эксперимент”

Е. Э. Коломейцев^{1*}

¹ЛТФ, ОИЯИ, Дубна

Ядерная физика давно перестала быть наукой о свойствах отдельных ядер и претендует на описание широкого круга явлений, включающего столкновения тяжелых ионов, взрывы сверхновых, рождение и эволюцию нейтронных звёзд. Связующим звеном при описании различных систем является уравнение состояния ядерной материи. В уравнении состояния обычно выделяют слагаемое, зависящее только от суммарной плотности нейтронов и протонов и слагаемое, зависящее также от их разности. Последнее называют энергией симметрии. В докладе мы рассмотрим, какие эксперименты на атомных ядрах позволяют определить параметры ядерной материи вблизи точки ядерного насыщения и как уравнение состояния при плотностях больше ядерной может быть исследовано в столкновениях тяжёлых ионов. В частности, давление симметричного ядерного вещества может быть оценено из измерений потоков частиц, рождённых в ядерных столкновениях, а энергия симметрии имеет решающее значение для понимания структуры редких изотопов, относительных выходов положительных и отрицательных пионов и разности нейтронных и протонных потоков в столкновениях тяжёлых ионов. Также мы рассмотрим некоторые популярные теоретические подходы для описания уравнения состояния: релятивистские модели среднего поля, модели Скирма, киральную теорию возмущения.

*E-mail: kolomei@theor.jinr.ru

Асимметрии и МГД неустойчивости в многомерных моделях магниторотационных сверхновых

И. А. Кондратьев^{1,2*}, С. Г. Моисеенко^{1,2}, Г. С. Бисноватый-Коган^{1,3}

¹Институт космических исследований Российской академии наук

²Национальный исследовательский университет “Высшая Школа Экономики”

³Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”

В докладе представлены результаты двумерных и трёхмерных МГД расчётов коллапса ядра массивной звезды и магниторотационного (МР) взрыва сверхновой. Для двумерных осесимметричных моделей исследовано формирование эффекта отдачи (kick, кик) протонейтронной звезды в МР взрыве при наличии различных начальных магнитных полей в ядре звезды перед коллапсом – композиции мультиполей в ядре, смещённого дипольного поля, а также суперпозиции дипольного и тороидального полей. Расчёты показывают, что протонейтронная звезда формируется со скоростью до ~ 500 км/с в течение ~ 1 секунды после коллапса ядра из-за асимметричного выброса вещества в форме джетов различной интенсивности, чем можно объяснить её наблюдаемую скорость. Для трёхмерных расчетов МР сверхновой рассмотрены модели вращающегося ядра звезды с дипольными полями различной интенсивности. При наличии достаточно слабого полоидального поля, накрученная тороидальная компонента магнитного поля становится восприимчивой к неустойчивости типа Тайлера с азимутальным числом $m = 1$ [1,2], что приводит к экспоненциальному росту полоидальной компоненты магнитного поля и ограничению роста тороидального поля. Это, в свою очередь, приводит к существенно отличным от осесимметричного случая результирующим магнитным полям протонейтронной звезды и эволюции МР взрыва. Представлено сравнение результатов расчётов с осесимметричными моделями, в которых данная мода запрещена.

Список литературы

- [1] E. Pitts , R. J. Tayler, Mon. Not. R. Astron. Soc., V. 216 (2), pp. 139–154 (1985)
- [2] H. C. Spruit, Astron. Astrophys., V. 381, pp. 923–932 (2002)

*E-mail: mrkondratyev95@gmail.com

Спектрально-корреляционный анализ непрерывного излучения радиопульсара B0950+08 на всём периоде его вращения: Блуждающие импульсы, межзвёздные мерцания и шум

Вл. В. Кочаровский^{1*}, В. В. Вдовин¹, С. В. Логвиненко², Е. М. Лоскутов¹,
В. М. Малофеев², С. В. Тарасов¹, А. М. Фейгин¹

¹Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова РАН, Нижний Новгород

²Пушкинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Москва

Проведён детальный спектрально-корреляционный анализ радиоизлучения PSR B0950+08 (J0953+0755) на всём периоде его вращения в большой серии 3- минутных наблюдений января-апреля 2025 года на телескопе БСА ПРАО АКЦ ФИАН в полосе 2.2 МГц с центральной частотой 110.7 МГц. Установлено, что статистика наблюдаемого фона (шума) является негауссовой, его спектральный профиль не меняется при выходе пульсара из диаграммы направленности антенны телескопа и схож во всех наблюдениях, тогда как частотный профиль компонент импульса во всех сериях уникален. Использован оригинальный метод исключения шума из данных, позволяющий сохранить спектрально-динамическую информацию о межзвёздных мерцаниях и принимаемых радиоимпульсах. Выявлены блуждающие импульсы и обнаружены различные спектральные особенности в разных компонентах основного импульсного излучения для разных серий наблюдений. Найденные особенности сопоставлены с известными из предшествующих наблюдений. Показано, что частотные профили всех компонент импульса имеют высокую степень схожести в каждой отдельной серии и значительно отличаются от серии к серии. Это может свидетельствовать как о едином механизме генерации разных компонент в магнитосфере пульсара, так и об одинаковых трансформации их спектра и дифракции излучения на трассе распространения, сохраняющихся постоянными в течение одного 3-минутного наблюдения, но существенно меняющихся за сутки между соседними наблюдениями из-за рефракционных мерцаний. Особое внимание уделено анализу серии 10.01.25 с аномально развитым прекурсором (precursor) и серии 20.01.25, в которой интеримпульс (interpulse) был особенно активен и все компоненты импульсного излучения значительно превышали их уровни в остальных сериях, а также присутствовали три нестандартных импульса в том интервале фаз пульсара, где ранее никогда не регистрировалось импульсное радиоизлучение. Полученные результаты явно доказывают однополюсное происхождение наблюдаемого излучения (модель почти соосного ротатора). Работа поддержана грантом РФФ 23-62-10043.

*E-mail: kochar@ipfran.ru

Сильное влияние увлечения инерциальных систем отсчета на свойства г-мод в небаротропных нейтронных звёздах

К. Ю. Краав^{1*}, М. Е. Гусаков¹, Е. М. Кантор¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Р-моды представляют собой квазитороидальные колебания вращающихся звёзд, для которых основной восстанавливающей силой служит сила Кориолиса. Обусловленная излучением гравитационных волн неустойчивость данных колебаний делает их многообещающими целями для уже ведущихся и предстоящих наблюдений гравитационно-волновыми обсерваториями. Надёжная интерпретация таких наблюдений требует разработанной релятивистской теории г-мод, построение которой существенно затруднено из-за необходимости учитывать увлечение систем отсчёта – эффект, согласно которому, с точки зрения удалённого наблюдателя, массивное вращающееся тело увлекает локальные инерциальные системы отсчёта в направлении вращения. В этой работе предложено описание релятивистских г-мод в медленно вращающихся небаротропных нейтронных звёздах с учётом данного эффекта. Показано, что увлечение систем отсчёта сильно влияет на свойства г-мод по сравнению с предсказаниями нерелятивистской теории. Существенные изменения претерпевает спектр г-мод. Также модифицируется угловая зависимость их собственных функций, для описания которой теперь необходимо использовать функции Хаффа вместо сферических гармоник и векторов. Наконец, увлечение систем отсчёта приводит к неаналитической зависимости собственных функций г-мод от угловой скорости вращения звезды, что с уменьшением последней проявляется как локализация колебаний у поверхности звезды. Полученные результаты важны как для достоверной интерпретации наблюдений, так и для лучшего понимания физики релятивистских г-мод. Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 22-12-00048-П [<https://rscf.ru/project/22-12-00048/>].

*E-mail: kirill-kraav@yandex.ru

Неконсервативный обмен веществом в модели обдирания нейтронных звёзд

Н. И. Крамарев^{1,2*}, А. В. Юдин²

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

²НИИЦ “Курчатовский институт” – ККТЭФ

Процесс длительного устойчивого перетекания вещества (или обдирания) в тесной двойной системе нейтронных звёзд (НЗ) возможен при достаточно большой начальной асимметрии масс компонентов. На финальной стадии эволюции таких систем маломассивная НЗ заполняет свою полость Роша, после чего её вещество постепенно перетекает на более массивный компонент. В некоторый момент времени устойчивость перетекания теряется, в результате чего происходит взрыв НЗ минимальной массы. В расчётах процесса обдирания впервые произведен учёт эффекта неконсервативности, что ведёт к увеличению времени устойчивого перетекания вещества с нескольких десятых долей секунды до нескольких секунд. Это позволяет естественным образом объяснить временную задержку в 1.7 секунды между потерей гравитационно-волнового сигнала и регистрацией гамма-всплеска от многоканального события GW170817-GRB170817A. Учёт взаимодействия оболочки взорвавшейся нейтронной звезды минимальной массы с выброшенным в ходе неконсервативного обмена масс веществом может служить объяснением двух эпизодов кривой блеска этого гамма-всплеска. Также впервые будут представлены расчёты структуры равновесной конфигурации НЗ-донора на орбите. Возмущение структуры здесь обусловлено как гравитационным воздействием массивного компонента, так и орбитальным вращением самой НЗ. Несмотря на практически однородное распределение плотности НЗ-донора, её поверхность Роша практически не отличается от классического приближения точечной массы: относительное расхождение координат лежит в пределах нескольких процентов.

*E-mail: kramarev- nikita@mail.ru

Интерпретация данных о поляризации и морфологии рентгеновской туманности Вела на основе её численной МГД-модели

К. П. Левенфиш*, А. Н. Фурсов, Г. А. Пономарёв

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

Пульсарные туманности формируются при взаимодействии релятивистского ветра пульсара с внешней средой. Туманности Галактики – наиболее удобные источники для исследования релятивистской сильно-замагниченной плазмы, поскольку они динамичны, излучают во всех диапазонах энергии, а их спектры и морфологию можно разрешить в больших подробностях. По внутреннему устройству и рентгеновской морфологии туманности делятся на кометарные, одноторовые и двухторовые. Природа двухторовых остаётся загадкой по сей день. Их численная релятивистская МГД-модель была предложена совсем недавно. Она смогла объяснить практически все рентгеновские особенности Велы – двухторовой туманности пульсара в созвездии Парусов, детально исследованной орбитальным телескопом Чандра. Модель также указала на ряд дополнительных рентгеновских особенностей, которые должны быть типичны для двухторовых. Мы демонстрируем их наличие у Велы. Эти ранее неизвестные особенности Велы были выявлены путём повторной обработки данных её наблюдений Чандрой. Мы также показываем, что низкая рентгеновская эффективность Велы и результаты её наблюдений рентгеновским поляриметром IXPE имеют естественное объяснение в рамках предложенной МГД-модели.

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

Открытие и определение параметров новых аккрецирующих компактных объектов телескопом ART-XC обсерватории Спектр-РГ

А. А. Лутовинов^{1*}

¹ИКИ РАН

К настоящему моменту телескопом ART-XC им М.Н.Павлинского на борту обсерватории Спектр-РГ проведено восемь полных обзоров всего неба, глубокий обзор нашей Галактики, а также значительное количество наблюдений наиболее интересных областей и объектов на небе. В результате было зарегистрировано несколько сотен чёрных дыр, белых карликов и аккрецирующих нейтронных звёзд, в том числе, значительное количество новых объектов. В докладе будет представлен краткий обзор результатов, полученных телескопом ART-XC по изучению природы таких объектов и определению их физических параметров, с использованием многоволновых наблюдений с наземных и космических инструментов

*E-mail: aal@cosmos.ru

Поиск генетической связи радиопульсаров с известными остатками сверхновых

И. Ф. Малов*, З. В. Кенько

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН

С использованием данных о собственных движениях 21 радиопульсара с возрастом τ меньше 10^5 лет и расстояний до них, а также расстояний до известных остатков сверхновых (SNR), проведён анализ возможной генетической связи между некоторыми из этих объектов. Построены распределения скоростей пульсаров на небесной сфере $V_{\perp}$ для двух выборок пульсаров: с возрастом меньше 10^5 лет и пульсаров с τ больше 10^5 лет. Показано, что распределения скоростей и их средние величины в этих популяциях значимо не отличаются. Это означает, что влияние гравитационного потенциала Галактики межзвёздной среды на движение рассмотренных пульсаров оказывается несущественным. Оценены угловые расстояния пульсаров от предполагаемых родительских SNR. Для 20 пульсаров найдены вероятные родительские SNR. Среди них 13 пульсаров из каталога ATNF ассоциируются с известными остатками сверхновых. Для 7 пульсаров связь с родительским остатком установлена впервые. Для 121 радиопульсара из каталога ATNF, у которых нет измеренного собственного движения, вычислены скорости, необходимые для удаления за время жизни на наблюдаемое в настоящее время расстояние от ближайшего остатка сверхновой в предположении об их одновременном рождении. Оценки скоростей более 100 исследуемых объектов оказываются равными от нескольких тысяч до десятков тысяч км/сек, что делает практически невероятной их генетическую связь с ближайшими SNR. У 16 рассмотренных пульсаров вычисленная скорость находится в интервале скоростей $V_{\perp}$, измеренных для пульсаров, вошедших в каталог ATNF. Такие скорости порядка 1000–2000 км/сек могут быть обеспечены асимметрией взрыва родительской сверхновой. Показано, что наиболее вероятными парами PSR-SNR, родившимися одновременно, следует считать J1856+0113 G034.7-00.4 и J1907+0631 G040.5-00.5

*E-mail: malov41@mail.ru

Аномальное межимпульсное радиоизлучение у гамма-пульсара J0357+3205

В. М. Малофеев^{1*}, О. И. Малов¹, Д. А. Теплых¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Пушчинская радиоастрономическая
обсерватория им. В.В. Виткевича

В докладе представлены результаты длительных (3 года) наблюдений гамма-пульсара J0357+3205 в Пушчинской радиоастрономической обсерватории на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. Исследования показали, что кроме известного на высоких частотах интерпульса (FAST, Китай и Аресибо, США), впервые у пульсаров обнаружено новое импульсное радиоизлучение. Сопоставление данных с наблюдениями на других инструментах и теоретическими моделями позволило предположить связь аномалий с особенностями геометрии магнитосферы, что расширяет понимание физических процессов в магнитосфере пульсаров и требует дальнейшего изучения.

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

Диаграммы направленности излучения аккреционных каналов докритических рентгеновских пульсаров

И. Д. Маркозов^{1,2*}, А. Ю. Потехин^{1,2}, А. Д. Каминкер¹, А. А. Муштуков³

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²ИКИ РАН

³University College London

Излучение рентгеновских пульсаров порождается за счёт аккреции на поверхность нейтронной звезды со стороны звезды-спутника и подвержено влиянию сильного магнитного поля. Мы изучаем это излучение в случае докритических рентгеновских пульсаров, где оно формируется в аккреционном канале вблизи поверхности нейтронной звезды. Мы численно решаем уравнения гидродинамики и переноса излучения двух связанных поляризационных мод в аккреционном канале, принимая во внимание резонансное комптоновское рассеяние и поляризацию вакуума. Получены диаграммы направленности излучения для различных скоростей аккреции, энергий и поляризаций фотонов, а также для различных моделей излучения поверхности нейтронной звезды. Рассчитанные диаграммы направленности преобразуются в кривые блеска как для интенсивности, так и для поляризации с учётом эффектов Общей теории относительности. Обнаружено, что на эти диаграммы направленности и кривые блеска сильно влияет резонансное комптоновское рассеяние при энергиях фотонов, сравнимых с циклотронной энергией электронов. В частности, угловое перераспределение излучения вблизи циклотронного резонанса может уменьшать амплитуду модуляции кривой блеска, что согласуется с наблюдаемыми признаками подавления доли пульсации при этих энергиях.

*E-mail: markozoviv@mail.ru

Аналитические подходы для быстрого предсказания форм гравитационных волн релятивистских двойных систем

А. В. Мишакина^{1,2*}, С. И. Блинников²

¹Московский физико-технический институт, Москва, Россия

²НИЦ “Курчатовский институт” – ККТЭФ, Москва, Россия

Большинство регистраций гравитационных волн от двойных систем осуществляется при помощи метода согласованной фильтрации, который сравнивает данные с детекторов (LIGO, VIRGO, KAGRA) с предварительно смоделированными сигналами — шаблонами. Для первичного поиска гравитационных волн интерферометры LIGO используют аналитические аппроксимации, интерполированные по численным данным. Полные аналитические решения для слияния компактных объектов отсутствуют, поэтому применяются гибридные модели, сочетающие постньютоновские (Post Newtonian) приближения для фазы сближения с результатами численных расчетов в ОТО (Numerical Relativity) для слияния и затухания. На основе этого создаются банки шаблонов, которые покрывают многомерное пространство параметров с минимальным совпадением. Банки содержат миллионы шаблонов, охватывающих различные значения масс, спинов и других параметров, что позволяет осуществлять сопоставление с наблюдаемыми данными методом согласованной фильтрации (matched filtering). Однако использование заранее рассчитанных банков дискретных шаблонов требует значительных вычислительных ресурсов и накладывает жёсткие ограничения на шаг дискретизации и интерполяцию данных в многомерном пространстве параметров. Поэтому есть потребность в более быстрых аналитических шаблонах, которые бы эффективно идентифицировали сигналы гравитационных волн от двойных систем на самых ранних стадиях сближения [1]. В докладе обсуждаются возможности полностью аналитического расчёта 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 звёзд и чёрных дыр в приближении точечных масс на стадии сближения. Проведено сравнение полученной аппроксимационной формулы с численным расчётом, выявлены её точность и пределы применимости. Погрешность формулы не превышает 1 % для всех исследованных пар релятивистских объектов (пар ЧД + ЧД и НЗ + НЗ), а для пар НЗ + НЗ ошибка составляет не более 10^{-4} % на большей части интервала до момента слияния. Полученная в настоящей работе формула поможет в быстрой регистрации и изучении приходящего гравитационно-волнового сигнала, особенно в системах с малыми массами. Для двойных систем НЗ с массами $1.5M_{\odot}$ возможно обнаружение и наблюдение за ними на самых ранних стадиях сближения, до тысяч секунд. Применение аналитических шаблонов гравитационных волн играет важную роль в гравитационно-волновой астрономии, так как шаблоны позволяют оперативно обрабатывать данные с детекторов и эффективно выделять значимые события. Сопоставление наблюдаемых сигналов с теоретическими моделями существенно ускоряет их обнаружение.

Список литературы

- [1] А. В. Мишакина, С. И. Блинников, Письма в астрономический журнал, том 51, номер 6, с. 324–334 (2025)

*E-mail: sasha.mishakina@gmail.com

Туманность Гитара: экстремальный ускоритель в экстремальном окружении

И. Н. Никоноров^{1*}, М. В. Барков¹, М. Лютиков²

¹ИНАСАН

²Университет Пурдью

Туманность Гитара – яркий представитель класса туманностей, сформированных быстролетающими пульсарами. Она формируется за счёт взаимодействия ультрарелятивистского ветра нейтронной звезды, движущейся со сверхзвуковой скоростью, с межзвёздной средой (МЗС). Такие туманности позволяют исследовать процессы ускорения частиц в релятивистских пульсарных ветрах, а также структуру МЗС. Мы показываем, что Гитара является уникальным объектом по ряду параметров [1]. Во-первых, частицы, покидающие туманность и формирующие рентгеновский ”кинетический филамент“, должны ускоряться до энергий, соответствующих максимальному электрическому потенциалу нейтронной звезды $\eta > 3/4$: это ещё один пример объекта класса экстремальных ускорителей. Во-вторых, исключительно яркое излучение в линии H_α требует, чтобы центральный пульсар PSR J2225+6535 проходил сквозь плотную, слабо ионизованную область МЗС. Яркое рентгеновское излучение кинетического филамента при этом требует исключительно сильного магнитного поля для МЗС, 100 мкГс. Мы предполагаем, что Гитара проходит через одну из давно предсказанных узких плотных оболочек старого остатка сверхновой (возраст около 30 000 лет), находящегося в режиме ”снегоочистителя“.

Список литературы

- [1] I. N. Nikonorov, M. V. Barkov, and M. Lyutikov, arXiv:2605.13697

*E-mail: igornikonorov.igor@yandex.ru

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

Д. Д. Офенгейм^{1,2*}, Е. Э. Коломейцев³, П. С. Штернин¹, Ц. Пирани²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Еврейский университет г. Иерусалима, Иерусалим, Израиль

³ОИЯИ

Недра нейтронных звёзд состоят из сверхплотного ядерного вещества. Плотность его энергии представима в виде суммы двух частей. Изоспин-симметричная часть определяет уравнение состояния симметричной ядерной материи, из которой состоят атомные ядра. Изоспин-асимметричная часть обычно считается пропорциональной квадрату изоспиновой асимметрии, а коэффициент пропорциональности называется энергией симметрии ядерного вещества. Поскольку бета-равновесное вещество в недрах нейтронных звёзд сильно изоспин-асимметрично, энергия симметрии играет важную роль в физике этих объектов. Однако её поведение при сверхъядерных плотностях до сих пор остаётся плохо известным. Вещество в этой области плотностей исследуется двумя основными способами. Астрофизический способ опирается на наблюдения нейтронных звёзд, интерпретация которых позволяет установить ограничения на свойства бета-равновесной ядерной материи [1]. Лабораторный способ опирается на эксперименты по столкновениям тяжёлых ионов и за счёт анализа потоков частиц позволяет ограничить уравнение состояния симметричной ядерной материи [2]. Ни один из этих подходов по отдельности не позволяет определить энергию симметрии ядерного вещества при высоких плотностях. Однако, используя их совместно в качестве входных данных для обратной задачи бета-равновесия, можно модельно-независимым образом восстановить зависимость энергии симметрии от концентрации барионов. Используя многоканальные астрофизические ограничения на массы и радиусы нейтронных звёзд [1] и данные экспериментов по столкновениям тяжёлых ионов [2], мы восстанавливаем зависимость энергии симметрии от барионной концентрации при плотностях, многократно превышающих ядерную. Соответствующие ограничения на состав бета-равновесной ядерной материи 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.

Список литературы

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

*E-mail: ddofengeim@gmail.com

Моделирование вклада туманностей ближайших пульсаров с головными ударными волнами в античастицы космических лучей в диапазоне ГэВ–ТэВ

А. Е. Петров^{1*}, А. М. Быков¹, С. М. Осипов¹

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Избыток позитронов в космических лучах (КЛ), зафиксированный обсерваториями PAMELA и AMS-02, может объясняться распадом или аннигиляцией гипотетических частиц тёмной материи, либо вкладом близкого к Земле источника первичных позитронов. Надёжно доказанная связь с тёмной материей могла бы позволить наложить ограничения на природу этой субстанции, составляющей более одной пятой массы-энергии Вселенной. Поэтому изучение вклада расположенных вблизи Земли источников античастиц в состав КЛ является задачей фундаментальной важности. Широко распространено мнение, что практически не зависящее от энергии отношение наблюдаемых потоков позитронов и антипротонов КЛ в диапазоне от 60 до 400 ГэВ подтверждает связь избытка позитронов с тёмной материей. Однако быстро движущиеся пульсары, формирующие пульсарные туманности с головными ударными волнами, могут вносить вклад не только в потоки позитронов и электронов, но и в потоки ионов КЛ. В зоне столкновения релятивистского пульсарного ветра и натекающего потока межзвёздной среды частицы КЛ, инжектируемые со стороны последнего в том числе антипротоны могут ускоряться вместе с позитронами и электронами пульсарного ветра. Ускорение по механизму Ферми в сталкивающихся течениях внутри одной системы потоков позволяет сформировать идентичные спектры позитронов и антипротонов. В докладе будут представлены результаты Монте-Карло моделирования ускорения позитронов и антипротонов в туманностях ближайших пульсаров PSR J0437-4715, Geminga и PSR J1741-2054. Будут рассмотрены модели распространения частиц в окрестностях пульсаров и локальной межзвёздной среде. Полученные модельные распределения по энергии вкладов этих пульсаров в околоземные спектры античастиц КЛ будут сопоставлены с наблюдательными данными. Работа поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики БАЗИС (24-1-3-28-1).

*E-mail: a.e.petrov@mail.ioffe.ru

Моделирование эволюционных треков белых карликов с использованием уравнения состояния для неидеальной плазмы

Д. А. Подкуйченко^{1,2*}, С. И. Блинников^{1,2}

¹Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

²ККТЭФ НИЦ Курчатовский институт

Холодные и старые белые карлики проходят через стадии кристаллизации и дебаевского охлаждения, на которых существенны взаимодействия между частицами, поэтому моделирование полного эволюционного трека такой звезды требует использование уравнения состояния для неидеальной плазмы. В настоящей работе проводится моделирование тепловой эволюции белых карликов для разных составов атмосфер и ядер с помощью кода С.И.Блинникова и Н.В.Дуниной-Барковской. По сравнению с их более ранними работами, посвящёнными такому моделированию, новым является использование уравнения состояния УрС ФТИ [1] для неидеальной плотной плазмы в широком диапазоне параметров, соответствующем недрам белого карлика, а также изучение влияния кристаллизации на темп остывания. В работе используются варианты состава ядра белого карлика, состоящего из углерода и кислорода, а также с добавлением неона. Благодаря учёту эффектов неидеальности в новой версии кода для эволюции белых карликов удаётся получить выход на стадию кристаллизации в центре звезды. При переходе к этой стадии выделяется скрытая теплота фазового перехода, а затем скорость остывания увеличивается из-за квантовых эффектов, а именно дебаевского подавления теплоёмкости в низкотемпературном кристалле. Это ускорение остывания особенно существенно для массивных белых карликов (с массами M , превышающими массу Солнца $M_\odot$). Так, при $M \approx 1.3 M_\odot$ время остывания до эффективной температуры $T_{\text{eff}} \sim 3000$ К уменьшается почти на порядок по сравнению с расчётом по старой версии кода.

Список литературы

- [1] A. Y. Potekhin and G. Chabrier, *Astron. Astrophys.* 550, A43 (2013)

*E-mail: daria.a.lyapina@yandex.ru

Поиск тёмной материи с помощью пульсарных экспериментов

Н. К. Порайко^{1*}, П. Г. Усынина², Т. Р. Хизриев², Б. А. Руденко², В. Д. Черносоз³,
S. Krishnan¹ и др.

¹Радиоастрономический институт Макса Планка, Бонн, Германия

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

³Московский физико-технический институт, Долгопрудный, Россия

За 60 лет с момента своего наблюдательного обнаружения пульсары, которые представляют из себя быстро вращающиеся нейтронные звёзды, зарекомендовали себя как небесные лаборатории для исследования экстремальной физики. В первую очередь речь идёт о постановке ограничений на ОТО, прямом обнаружении гравитационных волн и изучении физики релятивистской сильно замагниченной плазмы. Благодаря своим уникальным свойствам пульсары также могут быть использованы для постановки ограничений или даже детектирования некоторых моделей тёмной материи. В докладе мы будем говорить об экспериментальных проявлениях трёх кандидатов на роль тёмной материи в наблюдательных данных пульсаров. КХД аксионы, которые изначально были предложены для решения концептуальных проблем Стандартной Модели, также являются подходящими кандидатами на роль холодной тёмной материи. С помощью реалистичных симуляций будет показано, каким образом поиск КХД аксионов может быть осуществлён в данных пульсарной спектроскопии. Одним из обобщений КХД аксионов являются ультралёгкие аксионы. Жёсткие ограничения на данную модель могут быть поставлены с помощью данных пульсарного тайминга и пульсарной поляриметрии. Ещё одним кандидатом, которые имеют наблюдательные проявления в данных пульсарного тайминга, являются первичные чёрные дыры. В заключении доклада будут показаны наиболее актуальные результаты по поиску вышеперечисленных кандидатов, полученные с помощью данных Европейской пульсарной сети.

*E-mail: porayko.nataliya@gmail.com

Долговременная переменность периода прецессии аккреционного диска в двойной системе Her X-1

В. М. Ревнивцев^{1,2*}, К. А. Постнов¹, Р. Штауберт³, С. В. Антипин¹, С. В. Мольков²,
Н. И. Шакура¹

¹ГАИШ МГУ

²ИКИ РАН

³IAAT

Рентгеновский пульсар Her X-1 обладает рядом хорошо известных периодичностей, среди которых имеется суперорбитальная прецессионная периодичность, длиной ~ 35 дней. Проведён анализ данных наблюдений Her X-1 рентгеновскими мониторами за период > 35 лет и архивных наблюдений за весь наблюдаемый период. Показано, что моменты главного включения распределены по орбитальным фазам бимодально, с максимумами вблизи фаз 0.2 и 0.7. Подобное поведение предсказывается в модели нутирующего аккреционного диска. 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.

*E-mail: vlad.revnivtsev@gmail.com

Природа миллигерцовых КПО массивных рентгеновских двойных

А. Семена^{1*}, А. Горбан¹, И. Мереминский¹, А. Лутовинов¹, С. Мольков¹

¹ИКИ РАН

МГц КПО – квазипериодические осцилляции, наблюдаемые в спектре мощности переменности рентгеновского потока у многих Ве массивных двойных при высоких светимостях. Природа КПО неизвестна. Предполагается, что частота КПО является частотой биений кеплеровской частоты внутреннего края диска и частоты вращения пульсара. Нами впервые обнаружено, что амплитуда КПО зависит от фазы вращения пульсара. Мы используем это свойство КПО, чтобы проверить некоторые модели его формирования.

*E-mail: san@cosmos.ru

Ближкий 7 сек пульсар J1951+2857 с самой низкой светимостью

Т. В. Смирнова^{1*}, D. J. Zhou^{2,3}, М. А. Китаева¹, С. А. Андрианов¹, С. Wang^{2,3,4},
P. F. Wang^{2,3,4}, J. L. Han^{2,3,4}, С. А. Тюльбашев

¹ИРАО АКЦ ФИАН

²National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences

³State Key Laboratory of Radio Astronomy and Technology, China

⁴School of Astronomy and Space Science, China

PSR J1951+2857 был обнаружен на антенне БСА в рамках поиска долго периодических транзиентов (2024 г): от 2 до 90 сек. В данной работе был проведён анализ сильных индивидуальных импульсов по наблюдениям на частотах 110 МГц (БСА) и 1250 МГц (FAST) с привлечением наблюдений китайских коллег. В результате удалось более точно определить меру дисперсии пульсара, меру вращения и его координаты. С применением нового метода для тайминга пульсаров при наблюдении с кварцевым генератором, имеющим плохую точность в дискретизации сигнала, удалось сделать тайминг на БСА и получить значения периода и его производной с достаточно высокой точностью. Расстояние до пульсара оценивается в 200–300 пс. Оценка светимости в данных пределах расстояния даёт значения: $L = (0.48 - 0.99)$ мЯнкпс² на 110 МГц и $(0.0011 - 0.002)$ мЯнкпс² на частоте 1250 МГц. Спектральный индекс в этом диапазоне частот равен 2.5–3.2 и при сравнении с минимальным значением L на частоте 400 МГц для пульсаров из каталога ATNF (PSR J0307+7443) полученная нами светимость в 23–37 раз меньше этого значения. Работа выполнена по гранту РНФ 22-12-00236-П (<https://rscf.ru/project/22-12-00236-П/>)

*E-mail: tvs47.m@mail.ru

Оценка радиосветимости пульсаров и транзиентов, открытых в ходе мониторинга на БСА ФИАН (111 МГц)

М. А. Тимиркеева^{1*}, С. А. Тюльбашев¹, М. А. Китаева¹, Г. Э. Тюльбашева²

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Пушчинская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Виткевича

²Институт математических проблем биологии РАН – филиал ИПМ им. М.В. Келдыша РАН

Представлены результаты многолетнего поиска пульсаров и транзиентов на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц. С 2014 года в ПРАО ведётся непрерывный мониторинг, в ходе которого открыто около 100 новых пульсаров и более 100 радиотранзиентов. Для новых пульсаров построены средние профили. На основе средних профилей оценена пиковая плотность потока для каждого источника. Рассчитаны радиосветимости пульсаров на частоте 111 МГц с использованием независимой оценки расстояний (YMW16). Проведен пересчёт радиосветимостей на частоту 400 МГц с учётом типичных спектральных индексов пульсаров. Получено распределение светимостей для пульсаров и транзиентов, открытых в ходе мониторинга на БСА ФИАН. Выполнено сравнение радиосветимости на низкой частоте с известными каталогами пульсаров, которые наблюдались на более высоких частотах (ATNF и RRATalog). Сравнительный анализ пороговой чувствительности БСА и зарубежных телескопов (таких как Parkes, GBT, CHIME) показывает, что в низкочастотном диапазоне БСА достигает высоких показателей, позволяя регистрировать крайне слабые объекты. Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 22-12-00236-П.

*E-mail: marika-ko@yandex.ru

Гиперонные взаимодействия в лаборатории и материя нейтронных звёзд

Т. Ю. Третьякова^{1,2*}, Д. Е. Ланской¹

¹Физический факультет, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

²НИИЯФ МГУ

Наличие гиперонов во внутренних областях нейтронных звезд (НЗ) представляется наиболее вероятным, если не несомненным. При этом известная проблема состоит в том, что гипероны существенно смягчают уравнение состояния, что делает труднодостижимым описание НЗ с массой свыше двух масс Солнца (hyperon puzzle). Основным источником данных о гиперонных взаимодействиях является физика гиперъядер. Две области тесно связаны между собой, например, установление в гиперъядерном эксперименте в начале нулевых Σ -ядерного отталкивания существенно изменило представление о составе материи НЗ (хотя и не помогло решить hyperon puzzle). Экспериментальная информация о Λ -гиперъядрах весьма обширна, однако даже эта область содержит значительные неопределённости, существенные для физики НЗ. Мы показываем, что различные ΛN - потенциалы, хорошо описывающие гиперъядерные спектры в широкой области, могут давать существенно различные уравнения состояния. Ещё одним источником неопределённостей являются взаимодействия при странности $S = -2$ ($\Lambda\Lambda$ и ΞN), данных о которых слишком мало. Гиперъядра со странностью $|S| > 2$ до настоящего времени не наблюдались. Мы рассматриваем современный статус исследований гиперонных взаимодействий в физике гиперъядер и их взаимосвязи с физикой НЗ, уделяя особое внимание малоизученным проблемам. Следует также отметить появление новых источников информации: в ряде лабораторий выполнены эксперименты по рассеянию гиперонов на нуклонах, а в экспериментах по столкновениям релятивистских ионов предпринимаются попытки изучать не только гиперон-нуклонные, но и гиперон-гиперонные (в том числе $\Xi\Lambda$) корреляции. Эти данные, пока не получившие детального теоретического осмысления, могут быть весьма ценны для физики НЗ.

*E-mail: tretyakova@sinp.msu.ru

Многолетняя программа мониторинга рентгеновской двойной звезды LSI+61°303 на ПАТАН-600

С. А. Трушкин^{1*}, П. Г. Цыбулев¹, Н. А. Нижельский¹, Н. Н. Бурсов¹,
А. В. Шевченко

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН

Периодически вспыхивающий источник GT 0237+61 (Грегори и Тейлор) был отождествлён с яркой переменной эмиссионной Ве-звездой LS I+61°303 (V615 Cas), которая в свою очередь позже была отождествлена с рентгеновской двойной системой (Chandra) и с Г-источником высоких (MAGIC и VERITAS) и сверхвысоких (1.4–30.5 ТэВ, WCDA и 25–267 ТэВ, KM2A) энергий. Мы начали исследования этого радиоисточника в 1998 г., но наиболее интенсивно наблюдаем его на двух частотах 4.7 и 11.2 ГГц с 2012 года. Природа источника начала проявляться, когда в 2022 году на радиотелескопе FAST были обнаружены транзиентные пульсации, что ясно указывает на то, что на орбите в паре с Ве-звездой находится пульсар. Наши “радиофотометрические” измерения дают уникальный материал для исследования периодичности ($P_1=26.5$ дня и $P_2=4.6$ года) радиоизлучения и его спектральных свойств. Многоканальные свойства объекта прямо связаны с взаимодействием околзвёздного диска Ве-звезды с нейтронной звездой на вытянутой орбите и с ее пульсарным ветром, которое приводит к периодическому синхротронному радиоизлучению и рождению гамма-излучения. Всё ещё дискутируется неясная природа обнаруженной в кривых радиоблеска модуляции с периодом 26.93 дня, которая, возможно, связана или с прецессией гипотетических струй, образованных в процессе аккреции на пульсар, или с физическими особенностями околзвёздного диска Ве-звезды. Объяснение картины в целом основано на лептонной и адронной моделях. В первой для происхождения гамма-излучения привлекается механизм обратного комптоновского рассеяния ультрафиолетовых и рентгеновских звёздных фотонов на радиоизлучающих релятивистских электронах, рождённых в ударных волнах. Однако, модуляция гамма-излучения UHE говорит в пользу адронных процессов. Интригу поддерживает вероятное ($\sim 3.8\sigma$) обнаружение 16 фотонов субПэВных энергий (выше 100 ТэВ) от LSI+61°303 на установке KM2A LHAASO в 2026 году.

*E-mail: satr@sao.ru

Транзиенты и пульсары в наблюдениях на БСА ФИАН

С. А. Тюльбашев^{1*}, М. А. Китаева¹, Г. Э. Тюльбашева², Е. А. Брылякова¹

¹Пушчинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН

²Институт математических проблем биологии

С 2014 года в Пушчинской радиоастрономической обсерватории (ПРАО) ведутся наблюдения по проекту “Пушчинский многолучевой поиск пульсаров”. В ходе выполнения проекта открыто примерно по 100 новых пульсаров и вращающихся радиотранзиентов (RRAT), сильная быстрая радиовспышка (FRB), новый вид транзиента минутной длительности. В докладе будут представлены результаты по нерегулярно излучающим пульсарам и транзиентам, которые были обнаружены за последние годы. Работы выполняются по гранту 22-12-00236-П; <https://rscf.ru/project/22-12-00236-П/>

*E-mail: serg@prao.ru

Измерение скорости и направления дрейфа дифракционной картины мерцаний радиопульсаров

Е. Н. Фадеев^{1*}, Д. О. Панфилова²

¹АКЦ ФИАН

²ФКИ МГУ

При прохождении излучения пульсаров через неоднородную межзвёздную среду в плоскости наблюдателя формируется сложная дифракционная картина мерцаний. Вследствие относительного движения пульсара, наблюдателя и среды эта картина смещается относительно наблюдателя, что можно отслеживать с помощью динамических спектров пульсаров. При одновременном наблюдении пульсаров телескопами, разнесёнными на большое расстояние, можно обнаружить запаздывание между структурами в динамических спектрах разных телескопов. При достаточном числе телескопов удастся определить как скорость, так и направление движения картины мерцаний в плоскости наблюдателя. Мы провели такую обработку данных мерцаний пульсаров В1937+21 и В1749–16, полученных в ходе наблюдательных сессий наземно- космического интерферометра «Радиоастрон». Полученные результаты в рамках модели тонкого экрана требуют существенной скорости движения рассеивающей среды, тогда как предположение о доминирующем влиянии скорости самого пульсара на дрейф картины мерцаний оказывается несостоятельным.

*E-mail: fadeev@asc.rssi.ru

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

А. Н. Фурсов^{1*}, А. М. Быков¹, К. П. Левенфиш¹, А. Е. Петров¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

Пульсарные туманности (ПТ) наблюдаются вокруг нейтронных звёзд-пульсаров как области яркого синхротронного излучения. Его создают нетепловые частицы в магнитных полях потоков фоновой плазмы ПТ. Происхождение нетепловых частиц в ПТ пока не ясно. Они могут приходить с пульсарным ветром, ускоряться на ударной волне торможения ветра или же в теле самой туманности. Численные МГД-модели ПТ пытаются выявить природу нетепловых частиц, опираясь на наблюдения спектров, морфологии и поляризации рентгеновского излучения туманностей. Недавно была предложена МГД-модель туманностей с двойным рентгеновским тором. К ним причисляют туманность Вела пульсара в созвездии Парусов, а также ещё ряд туманностей-кандидатов, включая Стрекозу и Бумеранг. Предложенная модель указала, что в ПТ этого типа потоки фоновой плазмы должны быть квазиламинарны, МГД-структуры регулярны, а магнитное поле сильно доминировано регулярной составляющей. Наблюдения туманностей Вела рентгеновским поляриметром IXPE подтвердили обоснованность этих указаний. Опираясь на предложенную МГД-модель, мы провели прямое численное моделирование эволюции нетепловых частиц в квазиламинарных МГД-потоках двухторовой ПТ с целью выявить их возможные механизмы ускорения. Мы демонстрируем, что ПТ с двойным рентгеновским тором способны ускорять нетепловые частицы (электроны, позитроны и протоны) до очень высоких энергий (VHE). При этом формируется три популяции высокоэнергичных частиц (каждого типа), наиболее энергичная из которых (> 350 ТэВ) сильно анизотропна – её частицы покидают туманность преимущественно вдоль экватора двойного тора.

*E-mail: sasha20990@mail.ru

Природа спутников рентгеновских двойных звёзд с Ве компонентами

А. Ф. Холтыгин^{1*}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

Среди Ве звёзд выделяются две группы объектов, характеризующихся мощным рентгеновским излучением. Первая из этих групп – двойные Ве/X-ray рентгеновские источники с рентгеновской светимостью $10^{35} - 10^{37}$ эрг/с. Спутниками этих звёзд являются нейтронные звёзды, обычно с минутными периодами. Ко второй группе относятся так называемые аналоги γ Cas с рентгеновской светимостью $10^{32} - 10^{34}$ эрг/с и со спутниками – белыми карликами. Непосредственное исследование таких спутников невозможно, ввиду их малой оптической и рентгеновской светимости, а также вследствие того, что двойные звёзды указанных групп являются преимущественно далёкими галактическими объектами. В то же время изучение оптической и рентгеновской переменности объектов этих групп позволяет судить о природе спутников Ве звёзд. Иллюстрацией такого подхода является недавнее детектирование нами периода вращения нейтронной звезды в вариациях профилей линий в оптических спектрах яркой Ве+NS двойной звезды X Per, полученных на 2.5-м телескопе Кавказской горной обсерватории (КГО) ГАИШ МГУ. Представлены результаты применения подобного подхода к анализу Ве/X-ray двойной звезды CI Cam и аналогов γ Cas, доступных для наблюдения на КГО и САО РАН.

*E-mail: afkholtygin@gmail.com

Рентгеновская поляризация аккрецирующих пульсаров: новые вызовы

С. С. Цыганков^{1*}

¹Университет г. Турку, Финляндия

Поляриметрия электромагнитного излучения является уникальным инструментом исследования астрофизических объектов, позволяющим получать информацию, недоступную другими методами, в частности о геометрии аккрецирующих двойных систем. С запуском в конце 2021 года космической обсерватории IXPE (Imaging X-ray Polarimetry Explorer) возможности рентгеновской поляриметрии впервые стали доступны для детального изучения аккрецирующих нейтронных звёзд. В докладе будет представлен обзор результатов первых лет наблюдений аккрецирующих рентгеновских пульсаров. Несмотря на большие ожидания, полученные данные поставили больше вопросов, чем дали ответов. Так, для всех исследованных источников измеренная степень линейной поляризации оказалась существенно ниже теоретически ожидаемых значений и, как правило, не превышает 5–15 %. Причины столь эффективной деполяризации излучения до сих пор остаются неясными. Дополнительной неожиданностью стало обнаружение у ряда объектов неппульсирующей поляризованной компоненты, вероятно связанной с рассеянием излучения в протяжённых аккреционных структурах или дисковых ветрах. В то же время фазово-зависимые измерения поляризации впервые позволили напрямую определить геометрию целого ряда систем, включая углы наклона магнитного диполя и оси вращения нейтронной звезды. Для некоторых пульсаров были получены свидетельства реализации конфигурации ортогонального ротатора. В докладе будут обсуждаться возможные физические механизмы, лежащие в основе наблюдаемых поляризационных свойств, а также новые вопросы, возникшие после первых наблюдений IXPE.

*E-mail: stsygankov@gmail.com

Транзиентно-аккрецирующие нейтронные звёзды: роль пластической деформации

А. И. Чугунов^{1*}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

Для десятков транзиентно-аккрецирующих нейтронных звёзд после эпизода аккреции наблюдалось тепловое излучение поверхности, причем для целого ряда из них наблюдения позволили установить динамику остывания их поверхности в реальном времени. Такое остывание связывают с тепловой релаксацией коры, которая выходит из теплового равновесия за счёт подогрева во время аккреции. Детальное моделирование этого процесса дало уникальную возможность для проверки моделей нейтронных звёзд в динамическом режиме. Однако, при таком моделировании выяснилось, что известных источников тепла не хватает для объяснения высокой температуры, наблюдаемой сразу после окончания аккреции. Для исправления этой ситуации многими авторами вводился феноменологический источник приповерхностного нагрева и ставились ограничения на его параметры. Хотя такой подход применяется уже более 15 лет, природа этого источника остаётся загадкой. В докладе рассмотрен не учитывавшийся ранее процесс: пластическая деформация при сжатии вещества коры в ходе аккреции. В частности, рассчитана возникающая при этом дополнительная мощность нагрева. Работа выполнена за счет средств гранта РНФ 22-12-00048-П.

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

Перенос излучения равновесной электронной плазмы с учётом резонансного комптоновского процесса

Д. М. Шленев^{1*}, Д. А. Румянцев², А. А. Ярков²

¹Ярославское высшее военное училище противовоздушной обороны им. Маршала Советского Союза Л.А. Говорова

²Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова

Рассмотрено решение кинетического уравнения для нахождения функции распределения фотонов двух возможных поляризаций в равновесной нерелятивистской плазме электронов в относительно сильном магнитном поле с учётом резонанса на виртуальном электроне. Использование преобразования Лапласа и разложение функции распределения по полиномам Лежандра сводит задачу к решению системы дифференциальных уравнений на определение коэффициентов этого разложения. Аналитическое решение представлено в виде интеграла на комплексной плоскости. Предложенный аналитический метод решения кинетического уравнения представляет альтернативу численным расчётам с помощью метода Монте-Карло, требующим значительных вычислительных мощностей. Для значения магнитного поля $B \simeq 10^{12}$ Гс и $T \simeq 11$ кэВ вычислена спектральная плотность распределения энергии излучения. Проведено сравнение с результатами работы [1], полученными методом Монте-Карло. Показано, что для фотона моды 1 в резонансной области спектр практически совпадает с чернотельным, в то время как для моды 2 спектр претерпевает существенные изменения. Это может говорить о том, что мода 1 при таких условиях практически всё время будет находиться в состоянии равновесия, тогда как поведение фотона моды 2 носит существенно неравновесный характер. Данный вывод полностью согласуется с результатами предыдущих исследований (см., например, [2]). Полученные результаты могут быть использованы для построения спектра излучения аккреционной колонки электронной плазмы. Для этого, согласно работе [3], можно разделить аккреционную колонку на малые области с постоянным значением магнитного поля и температуры, а результирующий спектр может быть найден как сумма резонансных вкладов от этих областей.

Список литературы

- [1] G. Schönherr, J. Wilms, P. Kretschmar et al., *Astronomy & Astrophysics* 472(2), 353 (2007)
- [2] Yu. E. Lyubarskii, *Astrophysics (Engl. Transl.)* 28, 106 (1988)
- [3] O. Nishimura, *Astrophys. J.* 672(2), 1127 (2008)

*E-mail: allen_caleb@rambler.ru

Ограничения на уравнение состояния сверхплотного вещества по данным наблюдений

П. С. Штернин^{1*}, Д. Д. Офенгейм^{1,2}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Еврейский университет г. Иерусалима, Иерусалим, Израиль

Определение уравнения состояния сверхплотного ядерного вещества, находящегося в недрах нейтронных звёзд, остаётся одной из центральных проблем астрофизики этих объектов [1]. Уравнение состояния связывает между собой характеристики вещества – плотность, давление, состав и др. в состоянии равновесия. Накопленный в последнее время объём наблюдательных данных позволил достичь существенного прогресса в определении механического уравнения состояния, т.е. зависимости давления от плотности в холодном сверхплотном веществе. В докладе рассматриваются современные наблюдения нейтронных звёзд, позволяющие определить уравнения состояния, и демонстрируются ограничения, получаемые в результате анализа этих данных. Изучается роль различных классов наблюдений в формировании полученных ограничений. Вклад астрофизических данных сравнивается с ограничениями, основанными на результатах современной теоретической и экспериментальной ядерной физики. Также обсуждаются перспективы улучшения имеющихся ограничений на уравнение состояния за счёт будущих наблюдений. Работа поддержана РФФ 24-12-00320

Список литературы

- [1] D. D. Ofengeim, E. E. Kolomeitsev, and P. S. Shternin, Neutron star equation of state, in Encyclopedia of Astrophysics, Volume 3 , Vol. 3 (2026) pp. 160-204

*E-mail: pshternin@gmail.com

Модель обдираания для коротких гамма-всплесков: современный статус, проблемы и перспективы

А. В. Юдин^{1*}

¹НИИЦ “Курчатовский Институт” – ККТЭФ

Представлен обзор по модели обдираания генерации коротких гамма-всплесков. В ней, в противовес общепринятой модели слияния, две нейтронные звезды на последних стадиях эволюции двойной системы не сливаются, а обмениваются массой. Причём более массивный компонент сдирает вещество с маломассивного, что, в конечном итоге, приводит к взрыву последнего. Будут освещены различные аспекты этого механизма и его возможная связь с GRB170817A. Значительное внимание будет уделено тем проблемам и вопросам, которые стоят перед моделью обдираания, включая проблему декомпрессии вещества, нуклеосинтеза, сопутствующей килоновой, GW-сигнала и т.д.

*E-mail: yudin@itep.ru

ТЕЗИСЫ СТЕНДОВЫХ ДОКЛАДОВ

(Подчёркиванием отмечены авторы, представляющие доклад.)

Пульсар B1133+16 в дальнем ультрафиолетовом диапазоне

В. Ю. Абрамкин^{1*}, Г. Г. Павлов

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

С помощью космического телескопа им. Хаббла был обнаружен кандидат на отождествление пульсара B1133+16 в дальнем ультрафиолетовом диапазоне. С учётом архивных данных оптических наблюдений на телескопах GTC и VLT получается, что плотности потоков в ультрафиолетовом и оптическом диапазонах могут быть описаны простой степенной моделью с наклоном $\alpha \approx -0.1$. Также нельзя исключить и наличие тепловой спектральной компоненты, которая может давать определённый вклад в ультрафиолетовом диапазоне. Однако имеющиеся данные позволяют лишь установить верхний предел на температуру поверхности нейтронной звезды: $T_\infty < 7 \times 10^4$ К при соотношении радиуса и расстояния, соответствующем радиусу $R = 15$ км для расстояния $d = 370$ пк. Работа поддержана грантом РФФ 24-12-00320.

*E-mail: vadab94@gmail.com

Изолированная нейтронная звезда RX J2143.0+0654 в УФ-ИК-диапазоне

В. Ю. Абрамкин^{1*}, Г. Г. Павлов, Б. Посселт

¹Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе

Изолированная нейтронная звезда RX J2143.0+0654 наблюдалась на космическом телескопе им. Хаббла в диапазоне от ближнего инфракрасного до дальнего ультрафиолетового, в пяти фильтрах. Оказалось, что её спектр в указанной области значительно отличается от простого продолжения рентгеновского теплового спектра в сторону низких энергий и, наиболее вероятно, состоит из двух компонент. В ультрафиолетовой части доминирует рэлей-джинсовский хвост теплового излучения, с температурой порядка 20 - 25 эВ при соотношении радиуса и расстояния, соответствующем радиусу $R = 15$ км и расстоянию $d = 260$ пк. В то же время в инфракрасной части преобладает компонента, описываемая степенным законом с углом наклона $\alpha \approx -0.8$. Анализ одновременных наблюдений на рентгеновской обсерватории XMM-Newton показал, что многоволновой спектр этого объекта от ближнего инфракрасного до рентгеновского диапазона может быть описан моделью с двумя тепловыми компонентами, линией поглощения на энергии 0.74 кэВ и дополнительной степенной компонентой в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. Работа поддержана грантом РНФ 24-12-00320.

*E-mail: vadab94@gmail.com

Могут ли наблюдаться одиночные аккрецирующие нейтронные звёзды?

М. Д. Афолина^{1,2*}, С. Б. Попов¹, А. В. Бирюков³

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

²Физический факультет Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

³Тель-Авивский университет, Тель-Авив, Израиль

Мы представляем результаты популяционного синтеза одиночных нейтронных звёзд 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 межзвёздной среды и магнитовращательной эволюции нейтронных звёзд. Мы показываем, что если стадия пропеллера достаточно короткая, чтобы позволить нейтронным звёздам начать аккрецию вещества из межзвёздной среды, и если эффективность аккреции высока, то число аккрецирующих одиночных нейтронных звёзд в данных *eROSITA* может достигать нескольких тысяч. Тем не менее, неопределённости в эффективности замедления вращения на стадии пропеллера и в эффективности процесса аккреции могут радикально уменьшить это число. Мы предполагаем, что наблюдения нейтронных звёзд в двойных системах, где компаньоном является маломассивная звезда главной последовательности, помогут ограничить законы эволюции нейтронных звёзд.

*E-mail: afoninamd@gmail.com

Построение модели вращающейся нейтронной звезды в рамках теории гравитации с неминимальной кинетической связью

А. М. Ахмедов^{1*}, С. В. Сушков¹

¹Казанский (Приволжский) Федеральный Университет, Институт Физики

В работе было рассмотрено астрофизическое приложение модифицированной теории гравитации: теории с неминимальной кинетической связью [1]. Получено уравнение вращающейся нейтронной звезды и исследовано его асимптотическое поведение. При помощи численного интегрирования полученной системы уравнений гидростатического равновесия звёздной структуры производилось построение диаграмм масса-радиус и момент инерции-масса для уравнений состояния BSk21, BSk26, FSU2H и различных значений параметра теории. На основе диаграммы и численных расчётов было произведено ограничение параметра теории. Выявлено, что для всех уравнений состояния максимальные масса и момент инерции нейтронной звезды становятся меньше, чем в общей теории относительности. Произведено сравнение теоретических значений масс нейтронных звёзд с наблюдаемыми массами пульсаров. Отмечено, что объект HESS J1731-347, являясь самой лёгкой из наблюдаемых нейтронных звёзд [2], позволяет ограничить параметры теории.

Список литературы

- [1] S. V. Sushkov, Phys. Rev. C 80, 103505 (2009)
- [2] V. Doroshenko, V. Suleimanov, and G. Puhhofer, Nat. Astron. 6, 14441451 (2022)

*E-mail: art.akhmedov2013@yandex.ru

Влияние мелкомасштабного магнитного поля на нагрев полярной шапки радиопульсара J0311+1402

Д. П. Барсуков^{1*}, А. Н. Попов¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Радиопульсар J0311+1402 имеет период вращения $P \approx 40.91$ с, что делает его вторым самым долгопериодическим нормальным (rotation-powered) радиопульсаром, уступающая только радиопульсару J0901–4046, имеющему период $P \approx 75.89$ с. В данной работе рассматривается влияние мелкомасштабного магнитного поля на поверхности нейтронной звезды на генерацию позитронов во внутреннем зазоре радиопульсара и нагрев его полярной шапки, вызванный обратным током позитронов, текущим через внутренний зазор. Учитывается фотоионизация связанных электрон-позитронных пар только фотонами теплового излучения с поверхности нейтронной звезды. Влиянием на фотоионизацию фотонов с горячей полярной шапки пренебрегается.

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

Пушчинский многолучевой поиск пульсаров. Распределение импульсов по энергиям у 15 RRAT

Е. А. Брылякова^{1*}, С. А. Тюльбашев¹, Т. В. Смирнова¹, М. А. Китаева¹

¹ПРАО АКЦ ФИАН

Представлены результаты мониторинга RRAT на 111 МГц по данным БСА ФИАН за 2014–2024 гг. Для выборки из 15 источников построены распределения энергий одиночных импульсов и выполнено однородное сравнение моделей: логнормальная, степенной закон, логнормаль со степенным хвостом и ломаный степенной закон. Выбор модели проводился по максимуму правдоподобия и критерию AICс с учётом порога детектирования. Показано, что формы распределений неоднородны: часть источников согласуется с логнормальной статистикой, у других выявляются степенные хвосты на высоких энергиях, что может указывать на редкие яркие события (гигантские импульсы).

*E-mail: elinx@bk.ru

Оптические исследования источника 4FGL J0935.3+0901

М. М. Верязов^{1,2*}, А. В. Бобаков², Д. А. Зюзин^{1,2}, А. В. Карпова²,
А. Ю. Кириченко^{2,3}, С. В. Жариков³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Физико-технический институт им. А.Ф.Иоффе РАН

³Институт астрономии, Национальный автономный университет Мексики, Мексика

Проведены оптические и рентгеновские исследования источника на положении гамма источника 4FGL J0935.3+0901 в оптическом диапазоне. Анализ выполнен на основе оригинальных спектроскопических данных, полученных на 10-метровом телескопе Gran Telescopio Canarias. Наблюдения покрывают полный орбитальный период объекта, составляющий 2.44 часа. В спектрах в диапазоне 3900–5700 Å обнаружены двухпиковые эмиссионные линии Бальмеровской серии водорода и He I, а также линии He II и Fe II, что говорит о наличии аккреционного диска в тесной двойной системе. Также впервые выполнена многополосная фотометрия высокого временного разрешения на приборе HiPERCAM; форма кривой блеска согласуется с данными, полученными ранее. На основании полученных данных мы показали, что исследуемый объект не является “паучьим” пульсаром, как предполагалось в предыдущих исследованиях. Объект может быть классифицирован как кандидат в переходные миллисекундные пульсары в состоянии аккреционного диска либо как катаклизмическая переменная.

*E-mail: vermi03@yandex.ru

Роль вихрей Абрикосова в кинетике нейтронных звёзд

О. А. Гогличидзе^{*}, М. Е. Гусаков

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

В работе исследуется влияние протонных вихрей (вихрей Абрикосова) на процессы переноса в ядрах нейтронных звёзд. 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

*E-mail: goglichidze@gmail.com

Электро- и теплопроводность электронов в поликристаллической мантии нейтронных звёзд

Н. А. Земляков^{1*}, А. И. Чугунов¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Мантией нейтронной звезды называют гипотетический слой между твёрдой корой и жидким ядром звезды. В нём ядерная материя может формировать существенно несферические кластеры (т.н. макаронные фазы), что может сказываться на наблюдательных свойствах нейтронных звёзд (остывание, распад магнитного поля и т.д.). Обычно предполагается, что мантия имеет поликристаллическую структуру. Однако, как и для земной физики, в таком случае кинетические свойства этого слоя, вообще говоря, зависят от формы и корреляций кристаллитов, которые неизвестны для мантии. Поэтому для оценки эффективных кинетических коэффициентов требуется либо дополнительные предположения о поликристаллической структуре, а в их отсутствие возможно только ограничение возможного диапазона значений. В докладе для случая немагнитной мантии представлены ограничения электро- и теплопроводности, полученные вариационным методом Хашина–Штрикмана, а также дана оценка этих коэффициентов в рамках самосогласованного подхода. Для замагнитной мантии представлена самосогласованная оценка. Проведено сравнение с оценками, полученными ранее в работе [1]. В частности, показано, что для случая немагнитной мантии они служат верхней и нижней границами коэффициентов переноса, аналогичными границам Фойта и Реусса для упругих свойств, однако для замагнитной мантии эти оценки не могут быть использованы как границы возможного диапазона значений коэффициентов переноса. Работа Н.А. Землякова поддержана РФФИ, грант 24-12-00320 (<https://rscf.ru/project/24-12-00320/>).

Список литературы

- [1] D. G. Yakovlev, MNRAS 453(1), 581 (2015)

*E-mail: zemlyakov@mail.ioffe.ru

Пересмотр глубинного нагрева коры замедляющихся миллисекундных пульсаров

Е. М. Кантор^{1*}, М. Е. Гусаков¹

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Как было показано в работе [1], замедление вращения нейтронной звезды, например вследствие магнитодипольных потерь, приводит к сжатию вещества и инициирует ядерные реакции на фазовых переходах в коре. Было установлено, что этот механизм может эффективно нагревать миллисекундные пульсары. Однако в этих расчётах использовалось уравнение состояния аккрецированной коры, предложенное Хэнселем и Ждуником [2]. Эта модель имеет существенный недостаток: свободные нейтроны в ней не находятся в диффузионном и гидростатическом равновесии. Позднее Гусаков и Чугунов [3] предложили термодинамически согласованное уравнение состояния аккрецированной коры, в котором это условие выполнено. В настоящей работе мы заново анализируем нагрев тормозящихся миллисекундных пульсаров, обусловленный ядерными реакциями в коре, с использованием этой новой модели. Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 22-12-00048-Р)

Список литературы

- [1] М. Е. Gusakov, Е. М. Kantor, A. Reisenegger, MNRAS Letters, 453, L36–L40 (2015)
- [2] P. Haensel, J. L. Zdunik, Astronomy & Astrophysics, 229, 117–122 (1990)
- [3] М. Е. Gusakov, A. I. Chugunov, Physical Review Letters, 124, 191101 (2020)

*E-mail: kantor.elena.m@gmail.com

Пульсар с периодом 40.9 секунды по данным мониторинга на радиотелескопе БСА ФИАН

М. А. Китаева^{1*}, С. А. Тюльбашев¹, Г. Э. Тюльбашева², С. А. Андрианов¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, Астрокосмический центр, Пушчинская радиоастрономическая обсерватория, Пушкино, Московская обл., Россия

²Институт математических проблем биологии Российской академии наук, филиал Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН, Пушкино, Московская обл., Россия

Проведён поиск пульсара J0311+1402, имеющего период $P=40.9$ секунд, в архивных данных радиотелескопа БСА ФИАН. Обнаружено 35 сильных импульсов пульсара с отношением сигнал/шум больше 10. Часть обнаруженных импульсов являются однокомпонентными, часть имеет сложную многопиковую структуру. Определены пиковая ($S_p = 2$ Ян) и интегральная ($S_i = 7$ мЯн) плотности потоков в среднем профиле, который был получен по сильным импульсам. Показано, что в метровом диапазоне длин волн импульсы пульсара приходят спорадически, то есть пульсар по свойствам похож на вращающийся радиотранзиент (RRAT). Проведён тайминг, в результате которого удалось улучшить значение периода пульсара P и дать оценку производной периода dP/dt . Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236-П.

*E-mail: marina@prao.ru

Бимодальность кика нейтронных звёзд и её связь с физическими параметрами

А. Д. Лазарев^{1*}, С. Б. Попов²

¹Физический факультет, МГУ им. М. В. Ломоносова

²ГАИШ, МГУ им. М. В. Ломоносова

Analysis of observational data and theoretical modeling favors a bimodal distribution of the natal velocity kick of neutron stars. For ~ 200 normal isolated radio pulsars with well-determined spin and kinematic parameters, we determine if they belong to the low- or high-velocity mode of the distribution. Our results demonstrate that about 45% belong to the low-velocity mode. We then analyze the differences in the properties of the two sets of pulsars. For some parameters (characteristic ages, distances, and radio luminosities), we see a clear difference between the two modes. However, for these quantities, it can be easily attributed to selection bias. For those parameters that are not a subject of strong selection, such as pulse width, we do not observe any difference. Interestingly, we detect a significant difference in the magnetic field distribution between the two modes. Lower field pulsars ($B \lesssim 10^{12}$ G) are overabundant among objects from the low-velocity mode in comparison to the high-velocity one. We do not identify any objects from the high-velocity mode of the kick distribution with low magnetic field ($\lesssim 10^{11}$ G). The origin of this discrepancy is not clear.

*E-mail: anton.d.lazarev@gmail.com

Краевой эффект, определяющий внутренний радиус аккреционного диска вокруг нейтронной звезды

Д. Д. Лисицин^{1,2*}, Н. И. Шакура

¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ им. М. В. Ломоносова

²Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова

Мы проанализировали неустойчивость перестановочного типа на внутреннем крае тонкого диамагнитного аккреционного диска. Конфигурация магнитного поля рассматривается в рамках модели, предложенной Али [1]. Мы получили модифицированное дисперсионное соотношение для перестановочной неустойчивости с учётом кеплеровского вращения диска. На основе критерия неустойчивости выведено выражение для внутреннего радиуса аккреционного диска. Было учтено неравномерное распределение толщины аккреционного диска по его радиусу. Показано, что этот радиус отличается от классического альфвеновского радиуса для сферической аккреции лишь на безразмерный множитель, зависящий только от параметра турбулентности α и относительной толщины диска.

Список литературы

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

*E-mail: lisitsin_2000@mail.ru

Влияние искривления пространства на вклад в индексы торможения радиопульсаров

А. А. Матевосян^{1*}, Д. П. Барсуков², А. В. Скобля¹

¹СПбПУ Петра Великого

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Рассматривается влияние искривления пространства на составляющую момента инерции пульсара, связанную с его магнитным полем. Рассмотрение ограничено только вкладом в момент инерции магнитного поля вне звезды. Данная компонента момента инерции может приводить к появлению свободной прецессии звезды и, соответственно, может увеличивать индексы торможения пульсара до $n \sim 10^3 - 10^4$ для $P = 0.1 - 1$ с. Искривление пространства может как увеличивать этот вклад, так и уменьшать его.

*E-mail: aramverner1@gmail.com

Релятивистская стационарная модель аккреционной колонки рентгеновского пульсара

У. А. Мельникова^{1*}, И. Д. Маркозов²

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе

В работе построена модель аккреционной колонки рентгеновского пульсара в стационарном случае с учётом специальной теории относительности. В рамках специальной теории относительности решается система гидродинамических уравнений, описывающих стационарный, одномерный поток идеальной жидкости, в которой преобладает излучение, вдоль аккреционной колонки, включая выход излучения через её стенки, с постановкой граничных условий у поверхности нейтронной звезды и на верхней границе колонки, описанной в [1]. Полученное решение для профиля скорости сравнивается с решением для профиля скорости аккреционной колонки, полученным полуаналитически в [1] и аналитически в [2].

Список литературы

- [1] M. M. Basko, R. A. Sunyaev, MNRAS, 175, 395 (1976)
- [2] P. A. Becker, ApJ, 498, 790 (1998)

*E-mail: st095755@student.spbu.ru

Зависящие от плотности ΛN - и $\Lambda\Lambda$ -взаимодействия в материи нейтронных звёзд

С. А. Михеев^{1,2*}, Д. Е. Ланской², А. И. Насакин^{1,2}, Т. Ю. Третьякова^{1,2}

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет

Материя нейтронных звёзд имеет плотность порядка ядерной и может быть описана с помощью методов, характерных для ядерной физики. Существующая на сегодняшний день информация о барионных взаимодействиях в большинстве своём касается их свойств при ядерной плотности. В центре нейтронной звезды материя существует при плотностях, в несколько раз превосходящих плотность ядра, и потому изучение свойств барионных и, в частности, гиперонных взаимодействий в материи нейтронных звёзд необходимо для построения более полной картины барионных взаимодействий в плотных средах. Особый интерес при этом представляют силы, зависящие от плотности. Настоящая работа посвящена изучению роли ΛN - и $\Lambda\Lambda$ -сил, зависящих от плотности, в описании характеристик нейтронных звёзд. Исследуется влияние трёхчастичных ΛNN -сил и ΛN -сил, пропорциональных нуклонной плотности в некоторой степени γ , на характеристики нейтронных звёзд. Также рассматривается $\Lambda\Lambda$ -взаимодействие, зависящее от нуклонной плотности.

*E-mail: semenmihey@gmail.com

Влияние Ξ -гиперонов на характеристики нейтронных звёзд в подходе Скирма

А. И. Насакин^{1,2*}, С. А. Михеев^{1,2}, Д. Е. Ланской², Т. Ю. Третьякова^{1,2},
А. М. Потокин²

¹Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт ядерной физики имени Д. В. Скобельцына, Ленинские горы, Москва 119991, Российская Федерация

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Ленинские горы, Москва 119991, Российская Федерация

Одной из нерешённых проблем ядерной астрофизики остаётся hyperon puzzle — смягчение уравнения состояния нейтронной звезды (НЗ) при включении гиперонов, приводящее к уменьшению максимальной массы ниже наблюдаемого предела $\sim 2 M_\odot$. В настоящей работе структура НЗ исследуется в рамках подхода Скирма с последовательным учётом не только Λ -, но и Ξ -гиперонов. Ранее в данном подходе в материю НЗ включались только Λ -гипероны. Рассмотрен широкий набор параметризаций нуклон-нуклонного (NN) и гиперон-нуклонного (ΛN , ΞN) взаимодействий. Особое внимание уделено изоспиновой зависимости ΞN -взаимодействия. На основе построенного уравнения состояния барионной материи вычислены макроскопические характеристики НЗ: масса M , радиус R и приливная деформируемость Λ . Проанализирована зависимость плотности, при которой появляются Ξ -гипероны, от характеристик ΞN -взаимодействия. Установлены корреляции между наблюдаемыми величинами и свойствами барионных взаимодействий. Предложено простое приближённое соотношение, позволяющее оценить $M_{\max}$ непосредственно из характеристик NN и YN взаимодействий. Показано, что включение Ξ -гиперонов существенно изменяют расчетные значения M , R и Λ по сравнению с моделями, содержащими только Λ -гипероны. Полученные результаты необходимы для корректной интерпретации наблюдательных данных и указывают на важную роль Ξ -гиперонов в подходе к hyperon puzzle.

*E-mail: anasakin@mail.ru

Электрон-позитронные пары в горячих плотных колонках сверхкритических пульсаров

С. В. Новикова^{1*}, И. Д. Маркозов^{2,3}

¹СПбГУ

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе

³ИКИ РАН

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 непрозрачность 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 РФФ 24-12-00320

Список литературы

- [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>

*E-mail: sophya-nov@yandex.ru

Нейтронные и кварковые (странные) звёзды в приближении однородной плотности

Е. А. Патраман^{1,2*}, Г. С. Бисноватый-Коган^{1,2,3}

¹Институт космических исследований РАН, Москва

²Московский физико-технический институт (МФТИ), г. Долгопрудный.

³Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва

Рассматриваются модели нейтронных и кварковых звёзд в приближении однородного распределения плотности. В рамках общей теории относительности получено универсальное алгебраическое уравнение, справедливое для любого уравнения состояния. Это уравнение позволяет найти приближительную массу звезды заданной плотности, не прибегая к интегрированию дифференциальных уравнений. Рассчитаны модели нейтронных звёзд для различных уравнений состояния. Модели однородных странных звёзд для уравнения состояния в “модели кваркового мешка” имеют простое аналитическое решение. Предельные значения масс нейтронных и кварковых звёзд отличаются от значений, полученных в точных решениях путем численного интегрирования дифференциальных уравнений, не более, чем на 20 %.

*E-mail: patraman.ea@phystech.edu

Моделирование гравитационно-волнового сигнала рентгеновского пульсара Her X-1

Г. К. Пименов^{1*}, Д. И. Маркозов^{2,3}, А. А. Муштуков⁴

¹СПбГУ

²ФТИ им. А.Ф. Иоффе

³ИКИ РАН

⁴Mullard Space Science Laboratory, University College London

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.

*E-mail: pimenovpima@gmail.com

Излучение и остывание горячей кварковой звезды

Н. О. Прокопеня^{1*}, Г. В. Верещагин²

¹Институт физики им. Б.И. Степанова Национальной академии наук Беларуси

²ICRANet (Pescara, Italy)

Сверхкритические электрические поля, в которых возможен эффект Швингера, могут существовать в тонком поверхностном слое компактных астрофизических объектов, таких как гипотетические кварковые звёзды и нейтронные звёзды. Для полностью вырожденных звёздных конфигураций принцип запрета Паули не позволяет реализовать эффект Швингера, но для горячих звёзд ситуация иная. В докладе будет показано, что горячая кварковая звезда является источником электрон-позитронных пар, приводящим к формированию вспышки излучения с тепловым спектром. Также обсуждается возможность формирования нетеплового спектра излучения при остывании поверхности звезды, вызванного тормозным механизмом в электросфере звезды.

*E-mail: nikprokopenya@gmail.com

4FGL J2054.2+6904: исследование кандидата в системы типа “redback”

Д. К. Романов^{1,2*}, А. В. Бобаков², А. Ю. Кириченко^{3,2}, А. В. Карпова²,
Д. А. Зюзин², С. В. Жариков³

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

²Физико-технический институт А.Ф. Иоффе РАН

³Институт астрономии Национального автономного университета Мексики, Мексика

Данная работа посвящена исследованию двойной звёздной системы 4FGL J2054.2+6904, которая является кандидатом в тесные двойные системы с миллисекундным пульсаром типа “redback”. На основе оптических фотометрических наблюдений в широкополосных фильтрах B , V и R , выполненных в течение 12 ночей с 2023 года, была обнаружена асимметрия кривых блеска, а также годичное изменение светимости объекта. В рамках исследования мы также провели времениразрешённую спектроскопию компаньона 4FGL J2054.2+6904. В результате нами были получены 16 спектров в диапазоне длин волн от 4000 до 5500 Å. По спектральным абсорбционным линиям $H\beta$ и MgI нами была получена кривая лучевых скоростей с амплитудой около 300 км/с.

*E-mail: dr.romanoff2003@yandex.ru

Исследование рентгеновского и оптического излучения звезды типа γ Cas SS 397

Е. Б. Рыспаева^{1*}, А. Ф. Холтыгин²

¹Крымская астрофизическая обсерватория РАН

²Санкт-Петербургский государственный университет

К загадочному подклассу звезд типа γ Cas (аналогов γ Cas) относятся одиночные или двойные с маломассивным спутником Ве-звёзды, выделяющиеся особым рентгеновским излучением. Такие объекты имеют рентгеновскую светимость выше, чем у типичных Ве-звёзд, но ниже, чем у двойных систем с Ве-компонентами. В предположении о полностью тепловой природе рентгеновского излучения аналогов γ Cas, температура излучающей плазмы достигает аномальных для ранних звёзд значений 10-20 кэВ и даже более. Наблюдения аналогов γ Cas, проведённые через длительные временные промежутки, показали, что рентгеновские спектры таких звёзд могут сильно меняться со временем, что, возможно, связано с состояниями их декреционных дисков. В настоящее время не существует единой теории, объясняющей процессы формирования рентгеновского излучения звёзд загадочного подкласса, они являются предметом обсуждения. Сформулированы следующие гипотезы: 1) аккреция на вырожденный компонент в виде белого карлика или нейтронной звезды в режиме пропеллера; 2) взаимодействие локальных магнитных полей звезды с магнитным полем декреционного диска, такое излучение должно состоять из большого числа коротких вспышек (вспышечноподобных событий, быстрых вспышек). В настоящей работе проведено рентгеновское и оптическое исследования звезды загадочного подкласса SS 397, расположенной вблизи туманности пульсарного ветра G21.50.9. Выполнен анализ рентгеновских наблюдений, проведённых на спутниках “XMM-Newton” и “Chandra”. Показано, что рентгеновская светимость SS 397 с 2000 года медленно ослабевала и в 2020-2021 годах звезда была практически не видна на рентгеновских изображениях. В периоды наиболее интенсивного рентгеновского излучения звезды в её рентгеновских кривых блеска обнаружено малое число быстрых вспышек, возникающих преимущественно на малых энергиях до 1 кэВ. Анализ оптических и рентгеновских наблюдений звезды позволяет осторожно предположить, что декреционный диск SS 397 находится на стадии диссипации, что и повлекло снижение рентгеновского излучения звезды.

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

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

М. А. Тимиркеева^{1*}, И. Ф. Малов¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Пуцунская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Виткевича

Проведен анализ расположения радиопульсаров с зарегистрированным от них жёстким излучением на диаграмме $\dot{P}$ – 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 излучения. Для объяснения торможения миллисекундных и долгопериодических пульсаров необходимо рассматривать омиические потери с учётом полей и токов в магнитосфере нейтронной звезды.

*E-mail: marika-ko@yandex.ru

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

М. А. Тимиркеева^{1*}, И. Ф. Малов¹

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Пуцунская радиоастрономическая обсерватория им. В.В. Виткевича

Проанализирован ряд особенностей радиопульсаров с магнитными полями на 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 аккреции вещества, вытекающего из компаньона. Более 70% исследуемых пульсаров действительно входят в состав двойных систем. Они должны быть моложе миллисекундных пульсаров, достигших минимального значения периода вращения. В самом деле, 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 такие пульсары 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.

*E-mail: marika-ko@yandex.ru

Концепция орбитального комптоновского гамма-телескопа

Ю. А. Уваров^{1*}, А. М. Быков¹, А. А. Лутовинов², Д. Д. Фредерикс¹,
А. Л. Лысенко¹, Е. Е. Холупенко¹, А. М. Красильщиков¹, Г. И. Васильев¹,
К. Д. Комлев¹, В. К. Еремин¹, Е. М. Вербицкая¹, И. В. Еремин¹, Н. Н. Фадеева¹,
Ю. В. Тубольцев¹, А. А. Богданов¹, М. В. Уланов¹, В. А. Арефьев², М. В. Бунтов²,
В. В. Левин², А. Ф. Июдин³

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²ИКИ РАН

³НИИЯФ МГУ

Астрофизические процессы, связанные с активным энергосвободением, часто сопровождаются интенсивным гамма-излучением. Особенный интерес для наблюдений представляет мегаэлектронвольтовый диапазон. Существенная доля излучения пульсаров, сверхновых звёзд, источников гамма-всплесков и аккрецирующих чёрных дыр приходится именно на этот диапазон энергий. На него же приходится излучение в гамма-линиях аннигиляции электрон-позитронных пар и распада нестабильных изотопов, позволяющее проводить спектроскопический анализ, важный для исследования процессов звёздного нуклеосинтеза, ядерных взаимодействий космических лучей и свойств сильно поглощённых компактных релятивистских звёзд. Измерение спектров и поляризации гамма-излучения в непрерывном спектре также важно для исследования механизмов излучения двойных звёздных систем с компактными компаньонами, пульсарных туманностей и мощных транзиентных источников. В настоящее время чувствительность орбитальных детекторов в этом диапазоне существенно уступает чувствительности как рентгеновских телескопов, так и детекторов гамма-излучения гига- и тераэлектронвольтового диапазонов, что связано в первую очередь с существенными трудностями детектирования квантов мегаэлектронвольтовых энергий. Особенно слабо изучен диапазон энергий 0.3–10 МэВ, большинство данных в котором было получено обсерваториями CGRO/COMPTEL (1991–2000) и INTEGRAL/SPI (2002–2025). В работе описывается концепция орбитального комптоновского гамма-телескопа, предназначенного для наблюдений в диапазоне энергий 0.3–10 МэВ, основанного на современных технологиях кремниевых стриповых детекторов (Si-DSSD). Стриповые детекторы позволяют с хорошей точностью восстанавливать треки взаимодействия гамма-квантов с веществом, что в свою очередь позволяет существенно улучшить чувствительность телескопа, проводить спектроскопические и поляриметрические измерения. Кремниевые стриповые детекторы активно исследовались и разрабатывались в ФТИ им. А.Ф. Иоффе в последние годы в связи с исследованиями, проводимыми в CERN и GSI по физике элементарных частиц и ядерной физике. В этой связи, имеющиеся в институте компетенции могут быть использованы в создании кремниевых детекторов с характеристиками, оптимизированными для астрофизических исследований в актуальном диапазоне энергий гамма-квантов. В докладе представлены результаты моделирования характеристик гамма-телескопа в полномасштабном, и в малоразмерном вариантах, проведено сравнение с характеристиками детекторов завершённой миссии CGRO/COMPTEL (NASA) и планирующейся миссии COSI (NASA).

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

Оценка вязкости адронного вещества по динамике нейтронных звёзд и данным ядерной спектроскопии

А. Х. Хоконов¹, А. А. Хоконов^{2*}

¹Институт ядерных исследований Российской академии наук, проспект 60-летия октября 7а, Москва, 117312

²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы 1, Москва, 119991

Исследовано влияние сдвиговой вязкости на частоту поверхностных колебаний нейтронной звезды и декремент затухания этих колебаний. В рамках гидродинамической модели ядра на основе сравнения частот квадрупольных и октупольных капиллярных колебаний чётно-нечётных ядер и их сравнения с экспериментом, в работе [1] было получено значение сдвиговой вязкости. Было показано, что вязкость ядерного вещества лежит в интервале 4.2–7.6 МэВ фм⁻² с⁻¹. Проведено рассмотрение как для случая однородной несжимаемой жидкости, так и для случая стратифицированного по слоям нейтронной звезды. Полученный результат был применён к квадрупольным колебаниям нейтронной звезды после её образования. В случае «стандартной» нейтронной звезды [2] массой $M = 1.4M_{\odot}$, где $M_{\odot}$ – масса Солнца, частота квадрупольных колебаний составляет $\gamma = 9 \times 10^{-3}$ Гц, а декремент затухания $\nu = 3.6 \times 10^{-2}$ с⁻¹, что соответствует характерному времени затухания 28 с. В рамках стратифицированной модели нейтронной звезды обсуждается возможность учёта объёмных [3] и торсионных колебаний [4].

Список литературы

- [1] Khokonov A. Kh., Liquid drop model of spherical nuclei with account of viscosity // Nuclear Physics A. – 2016. – Vol. 945 – P. 58–66.
- [2] Потехин А. Ю., Физика нейтронных звёзд // Успехи физических наук. – 2010. – Т. 180. – С. 1279–1301.
- [3] Tambe P., Chatterjee D., Alford M., Haber A. Thermal and Magnetic Effects on Bulk Viscosity in Binary Neutron Star Mergers // Phys. Rev. C. – 2025. – Vol. 113 – Id. 055808.
- [4] Schumaker B.L., Thorne K.S. Torsional oscillations of neutron stars // Mon. Not. R. astr. Soc. – 1983. – Vol. 203. – P. 457–489.

*E-mail: alkh2002@mail.ru

Высокоточная капельная модель для внутренней коры нейтронной звезды

А. И. Чугунов^{1*}, М. Е. Гусаков¹, Н. А. Земляков¹, Н. Н. Щечилин², N. Chamel³

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург

²Institute of Science Tokyo, Tokyo, Japan

³Universite Libre de Bruxelles, Brussels, Belgium

Внутренняя кора нейтронной звезды – это область с неоднородным (на микроуровне) распределением нуклонов: она состоит из нуклонных кластеров (ядер), окружённых свободными нейтронами. Её теория развивается уже около 60 лет и начиналась с капельных моделей, а в настоящее время проводятся детальные численные расчеты, например, расширенным методом Томаса-Ферми (ETF) с учётом оболочечных поправок по методу Струтинского. Результаты последних используются в кодах для моделирования нейтронных звёзд в виде таблиц. Для звезд с равновесным составом это представляется достаточным, так как все термодинамические величины и состав являются функциями плотности и требуется интерполяция только по одной переменной, то для исследования неравновесной внутренней коры, например, в аккрецирующих нейтронных звёздах, необходимо явно учитывать зависимость термодинамических величин от состава вещества, и интерполяция становится не столь простой. Кроме того, необходимо проводить моделирование нейтронных звёзд при разных значениях ядернофизических параметров, что, при использовании детальных численных расчетов для построения внутренней коры, до сих пор представляет собой чрезмерно сложную задачу. Поэтому до сих пор исследователи часто прибегают к капельной модели, сочетающей физическую наглядность, простоту и высокую численную эффективность. Следует отметить, что под термином капельная модель подразумевается целый класс моделей, основанных на использовании разных параметризаций и подходов для описания поверхностной энергии, большинство из которых являются, в значительной части, феноменологическими. В докладе построена и применена усовершенствованная капельная модель, основанная на термодинамически согласованном описании поверхностных свойств (с согласованным учётом адсорбции нейтронов и поверхностного натяжения) с учётом поправок на кривизну поверхности. Показано, что построенная модель воспроизводит результаты детальных ETF расчётов равновесной и неравновесной внутренней коры с точностью до нескольких кэВ/нуклон, что позволяет считать её физически обоснованным методом аппроксимации ETF-результатов. При этом параметры модели находятся ETF расчетом для плоской границы, обеспечивая строгое согласование с выбранной ядернофизической моделью. Предложенная капельная модель позволяет выписать явные выражения не только для плотности энергии, но и для других термодинамических величин (давление, химические потенциалы, ...), что облегчает её использование, например, при построении моделей аккреционной коры, где наиболее удобными параметрами являются давление и химический потенциал нейтронов. Работа поддержана грантом РНФ 22-12-00048-П.

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

Резонансный электронный трезубец при столкновении ультрарелятивистских электронов с рентгеновским излучением нейтронных звёзд

М. В. Шахов^{1*}, С. П. Рощупкин¹

¹Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Теоретически изучены характерные особенности процесса рождения электронного трезубца (электрона и электрон-позитронной пары) в широком диапазоне частот и интенсивностей сильно поляризованной электромагнитной волны с круговой поляризацией. Процесс рассмотрен в условиях выполнения резонанса Олейника. Резонансный процесс – процесс рождения электронного трезубца – определяется двумя характерными квантовыми энергиями: характерной энергией нелинейного Комптона-эффекта и характерной энергией нелинейного процесса Брейта–Уилера. Показано, что в этом резонансном процессе происходит квантовая запутанность конечных частиц. Получены аналитические выражения для дифференциальных скоростей резонансного процесса рождения электронного трезубца в зависимости от энергии конечных частиц. Также получены соответствующие аналитические выражения для полных скоростей. Показано, что скорости резонансного процесса для оптического и рентгеновского диапазона частот значительно превышают нерезонансный процесс. Полученные результаты могут быть использованы в экспериментах в ведущих лазерных центрах, а также для объяснения КЭД-процессов в сильных рентгеновских полях вблизи нейтронных звёзд и магнитаров.

*E-mail: shahov.mv@edu.spbstu.ru