

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

Тезисы докладов Всероссийской конференции

ФИЗИКА НЕЙТРОННЫХ ЗВЕЗД

ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург
10–14 июля 2023 г.

Санкт-Петербург, 2023

УДК 524.35
ББК 22.63

Физика нейтронных звёзд: тезисы докладов всероссийской конференции (Санкт-Петербург, 10–14 июля 2023 г.) / Под ред. А.Ю. Потехина и Д.Г. Яковлева – СПб.: ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2023. – 65 с., илл., эл. изд. – ISBN 978-5-93634-071-0.

Организатор

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

При поддержке

ООО «ИННО-МИР»

Программный комитет

А.Ю. Потехин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург) – сопредседатель
Д.Г. Яковлев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург) – сопредседатель
С.И. Блинные (ККТЭФ НИЦ Курчатовский институт, Москва)
А.М. Быков (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)
М.Р. Гильфанов (ИКИ РАН, Москва, Санкт-Петербург)
К.А. Постнов (ГАИШ МГУ, Москва, Санкт-Петербург)
Ю.Й. Поутанен (Университет Турку, Турку, Финляндия)
С.А. Тюльбашев (АКЦ ФИАН, Москва)
П.С. Штернин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург)

Организационный комитет

А.А. Кожберов (ФТИ им. А.Ф. Иоффе) – председатель
Д.А. Байко (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
С.А. Балашев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
Д.П. Барсуков (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.В. Бобаков (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
О.А. Гогличидзе (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.В. Иванчик (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.Д. Каминкер (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.В. Карпова (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.Ю. Потехин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
А.И. Чугунов (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
Ю.А. Шибанов (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
П.С. Штернин (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)
Д.Г. Яковлев (ФТИ им. А.Ф. Иоффе)

Сборник содержит краткие тезисы докладов на Всероссийской конференции «Физика нейтронных звёзд – 2023». Это двенадцатое широкомасштабное научное мероприятие, посвящённое обсуждению физики и астрофизики нейтронных звёзд и связанных с ними явлений. Оно продолжало 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 и 2017 годах.

ISBN 978-5-93634-071-0

© ФТИ им. А.Ф. Иоффе, 2023
© Авторы тезисов, 2023

Остывание нейтронной звезды в остатке сверхновой Кассиопея А по данным наблюдений Chandra во всех режимах наблюдений

П. С. Штернин^{1*}, Д. Д. Офенгейм^{2,1}, С. О. Heinke³, W. C. G. Ho⁴

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Еврейский университет г. Иерусалима, Израиль

³University of Alberta, Эдмонтон, Канада

⁴Haverford College, Хаверфорд, Филадельфия, США

Заметное остывание нейтронной звезды в остатке сверхновой Кассиопея А (КасА) может объясняться усилением нейтринного излучения за счёт процессов формирования и распада куперовских пар в сверхтекучем ядре звезды [1]. До недавнего времени ускоренное остывание КасА было обнаружено только в данных наблюдений источника обсерваторией Chandra в режиме GRADED детектора ACIS-S. Однако этот режим не является оптимальным для изучения ярких точечных источников из-за наличия инструментальных искажений, в первую очередь, эффекта наложения событий (pileup). Наблюдения КасА в более подходящем режиме FAINT проводились, однако их временного покрытия было недостаточно для надёжного ограничения темпа остывания звезды. Новые наблюдения увеличили базу для режима FAINT до 14 лет и подтвердили наличие ускоренного остывания источника [2]. В настоящей работе [3] проведён совместный анализ наблюдений КасА в режимах FAINT и GRADED. Показано, что при учёте поправки за pileup, результаты в двух режимах находятся в хорошем согласии, а темп понижения температуры поверхности звезды составляет $\sim 2\%$ за 10 лет. Используя модель немагнитной углеродной атмосферы нейтронной звезды, мы ограничили массу и радиус звезды на уровне $M = 1.55 \pm 0.25 M_{\odot}$ и $R = 13.5 \pm 1.5$ км. С помощью разработанного ранее модельно-независимого метода [4], мы также ограничили максимальную критическую температуру нейтронной сверхтекучести, $T_{Cn\max}^{\infty} = (4.3 \pm 1.0) \times 10^8$ К. Вместе с тем необходимая мощность нейтринного излучения при куперовском спаривании как минимум вдвое превышает существующие теоретические оценки. Работа поддержана грантом РФФ 19-12-00133-п.

Список литературы

- [1] D. Page, M. Prakash, J. M. Lattimer, A. W. Steiner, Phys. Rev. Lett., 106, 081101 (2011); P. S. Shternin, D. G. Yakovlev, C. O. Heinke, W. C. G. Ho, D. J. Patnaude, Mon. Not. R. Astron. Soc., 412, L108 (2011)
- [2] B. Posselt, G. G. Pavlov, Astrophys. J., 932, 83 (2022)
- [3] P. S. Shternin, D. D. Ofengeim, C. O. Heinke, W. C. G. Ho, Mon. Not. R. Astron. Soc., 518, 2775 (2023)
- [4] P. S. Shternin, D. D. Ofengeim, W. C. G. Ho, C. O. Heinke, M. J. P. Wijngaarden, D. J. Patnaude, Mon. Not. R. Astron. Soc., 506, 709 (2021)

*E-mail: pshternin@gmail.com

Гамма-всплески в модели обдираания двойных нейтронных звёзд

А. В. Юдин*

ККТЭФ НИЦ Курчатовский институт

Будет представлен обзор современного состояния модели обдираания (stripping model) для коротких гамма-всплесков. Проведено сравнение с предсказаниями стандартной модели слияния (merging) нейтронных звёзд. Также в свете модели обдираания рассмотрены некоторые свойства пекулярного гамма-всплеска GRB170817A, сопутствовавшего гравитационно-волновому событию GW170817. Кроме того, будет рассказано о тех проблемах, которые ещё предстоит решить в рамках указанной модели.

*E-mail: yudin@itep.ru

Диагностика газа в гало Галактики остатками вспышек сверхновых

Е. М. Чуразов*

ИКИ РАН

Взрывы сверхновых типа II обычно проиходят вблизи областей звездообразования в диске Галактики, где много плотного и сравнительно холодного газа. Для сверхновых типа Ia это явление не является обязательным, и такие сверхновые могут взрываться и в горячем и разреженном газе гало Галактики. Время остывания такого газа может превосходить время жизни остатка сверхновой. В таком случае повышается возможность непосредственно измерять температуру и плотность газа гало, причём измерения несут локальный характер.

*E-mail: churazov@iki.cosmos.ru

Наблюдения нейтронных звёзд в одиночных и двойных системах на крупных телескопах и космических обсерваториях

Ю. А. Шибанов*, В. Ю. Абрамкин, Д. А. Зюзин, А. В. Карпова, А. Ю. Потехин, А. С. Танашкин

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Будет представлено обзор многолетних наблюдений неаккрецирующих нейтронных звёзд в одиночных и тесных двойных системах. Наблюдения выполняются группой исследователей из ФТИ им. А.Ф. Иоффе с помощью больших наземных телескопов и космических обсерваторий параметры исследуемых звёзд, включая их массы и радиусы, что важно для нахождения оптимального, ультрафиолетового и рентгеновского диапазонов. Получены новые ограничения на инерции на уровне состояния вещества сверхъядерной плотности в ядре нейтронных звёзд.

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

Содержание

Программа конференции

Тезисы докладов

8	М. Д. Афонина, С. Б. Попов, А. В. Вирюков. Магнитовращательная эволюция одиночных нейтронных звёзд
8	Д. А. Байко. Об избыточной энтропии и скрытой теплоте в кристаллизующихся белых карликах
9	М. В. Барков. Вспышки радиовсплески
9	Д. П. Барсков, И. К. Морозов, А. Н. Попов. Влияние мелкомасштабного поля на нагрев пояркой шапки радионейтронных звёзд
10	В. С. Бескин. Три старых вопроса про радионейтронные звёзды
10	Н. Г. Бескровная, Н. Р. Исканов. Альтернативный сценарий негипотезной эволюции периферии рентгеновского пульсара J1626–67
11	А. В. Вирюков, Г. М. Бескин. Зависимость наблюдения замедления одиночных радиопулсаров от магнитного угла
12	С. И. Вигинников. Вторичные максимумы потока сверхновых из-за перемещенности пульсарной накачки и по другим причинам
13	А. В. Бобкова, А. В. Карпова, Д. А. Зюзин, Ю. А. Шибанов, А. Ю. Кириченко, С. В. Жариков. Оптические спектроскопические наблюдения четырёх компаньонов миллисекундных пульсаров
13	Е. А. Брылякова, С. А. Тюльбашев, М. А. Китаева, В. С. Тюльбашев, Поиск вращающихся радиотранзистентов на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц
14	А. С. Винокуров, К. Е. Аташян. Исследование ультраяркого рентгеновского источника VII Zw 403 ULX в рентгеновском и оптическом диапазонах
15	М. А. Тарасёв, Е. В. Дершиев, В. Л. В. Кочаровский. Формирование циклотронных линий и кинетическая неустойчивость в плазме в атмосферных нейтронных звёздах
15	М. В. Глушихина, Г. С. Бисноватый-Коран. Неглинейный эффект Холла в пилларе
16	О. А. Голгичиц, М. Е. Лукаков. Диффузия в сверхтекучих ферми-жидкостных смесях
16	М. И. Горностаев. Термализация рентгеновского излучения в водородных атмосферных нейтронных звёздах
17	С. А. Гребнев, С. Ю. Жуков, А. В. Худов. Выход излучения ультраярких рентгеновских пульсаров из оболочки, отскакивающей от сверхкритического аккреционного диска
18	Е. В. Дершиев. Последующее гамма-всплесков: новые наблюдения и согласованная модель магнитосферной ударной волны
19	Н. А. Земляков, Н. Н. Шечилин, А. И. Чулунов, М. Е. Лукаков. Магнития нейтронных звёзд: что предсказывают распринципный метод Томаса-Ферми и скимаская капиллярная модель?
20	Н. А. Земляков, А. И. Чулунов. Влияние конечных размеров нуклонных кластеров на ультрамягкую энтропийную кору и магнития нейтронных звёзд
21	Д. А. Зюзин, А. В. Карпова, Ю. А. Шибанов, С. В. Жариков, А. Ю. Кириченко. Оптические наблюдения двойных систем J1838.2+3233 и PSR J1622–0315
21	И. Л. Иосифовский, В. К. Грязнов. Аномальная термодинамика энтропийных фазовых переходов
22	А. Ю. Истомина, В. С. Бескин, П. Е. Литвинов. Линия смерти радионейтронных звёзд – «долина смерти»
23	Н. Р. Исканов, В. Ю. Кям, Н. Г. Бескровная. Темп раскрутки аккреционных пульсаров
24	А. Д. Каминкер, А. Ю. Потехин, Д. Г. Яковлев. Внешняя кора нейтронных звёзд как резервуар энергии и регулятор её распространения
25	П. Е. Капартин, С. В. Сушков. Нейтронные звёзды в теории релятивистской нелинейной производной связью скалярного поля и тензора Эйнштейна
26	М. А. Китаева, С. А. Тюльбашев, И. В. Чашей. Влияние межпланетной плазмы на поиск импульсных дисперсионных сигналов
27	Ф. А. Князев, В. С. Бескин, А. Ю. Истомина, А. Г. Михайленко. О природе трёхторных профилей пульсаров
28	

Ю. А. Ковалев. Эффект Джозефсона в нейтронных звёздах как ключ к физике быстрых радиовсплесков (BPV, FRB) и пульсаров	29
Е. Э. Коломейцев, Д. Н. Воскресенский. Уравнения состояния ядерного вещества. Само-согласованные подходы	30
С. А. Корягин. Токовый слой как оптимальный синхротронный мазер на радиопульсаре	31
Вл. В. Кочаровский, В. В. Вдовин, А. С. Гаврилов, Е. Р. Кочаровская, С. В. Логвиенко, Е. М. Лоскутов, В. М. Малофеев. Корреляционный анализ динамического спектра радиопульсара B0329+54 методом периодических главных компонент: Определение частотного периода, фазы и дрейфа фарадеевского вращения девяти компонент импульса и структура источника излучения	32
К. Ю. Краав, М. Е. Гусаков, Е. М. Кантор. Окна неустойчивости релятивистских r -мод	33
Н. И. Крамарев, А. В. Юдин. Учёт раскрутки массивного компонента в модели обдирания нейтронных звёзд для коротких гамма-всплесков	33
А. В. Кузин, Г. В. Липунова, Д. Д. Лисицин. Структура аккреционных дисков вокруг нейтронных звёзд	34
К. П. Левенфиш, Г. А. Пономарёв, А. Е. Петров, С. С. Фатеева, А. Н. Фурсов. Природа двойного тора и прочих рентгеновских структур пульсарной туманности в созвездии Парусов (Vela)	34
Г. В. Липунова. Модели сверхкритической аккреции на замагниченные нейтронные звёзды	35
Д. Д. Лисицин, Н. И. Шакура. Эффекты перестановочной неустойчивости при дисковой аккреции на замагниченные нейтронные звёзды	35
А. А. Лутовинов. Аккрецирующие нейтронные звёзды по наблюдениям СРГ	36
И. Ф. Малов, З. В. Кенько. Эволюция углов между осью вращения и магнитным моментом в радиопулсарах	36
В. М. Малофеев, Т. В. Смирнова, С. А. Тюльбашев, М. А. Китаева. Новый метод измерения дрейфа субимпульсов пульсаров	37
И. Д. Маркозов, А. Ю. Потехин, А. Д. Каминкер. Гидродинамическое моделирование структуры аккреционной колонки рентгеновского пульсара с учётом резонансного рассеяния	37
А. А. Матевосян, Д. П. Барсуков. Влияние искривления пространства на момент инерции магнитного поля радиопулсара	38
С. А. Михеев, Д. Е. Ланской, А. И. Насакин, С. В. Сидоров, Т. Ю. Третьякова. Влияние особенностей гиперон-нуклонного взаимодействия на характеристики нейтронных звёзд	38
С. Г. Моисеенко, Г. С. Бисноватый-Коган. Магниторотационный механизм вспышек сверхновых	39
С. В. Мильков, А. А. Лутовинов, В. А. Арефьев, А. Ю. Ткаченко. Наблюдение рентгеновских миллисекундных пульсаров телескопом ART-XC обсерватории СРГ	39
Д. И. Нагирнер, Д. Туричина. Однофотонные процессы в сильном магнитном поле	40
А. В. Нестеренок. Прохождение гамма-всплеска через молекулярное облако	40
Д. Д. Оффенгейм, П. С. Штернин, Ц. Пиран. Свойства самоподобия уравнений состояния и кривых масса–радиус нейтронных звёзд	41
Д. Д. Оффенгейм, М. Е. Гусаков, А. Ю. Потехин. Диссипация магнитного поля в ядрах нейтронных звёзд с мюонами	42
И. В. Панов. Проблемы нуклеосинтеза тяжёлых элементов и килоновые	43
Г. А. Переверзев, А. В. Бирюков. Оценка параметров эволюции магнитного поля радиопулсаров с учётом эволюции магнитного угла	44
А. Е. Петров, К. П. Левенфиш, Г. А. Пономарёв. Реверберация торов двухторовой рентгеновской пульсарной туманности в созвездии Парусов	45
Г. А. Пономарёв, К. П. Левенфиш, А. Е. Петров. Джет пульсарной туманности как индикатор движения пульсара относительно среды	45
С. Б. Попов. Эволюция магнитного поля нейтронных звёзд	46
Н. К. Порайко и Европейская пульсарная сеть. Последние результаты в области детектирования гравитационно-волнового фона с помощью метода пульсарных сетей	46
В. А. Потапов, С. А. Андрианов, А. В. Фраерман. Исследование квазипериодических вариаций МШИ пульсаров B0329+54 и B1642–03. Анализ гипотез о планетной системе и медленных глитчах	47

Источник X5 в шаровом скоплении 47 Тукана: HOFNAR или qLMXB?

А. И. Чугунов^{1*}, Д. А. Зюзин¹, А. В. Карпова¹, А. Ю. Кириченко^{1,2}, М. Е. Гусаков¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

²Instituto de Astronomía, UNAM, Мехико, Мексика

В 2014 году нами была высказана гипотеза, что в результате эволюции маломассивных рентгеновских двойных (LMXB) могут рождаться не только миллисекундные пульсары, но и нейтронные звёзды нового класса – HOFNAR (от Hot and Fast Non-Accreting Rotators). Последнее должно происходить когда раскрутка нейтронной звезды аккрецией привела к возникновению неустойчивости g -мод колебаний. Эта неустойчивость связана с излучением гравитационных волн, тормозящих вращение звезды столь эффективно, что часть выделяющейся вращательной энергии идёт на раскачку колебаний и, в конечном счёте, превращается в тепло за счёт диссипации. Так как запас вращательной энергии очень велик, этот механизм может длительное время (до сотен миллионов лет) поддерживать звезду горячей даже после прекращения аккреции. При анализе имевшейся в 2014 году литературы было выделено несколько источников-кандидатов в HOFNAR, среди которых наиболее перспективным представлялся рентгеновский источник X5 в шаровом скоплении 47 Тукана: он ни разу не наблюдался в состоянии активной аккреции, а его рентгеновский спектр хорошо описывается тепловой моделью немагнитной водородной атмосферы нейтронной звезды. Альтернативным объяснением этого источника может быть то, что он является LMXB системой в спокойном состоянии (qLMXB), т.е. высокая температура нейтронной звезды связана с транзитной аккрецией с компаньона, однако по случайным обстоятельствам в эпоху рентгеновской астрономии не наблюдалось ни одного эпизода аккреции. В рамках этой гипотезы компаньон X5 должен заполнять полость Роша. Чтобы выснить, какое из объяснений является наиболее правдоподобным, мы провели анализ имеющихся в настоящий момент архивных наблюдений X5. Это позволило отождествить компаньона X5 в оптическом и инфракрасном диапазонах и определить потоки в 8 фильтрах. По спектру были определены его температура $T_{\text{eff}} = 4540 \pm 50$ К и радиус $R = 0.41 \pm 0.02 R_{\odot}$. Указанный радиус хорошо согласуется с продолжительностью рентгеновских затмений. С учётом орбитального периода (8.67 ч), компаньон может заполнять полость Роша только при массе $< 0.1 M_{\odot}$. Мы проанализировали недавно опубликованную базу данных по моделям аккрецирующих двойных систем [1] и не обнаружили в ней ни одного эволюционного трека, ведущего к образованию системы, согласующейся с наблюдаемыми параметрами X5 при сколько-нибудь существенном темпе аккреции. Это свидетельствует в пользу интерпретации источника X5 в шаровом скоплении 47 Тукана как объекта HOFNAR, однако эволюция двойных систем в шаровых скоплениях может быть более сложной, и мы пока не можем полностью исключить интерпретацию данного источника как qLMXB. Работа поддержана грантом Российского научного фонда 22-12-00048.

Список литературы

- [1] C. S. Mangat, N. Ivanova, K. Van, Astron. Comput. 42, 100681 (2023)

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

Аномалия равновесного профиля протрансферного заряда как специфическое проявление фазовых переходов в моделированной модели однокомпонентной плазмы

А. Ю. Чигвинцев^{1,2*}, Л. Ю. Ногимова³, И. Г. Зорина⁴

¹МФТИ
²ОИЯИ РАН
³НИТУ МИСИС
⁴МЛТУ им. Н.Э. Баумана

В работе обсуждается возможность появления разрывов в резонансах расщепления равновесных профилей протрансферного заряда в окрестности источника нелинейного фазовых переходов и иных (так-расматриваются как сформированное проявление фазовых переходов и иных (так-равновесных) эффектов корреляции зарядов («нелинейности»); содержательность в локальном уровне состояния, которое используется для описания нелинейной азимметричной и/или ионной подсистемы в рамках приближения квазиоднородности («локальной плотности») [2]. Особое внимание в данной работе уделено возможности специфического проявления упомянутых выше эффектов нелинейности в изучаемых равновесных профилях зарядов в виде ультрадисперсной дивергентной («смешанной фазы»). Представленный обзор является актуальным исследованием астрофизических приложений, а является достаточно общим свойством расщепленных схем, используемых для описания равновесных неоднородных кyuоновских систем [3].

Список литературы

[1] И. Г. Иосилевский, А. Ю. Чигвинцев, Л. Ю. Ногимова, И. Г. Зорина, Теплофизика выс. темп. 59, 836 (2021)

[2] И. Г. Иосилевский, Теплофизика выс. темп., 23, 1041 (1985)

[3] А. Ур. Chigvinsev, I. L. Losilievsky, I. G. Zorina, L. Yu. Nogimova, J. Phys. Conf. Ser., 946, 012092 (2018)

*E-mail: alex012008@gmail.com

Фундаментальные свойства коры нейтронных звезд

А. И. Чулунов*

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

В докладе дан краткий обзор моделей, применяемых для описания свойств коры нейтронных звезд: уравнения состояния, термодинамики, элементов кинетики и теории турбулентности. Особое внимание уделено простым, физически прозрачным моделям ионной сферы, а также сжиженной каплевой модели. Несмотря на свою простоту, они позволяют получать весьма точное описание свойств коры. Рассмотрена кора как изолированная, так и аккрецирующая нейтронных звезд. Работа поддержана Российским научным фондом (грант 22-12-00048).

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

М. С. Ширков, С. В. Попов, П. Г. Тиняков. Нейтронные звезды и астрофизика частиц. А. В. Рудая, Д. Д. Фредрикс, Д. С. Свинкин, А. Л. Писенко, А. Е. Цветкова, М. В. Уланов. Жесткое электродинамическое взаимодействие, связанное с быстрыми радиовсплесками, по данным эксперимента Комп-Wind 49

Д. А. Румянцев, Т. А. Пухов, М. В. Чистяков. Влияние внешней активной среды на процесс двойного комptonовского рассеяния 49

Е. В. Рыбаева, А. Ф. Холтыгин. Возможное нетепловое рентгеновское излучение звезды HD 110432 50

А. Салтаник, С. С. Пытанков, В. Дорощенко, С. В. Молыков, А. А. Лутовников, А. А. Мухоморов, Ю. Поугтанен. RX J0440.9+4431: сверхкритический рентгеновский пульсар 51

М. Н. Сатбагдильев, И. А. Мереминский, А. А. Лутовников, Д. И Карасев. Секретыный и временной анализ быстрого рентгеновского транзита IGR J16195–4945 по данным наблюдений CP1/ART-XC 52

Д. С. Свинкин, Д. Д. Фредрикс. Лигантские всплески магнетаров в близких галактиках Т. В. Смирнова, М. О. Торопов, С. А. Тюльбашев, В. А. Самодуров. Исследование перемности излучения пульсара B0823+26 от секунды до нескольких лет 53

Д. Н. Собынин. Сверхкритический радиопульсар со сверхсильным магнитным полем 53

В. Ф. Сулейманов. Массы и радиусы нейтронных звезд по данным наблюдений 54

Д. А. Тельих, В. М. Матюшев, О. И. Матов, М. А. Тимирязева, И. Ф. Матов. Обнаружение радионизлучения от Гелия-подобного гамма-пульсара J1836+5925 54

М. А. Тимирязева, И. Ф. Матов. Угол между магнитным моментом и осью вращения 54

С. Ю. Аваров, А. М. Рыков. Исследование влияния неоднородностей магнитного поля на спектры излучения гамма-всплеска 59

С. С. Фатеева, Г. А. Пономарев, К. П. Левенфит, А. Е. Петров, А. Н. Фурсов. Ударно-волновое «начало» подвстреленного джета дивергентных пульсарных туманностей 59

А. Н. Фурсов, Г. А. Пономарев, К. П. Левенфит, А. Е. Петров, С. С. Фатеева. Рентгеновские узлы в пульсарной туманности в созвездии Парусов: неочевидные плазменные 60

А. Д. Хохлаева, А. И. Чулунов, С. В. Попов, М. Е. Гуцаков, Е. М. Кантор. Возможность наблюдений на SRG/eROSITA 60

С. С. Пытанков. Полированное излучение рентгеновских пульсаров по данным обсерватории IXPE 61

В. Д. Чернов, В. И. Пурис, Д. С. Заторюга, В. С. Беккин. К морфологии средних профилей ортогональных инерциальных пульсаров 61

А. Ю. Чигвинцев, И. Г. Иосилевский, Л. Ю. Ногимова, И. Г. Зорина. Аномалии равновесного профиля протрансферного заряда как специфическое проявление фазовых переходов в моделированной модели однокомпонентной плазмы 62

А. И. Чулунов. Фундаментальные свойства коры нейтронных звезд 62

Х5 в шаровом скоплении 47 Тукана: НОРНАР или QLMXB? 63

Е. М. Чулунов. Динамика остатков всплеска сверхновых 64

Ю. А. Шибанов, В. Ю. Абрамкин, Д. А. Зюзин, А. В. Карпова, А. Ю. Петехкин, А. С. Тапалеккопакх и космологических обсерваториях 64

П. С. Штернин, Д. Д. Оффенберг, С. О. Нейнке, W. C. G. Ho. Острые нейтронные звезды в остатке сверхновой Кассиопея А по данным наблюдений Шандра во всех режимах наблюдений 65

А. В. Юдин. Гамма-всплески в модели обдувания двойных нейтронных звезд 65

ПРОГРАММА

Значком † отмечены докладчики, выступающие удалённо по видеосвязи.

10 июля, понедельник

- 09:15 Регистрация
 10:15 Открытие конференции
 10:25 А.А. Лутовинов. Аккрецирующие нейтронные звёзды по наблюдениям СРГ
 11:05 С.В. Мольков. Наблюдение рентгеновских миллисекундных пульсаров телескопом ART-XC обсерватории СРГ
 11:30 Перерыв на кофе
 12:00 Е.М. Чуразов.† Диагностика газа в гало Галактики остатками вспышек сверхновых
 12:40 Д.И. Нагирнер. Однофотонные процессы в сильном магнитном поле
 13:05 И.Д. Маркозов. Гидродинамическое моделирование структуры аккреционной колонки рентгеновского пульсара с учётом резонансного рассеяния
 13:30 ОБЕД
 15:00 Г.В. Лицунова.† Модели сверхкритической аккреции на замагниченные нейтронные звёзды
 15:40 А.В. Кузин. Структура аккреционных дисков вокруг нейтронных звёзд
 16:05 Д.Д. Лисицин. Эффекты перестановочной неустойчивости при дисковой аккреции на замагниченные нейтронные звёзды
 16:30 Перерыв на кофе
 17:00 А. Салганик. RX J0440.9+4431: сверхкритический рентгеновский пульсар
 17:25 Е.В. Деришев. Послесвечение гамма-всплесков: новые наблюдения и согласованная модель релятивистской ударной волны
 18:05 А.В. Нестеренко. Прохождение гамма-всплеска через молекулярное облако
 18:30 Окончание 1-го дня заседаний

Поляризованное излучение рентгеновских пульсаров по данным обсерватории *IXPE*

С. С. Цыганков^{1,2*}

¹Университет Турку, Финляндия

²ИКИ РАН

Представлен обзор результатов наблюдений рентгеновских пульсаров по данным первой специализированной поляризметрической обсерватории в рентгеновском диапазоне энергий – *IXPE* (Imaging X-ray Polarimetry Explorer). В течение полутора лет работы на орбите обсерватория *IXPE* провела наблюдения девяти объектов данного класса. Во всех исследованных источниках измеренное значение степени поляризации находится в пределах 20%, что значительно меньше теоретически предсказываемых величин. В большинстве пульсаров удалось детально исследовать вариации степени поляризации и поляризационного угла как функцию фазы вращения нейтронной звезды, что позволило, в свою очередь, определить геометрические параметры системы. В докладе также обсуждаются физические механизмы, потенциально способные объяснить относительно низкую степень поляризации в рентгеновских пульсарах.

*E-mail: stszyganov@gmail.com

К морфологии средних профилей ортогональных интеримпульсных пульсаров

В. Д. Черносос^{1*}, В. И. Цуркис¹, Д. С. Загоруля¹, В. С. Бескин^{1,2}

¹МФТИ

²ФИАН

Ортогональные интеримпульсные пульсары благодаря возможности более точного определения их параметров (угла наклона магнитной оси к оси вращения, ориентации наблюдателя) позволяют получать уникальную информацию как о механизме излучения, так и о форме их средних профилей. В качестве первого шага в нашей работе в вакуумном приближении была уточнена структура электрического потенциала над полярными шапками. Справедливость такого подхода связана с результатами численного моделирования, которые показали, что процесс генерации вторичных частиц является нестационарным, и в определённые моменты времени плазма полностью покидает область генерации. Важным новым элементом здесь является учёт неосесимметричности задачи. Далее численно решались уравнения движения первичных заряженных частиц в заданном электрическом потенциале, что позволило определить двумерное распределение плотности вторичной плазмы на открытых силовых линиях. При этом были учтены и эффекты общей теории относительности. Предполагая, что интенсивность наблюдаемого радиоизлучения определяется плотностью истекающей плазмы, были построены модельные средние профили для восьми ортогональных интеримпульсных пульсаров, параметры которых были взяты из работы [1]. Выполнено сравнение этих профилей с наблюдениями.

Список литературы

- [1] S. Johnston, M. Kramer, Mon. Not. R. Astron. Soc., 490, 4565 (2019)

*E-mail: chernosov.w@gmail.com

Рентгеновские звезды в пульсарной туманности Парусов:

печочка гигантских плазмойдов?

А. Н. Фурсов^{1,2*}, Г. А. Пономарев^{1,2}, К. П. Левенфиш¹, А. Е. Петров¹, С. С. Фатеева²

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

²СПбГУ Петра Великого

Джет-тоновые пульсарные туманности имеют сложное строение, что отражается в большом разнообразии наблюдаемых у них рентгеновских струй (супер, колд, джет, апок, джетов, пого-сок, звезд и др.). Современные религионистские магнитогидродинамические модели туманностей

успешно объясняют их обдувание джет-товыми морфологиями, однако приоду более мелких религе-

новских струй – таких, как звезды на «внутреннем кольце» одноторовой струйной в Кра-

бовинной туманности или звезды в окрестности юго-восточного джета двухторовой пульсарной

туманности в созвездии Парусов (Vela), — еще предстоит выяснить. Недавно звезды в Крабовид-

ной туманности были истолкованы как гигантские плазмойды в токовом слое туманности сразу за

фронтом ударной волны торможения пульсарного ветра. В рамках численной релативистской маг-

нитогидродинамической модели мы показываем, что в двухторовых объектах типа Vela условия

для магнитного прересечения и образования гигантских плазмойдов реализуются на периферии

туманности, а не в окрестности ударной волны торможения. Согласно нашей модели, пеночка плаз-

мной в двухторовой туманности может выстреливаться в два разовых колд-

же, что ковенно подтверждается рентгеновскими наблюдениями пульсарной туманности Vela.

Численное моделирование туманности выполнено А.Л. и А.Ф. при поддержке гранта

РНФ 21-72-20020. Анализ и интерпретация численных и наблюдательных данных выполнены К.Л.

и П.Л. в рамках базового проекта ФТИ 0040-2019-0025.

*E-mail: fursov.an@edu.spsb.ru

Возможность наблюдения HOFNARs на SRC/eROSITA

А. Д. Хохрякова^{1*}, А. И. Чулунов², С. Б. Попов^{3,4}, М. Е. Лукаков², Е. М. Кантов²

¹МФЕ, Гархинг, Германия

²ФТИ им. А. Ф. Иоффе

³ИГЭР, Триест, Италия

⁴ГРИШ МГУ

Нейтронные звезды могут проявляться как источники различной природы. В данной работе

мы исследуем возможность наблюдения типичного класса горячих быстровращающихся-

ся неаккрецирующих нейтронных звезд HOFNARs (сокращение от Hot and Fast Non-Accreting

Rotators). Такие объекты могут формироваться в маломасштабных рентгеновских системах

и нагреваться из-за неустойчивости г-мод колебаний. При поверхностных температурах порядка

10^6 К ожидается, что они будут испускать мягкое рентгеновское излучение. Мы провели

популяционный синтез HOFNARs для прогнозирования числа потенциально наблюдаемых исто-

нников в обзор всего неба eROSITA. Для поверхностных температур порядка 10^6 К мы получили

около 500 источников с темпом счета фотонов, превышающим предел обнаружения 0.01 отс./с, и

около 100 источников, которые легче идентифицировать с темпом счета фотонов > 0.1 отс./с. Мо-

дели с температурой ROSAT. Только для $T \lesssim 5 \times 10^6$ К предсказанное число наблюдаемых HOFNARs для

eROSITA оказывается настолько низким, что их идентификация представляется невозможной. Та-

ким образом, мы ожидаем, что у прибора eROSITA есть хорошие шансы обнаружить HOFNARs,

если они существуют. Отсутствуют обнаружения будут накладывать очень жесткие ограничения на

свойства этого типа нейтронных звезд.

*E-mail: akenahohryakova@gmail.com

11 июля, вторник

10:00	Ю.А. Шибанов. Наблюдения нейтронных звезд в одиночных и двойных системах на крупных телескопах и космических обсерваториях
10:40	Д.А. Зюзин. Оптическое наблюдение двойных систем 4FGL J1838.2+3233 и PSR J1622-0315
11:05	Е.Б. Рысаева. Возможное нетепловое рентгеновское излучение звезды HD 110432
11:30	Первая на кофе
12:00	В.Ф. Сугейманов. Массы и радиусы нейтронных звезд по данным наблюдений
12:40	Д.Н. Собынин. Сверхмелколучный радиопульсар со сверхшироким магнитным полем
13:05	Н.Р. Иксанов. Темп раскрутки аккреционных пульсаров
13:30	ОБЕД
15:00	М.В. Барков. Быстрые радиовсплески
15:40	А.В. Ридная. Жесткое элекромагнитное излучение, связанное с быстрой радиовсплесками, по данным эксперимента Komp-Window
16:05	Д.С. Свинкина. Гигантские всплески магнитаров в близких галактиках
16:30	С.Г. Моисенко. Магнитоторсионный механизм всплесков сверхновых
17:10	Окончание устных докладов. Обсуждение стендовых докладов.

12 июля, среда

10:00	Е.Э. Коломейцев. Уравнения состояния нейтронных звезд
10:40	С.А. Михеев. Влияние особенностей гинерон-нуклонного взаимодействия на характеристики нейтронных звезд
11:05	Д.Д. Оффенбейм. Свойства самоподобия уравнений состояния и кривых масса-радиус нейтронных звезд
11:30	Первая на кофе
12:00	С.И. Блинников. Вторичные максимумы потока сверхновых из-за пере-
12:25	А.В. Юдин. Гамма-всплески в модели обдувания двойных нейтронных звезд
13:05	Н.И. Крамарев. Учет раскрутки массивного компонента в модели обдувания нейтронных звезд
13:30	ОБЕД
15:00	И.В. Панов. Проблемы нуклеосинтеза тяжелых элементов и килоновые
15:40	С.А. Гребенев. Выход излучения ультраярких рентгеновских пульсаров из оболочки, оттекающей от сверхкритического аккреционного диска
16:05	А.С. Винокуров. Исследование ультраяркого рентгеновского источника VII Zw 403 ULX в рентгеновском и оптическом диапазонах
16:30	Первая на кофе
17:00	С.С. Цыганков. Полиризованное излучение рентгеновских пульсаров по данным обсерватории IXPE
17:40	А.Д. Хохрякова. Возможность наблюдения HOFNARs на SRC/eROSITA
18:05	Окончание 3-го дня заседаний

13 июля, четверг

- 10:00 М.С. Пширков. Нейтронные звёзды и астрофизика частиц
 10:40 Д.А. Теплых. Обнаружение радиоизлучения от Геминга-подобного гамма-пульсара J1836+5925
 11:05 В.М. Малофеев. Новый метод измерения дрейфа субимпульсов пульсаров
 11:30 Перерыв на кофе
 12:00 С.А. Трушкин. Радиосвойства нейтронных звёзд в рентгеновских двойных системах. Радиопульсары и магнитары
 12:40 С.А. Тюльбашев. Поиск пульсаров на склонениях от -9° до $+55^\circ$
 13:05 Вл.В. Кочаровский. Корреляционный анализ динамического спектра радиопульсара PSR B0329+54 методом периодических главных компонент: Определение частотного периода, фазы и дрейфа фарадеевского вращения девяти компонент импульса и структура источника излучения
 13:30 ОБЕД
 15:00 Т.В. Смирнова. Исследование переменности излучения пульсара B0823+26 от секунд до нескольких лет
 15:25 В.А. Потанов. Исследование квазипериодических вариаций МПИ пульсаров B0329+54 и B1642-03. Анализ гипотез о планетной системе и медленных глитчах
 15:50 В.С. Бескин. Три старых вопроса про радиопульсары
 16:30 Перерыв на кофе
 17:00 А.В. Бирюков. Зависимость наблюдаемого замедления одиночных радиопульсаров от магнитного угла
 17:25 И.Ф. Малов. Эволюция углов между осью вращения и магнитным моментом в радиопульсарах
 17:50 М.А. Тимиркеева. Углы между магнитным моментом и осью вращения. Структура магнитосферы пульсаров
 18:15 Окончание 4-го дня заседаний
 19:00 БАНКЕТ

Исследование влияния неоднородностей магнитного поля на спектр излучения гамма-всплеска

Ю. А. Уваров*, А. М. Быков

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Гамма-всплески представляют собой явления быстрого энерговыделения огромной мощности, связанного с коллапсом или слиянием звёзд. В результате внутренних процессов в них формируются популяции нетепловых ускоренных частиц, излучающих в широком диапазоне энергий. Ряд наблюдений показал, что от некоторых гамма-всплесков регистрируются фотоны с энергиями вплоть до десятков ТэВ. Однако из-за больших энергетических потерь излучающих частиц, объяснение такого высокоэнергичного излучения в рамках стандартных механизмов излучения сталкивается с большими трудностями. В данной работе на основе модели адиабатического расширения для фазы послесвечения всплеска исследуется влияние неоднородностей магнитного поля на спектры в рамках синхротронного механизма излучения электронов и протонов, с учётом эффектов комптоновского рассеяния синхротронных фотонов. Показано, что эффект неоднородности магнитного поля может увеличить максимальные энергии синхротронного излучения электронов и протонов в несколько раз, не влияя на максимальные энергии комптоновских фотонов, формирующихся в режиме Клейна-Нишины. Обсуждается также возможное влияние данного эффекта на формирование спектров излучения на более ранней стадии эволюции гамма-всплеска и его совместный учёт с другими механизмами излучения. Работа Ю. А. Уварова выполнена при поддержке гранта РФФ 21-12-00250.

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

Ударно-волновое «начало» подветренного джета двухторовых пульсарных туманностей

С. С. Фатеева^{2*}, Г. А. Пономарёв^{1,2}, К. П. Левенфиш¹, А. Е. Петров¹, А. Н. Фурсов^{1,2}¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе²СПбПУ Петра Великого

Движение пульсара относительно внешней среды может способствовать формированию у него двухторовой рентгеновской туманности. Мы показываем, что для подветренного джета такой туманности могут быть характерны строение из трёх частей и наличие узкой поперечной рентгеновской полоски в начале яркой средней части. Полоска, вероятно, имеет ударно-волновое происхождение; эта ударная волна отличается от прочих ударных волн в джете тем, что она особо сильна, квазистационарна, и выходит за тело джета. Наша численная магнитогидродинамическая модель туманности позволяет выявить, какие плазменные течения в подветренной полусфере туманности отвечают за формирование ударной волны. Модель способна реалистично воспроизвести рентгеновскую морфологию двухторовой пульсарной туманности в созвездии Парусов (Vela), включая поперечную рентгеновскую полоску, из которой будто бы возникает её юго-восточный (подветренный) джет. Фотонный индекс полоски в туманности Vela (≈ 1.6) близок к таковому для синхротронного излучения электронов, ускоренных на сильной ударной волне, что говорит в пользу предложенной нами интерпретации этой рентгеновской особенности. Анализ и интерпретация численных и наблюдательных данных выполнены К.Л. и Г.П., поддержанными базовым проектом ФТИ 0040-2019-0025.

*E-mail: fateeva.ss@edu.spbstu.ru

Поиск пульсаров на склонециях от -9° до $+5^\circ$

С. А. Тюльбашев¹, Г. Э. Тюльбашева², М. А. Китаева¹, И. Л. Овчинников³,
В. В. Орешко¹, С. В. Логвиненко¹

¹ ПРАО АКЦ ФИАН

² ИМФ РАН

³ ИИИФ МГУ

При поиске пульсаров одинаково важны как обеспечение высокой чувствительности телескопа за счёт его высокой эффективности поглощения приёмом, длительная сеансовая наблюдений, так и применение новых методов обработки наблюдений. В 2012 году была закончена модернизация радиоастрономического центра ФИАН. На основе одного антенного поля, состоящего из 1688 дипольных элементов, созданы два независимых радиотелескопа. Поиск пульсаров проводится на радиотелескопе БСА3, имеющем 128 неравновесных лучей, перекрывающих склонеция от -9° до $+5^\circ$ с углом зрения около 50 кв. градусов. Эффективная площадь БСА3 составляет 47000 м², что делает его одним из самых больших в мире телескопов, работающих в метровом диапазоне длин волн. Входной поток данных после оцифровки сигнала, примерно 22 Тб в секунду, превращается в выходной поток (на записи) 4,65 Тб в час и 40 Тб в год. На настоящий момент записи наблюдений идёт круглосуточно, ежедневно около 3000 дней. Обработка накопленных данных проводится параллельно в 128 потоках на двух серверах. Поиск пульсаров проводится с помощью спектров мощности, полученных за каждую наблюдательную сессию. Для каждого направления на небе, а их больше 10000, ежедневно создаётся 1500 спектров мощности. При суммировании спектров за разные сессии увеличивается отношение сигнала к шуму (S/N) для гармоник, соответствующих периоду пульсара, если пульсар не отвечает мощности. Для суммирования спектров за разные сессии используется метод Фурье-преобразования. В 2022 году была опубликована работа, рассматривающая новый способ представления спектров мощности [2]. Все спектры (для всех перебираемых мер дисперсии DM и периода P), соответствующие одному направлению на небе, представляются на одном рисунке (карте P/DM). На этой карте по вертикальной шкале откладывается мера дисперсии DM, а по горизонтальной шкале – период пульсара P. Для представления спектров задается нижняя граница $S/N > 4$, показывается на карте кружками равного размера. Размер кружка зависит от S/N гармоник. Детектируемые пульсары видны на рисунке как набор вертикальных отрезков, где первый отрезок соответствует периоду пульсара (первая гармоника), второй – гармоникам высших порядков (вторые, третьи, четвертые гармоника) и т.д. Линия, проходящая через середины отрезков, указывает на DM пульсара. Таким образом, в проводимых обзорных исследованиях используется радиотелескоп БСА ФИАН, и увеличение чувствительности с помощью суммирования спектров мощности, и новый способ представления данных. Было открыто 44 секундных пульсара. Показано, что в плоскости $0,5 < P < 3$ с, $0 < DM < 100$ и $+42^\circ$ найдены все пульсары с регулярным излучением, имеющие $0,5 < P < 3$ с, $0 < DM < 100$ пк/см³ и спектральную плотность потока $S > 1$ мВн. Исследования проводятся при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (<https://tsct.ru/project/22-12-00236/>).

[1] В. И. Шишов, И. В. Чашев, В. В. Орешко и др., Астрон. журн., 93, 1045 (2016) [V. I. Shishov, I. V. Chashev, V. V. Oreshko, et al, Astron. Rep., 60, 1067 (2016)]

[2] S. A. Tyulbyshev, M. A. Kitaeva, G. E. Tyulbysheva, Mon. Not. R. Astron. Soc., 517, 1112 (2022)

Список литературы

Значком † отмечены доклады, выступавшие удалённо по видеосвязи.

17:50	Закрытие конференции
17:25	П. С. Штернин. Оставание нейтронной звезды в остатке сверхновой Касперовича. Анализ данных наблюдений Чандра во всех режимах наблюдений
17:00	Н. К. Пирайко. Последние результаты в области детектирования пульсаров на кофе
16:30	С. В. Попов. Эволюция магнитного поля нейтронных звезд и регулятор её распространения
15:50	А. Д. Каминкер. Внешняя кора нейтронных звезд как резервуар энергии и источник белых карликов
15:25	Д. А. Байко. Об избыточной энтропии и скрытой теплоте в кристаллической фазе
15:00	ОБЕД
13:30	переходов
13:05	И. Л. Овчинников. Аномальная термодинамика энтропийных фазовых переходов
12:40	Н. А. Земляков. Мантия нейтронных звезд: что предсказывают расчёты
12:00	А. И. Чулунов. Фундаментальные свойства коры нейтронных звезд
11:30	Перерыв на кофе
11:05	А. Е. Петров. Реверберация токов джухторовой рентгеновской туманности пульсара в созвездии Парусов
10:40	Г. А. Пономарёв. Джет пульсарной туманности в созвездии Парусов
10:15	К. П. Левенфиш. Природа двойного тора и прочих рентгеновских структур пульсарной туманности в созвездии Парусов

14 июля, пятница

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

(Подчёркиванием отмечены соавторы, представляющие доклад.)

Магнитовращательная эволюция одиночных нейтронных звёзд

М. Д. Афонина^{1*}, С. Б. Попов^{2,1}, А. В. Бирюков¹¹ГАИШ МГУ²ИСТР, Триест, Италия

Среди нейтронных звёзд, излучающих в рентгеновском диапазоне, до сих пор не известно ни одного представителя одиночных аккрецирующих нейтронных звёзд. Однако с помощью приборов спутника Спектр-РГ потенциально возможно обнаружение аккрецирующих одиночных нейтронных звёзд в качестве слабых источников рентгеновского излучения; поэтому задача изучения этой популяции объектов представляет интерес. Недавнее обнаружение двух долгопериодических источников радиоизлучения, пульсара PSR J0901–4046 [1] и GLEAM-X J162759.3–523504.3 (далее – GLEAM-X J1627) [2] с периодами 76 с и 1091 с соответственно, показало наличие популяции объектов – источников периодического радиоизлучения с большими периодами. Такие объекты имеют большой шанс в скором времени в ходе магнитовращательной эволюции стать представителями ещё не открытого класса объектов: одиночных аккрецирующих нейтронных звёзд. Так как эволюция нейтронных звёзд зависит от многих процессов и параметров, в нашей работе представлены исследования простой модели магнитовращательной эволюции одиночной нейтронной звезды с учётом явлений, которые могут оказать наибольшее влияние. Например, в начале своей эволюции нейтронная звезда может испытать короткий этап аккреции внутренних оболочек сверхновой (явление возвратной аккреции [3]), что может значительно изменить магнитное поле или период вращения. Эволюция нейтронной звезды во многом зависит от значения напряжённости магнитного поля, поэтому также важно рассмотрение различных моделей затухания поля. В нашей работе представлены результаты моделирования эволюции одиночной нейтронной звезды с учётом возвратной аккреции и разных моделей затухания магнитного поля. Рассмотрение эволюции долгопериодических радиоисточников PSR J0901–4046 и GLEAM-X J1627 показало, что время выхода этих объектов на стадию аккреции при реалистичных параметрах много меньше возраста Галактики.

Список литературы

- [1] K. Rajwade, B. Stappers, C. Williams, et al., Proceedings of the SPIE, 11447, 114470J (2020).
 [2] N. Hurley-Walker, X. Zhang, A. Bahramian, et al., Nature, 601, 526 (2022).
 [3] R. A. Chevalier, Astrophys. J., 346, 847 (1989).

*E-mail: afonina.md19@physics.msu.ru

Радиосвойства нейтронных звёзд в рентгеновских двойных системах.
Радиопульсары и магнитары

С. А. Трушкин*, Н. Н. Бурсов, П. Г. Цыбулев, Н. А. Нижельский, А. В. Шевченко

САО РАН

В последние годы нейтронные звёзды (НЗ) стали не менее популярны, чем чёрные дыры в объяснении недавно открытых космических радиоисточников. Это и таинственные быстрые радиовсплески (БРВ), совокупные свойства которых почти однозначно связывают их с НЗ с мощными магнитными полями – магнитарами; это и ультраяркие рентгеновские источники, среди которых обнаружены по крайней мере четыре НЗ, рентгеновские пульсары. Происхождение некоторых транзитных радиоисточников однозначно связано с НЗ в разных состояниях. Уже в нескольких рентгеновских двойных системах – микрокварах обнаружено пульсирующее радиоизлучение, однозначно указывающее на НЗ, как релятивистский компонент. Наконец, НЗ во всех их проявлениях (от одиночных радиопульсаров до событий слияния с чёрными дырами или другими НЗ) являются отличными источниками гравитационных волн, на которые возлагает особые надежды молодая гравитационно-волновая астрономия. Мы кратко обсудим свежие астрономические данные по НЗ, свойства и механизмы их излучения. В качестве примеров мы обсудим такие объекты как микрокварзы Cir X-1 и LSI+61d303, галактический и внегалактические БРВ и транзитные радиоисточники. На радиотелескопе РАТАН-600 с введением многоканальных приемников с высоким временным разрешением (до 60 микросекунд) стало возможным исследовать и радиовспышки магнитаров, и отдельные импульсы ярких радиопульсаров. Стоит особо отметить, что появилась возможность эффективно копить сигнал до одного часа. И многие годы ведётся мониторинг разного рода транзитных и вспыхивающих источников в см-дм диапазоне волн, часто именно в режиме внутрисуточных измерений до 5 часов.

*E-mail: satr@sao.ru

Начальное распределение магнитных углов классических радиопульсаров

Е. А. Токарева^{1,2,3,4}, А. В. Вирюков^{2,3,4}

¹НИИУ МИФИ

²ГАИШ МГУ

³Физический факультет НИУ ВШЭ

⁴Институт физики КФУ

Магнитный угол α_0 – угол между осью вращения и магнитным моментом нейтронной звезды. Теория предсказывает, что этот угол эволюционирует к меньшим значениям, заставляя магнитную ось становиться сонаправленной с осью вращения. В настоящее время работают различные методы начальных (на момент рождения) значений магнитных углов δ одиночных радиопульсаров. Для этих пульсаров известны наблюдаемые оценки текущих значений этих углов, а также кинематический возраст, полученный из наблюдаемой скорости движения пульсара в Галактике и предположения о локализации протрансформированной области его рождения. Кроме того, совместно оценивались начальная период P_0 пульсаров выборки. Предполагалось, что эволюция периода магнитного поля звезды, описывается моделью, следующую из рекуляторов численного магнитогидродинамического моделирования [1], которая была дополнена эволюцией величинных параметров распределения $d(\alpha)/d(\alpha) \sim \sin(\alpha_0)$, а распределение начальных периодов согласуется с уже имеющимися в литературе оценками. При этом, однако, качество исходных данных не позволяет обнаружить возможную корреляцию между α_0 и P_0 . Дополнительно в работе показывается, что приемлемая модель замещения совместно с данными о кинематических возрастах пульсаров требует сдвигать значения магнитных полей – менее чем на 1 порядок величины за 10–100 млн лет.

[1] A. Philippov, A. Tchekhovskoy, J. G. Li, Mon. Not. R. Astron. Soc., 441, 1879 (2014)

Список литературы

ИИИАСАН

М. В. Барков*

Быстрые радиовсплески

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

[1] D. A. Baiko, Mon. Not. R. Astron. Soc., 522, L26 (2023)

Список литературы

интерпретации данных об оствывании ВК [1].

В рамках приближения линейного смешивания рассчитано значение скрытой теплоты кристаллизации для полноты ионизированных смесей $^{12}\text{C}/^{16}\text{O}$ и $^{16}\text{O}/^{20}\text{Ne}$ в ядрах бетах карликов (БК). Для двух различных параметризаций популярно к энергиям линейного смешивания и с учетом квантовых эффектов ионов. Обнаружены замечательные отклонения энтропий от стандартного значения 0.77 на нон в обеих направлениях в зависимости от состава вещества. Тем же методом описывается избыточная энтропия и выделяемое тепло, сопровождающее процесс расщепления в затвердевших слоях ВК. Показано, что этот эффект важен для надежной интерпретации данных об остывании ВК [1].

Д. А. Байко*

Бетах карликах

Об избыточной энтропии и скрытой теплоте в кристаллизующихся

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Быстрые радио всплески (FRB) являются одними из самых загадочных явлений современной астрофизики. Недавние обновленные наблюдения FRB и релативистской вспышки от SGR 1935+2154 позволяют нам связать FRB с нейтронными звездами с очень сильными магнитными полями. Механизм излучения короткого (1 мс), но мощного (10^{42} эрг/с) импульса заключается в фронтальной ударной волне велик (10^{15} см). Такой спинарий позволяет смоделировать поведение нескольких километровых параметрических магнитных волн в месте образования и лорентц-фактору течения в излучающей области. Чтобы проверить работоспособность этой модели, мы изучаем статистическую связь между мощными магнитными всплесками и частотой FRB. Ожидаемое отклонение получено путем плотности магнитных всплесков от красного смещения, с функцией светимости их всплесков эволюционного периода, определяемого порогом обнаружения FRB. Мы получаем, что только небольшая часть ($\sim 10^{-5}$) мощных магнитных всплесков выделяет FRB. Это соотношение хорошо согласуется с нашими оценками: мы получаем, что 10% магнитных волн находятся в эволюционной фазе, подходящей для производства FRB, и только 10⁻⁴ всех всплесков попадают в замечательными (что является необходимым условием для излучения высокоэнергетического излучения). Также мы предлагаем новый механизм излучения быстрой радиовсплесков как следствие поглощения радиочастотного излучения в плотном звездном ветре нормальной массивной звезды, входящей в двойную систему.

Влияние мелкомасштабного поля на нагрев полярной шапки радиопульсара J0901–4046

Д. П. Барсуков*, И. К. Морозов, А. Н. Попов

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Рассматривается влияние мелкомасштабного магнитного поля на нагрев полярной шапки пульсара J0901–4046 обратным током позитронов. Показано, что при некоторых конфигурациях мелкомасштабного поля светимость его полярной шапки может достигать 10^{25} эрг/с.

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

Три старых вопроса про радиопульсары

В. С. Бескин^{1,2,3*}

¹ФИАН

²МФТИ

³НИИ Курчатовский институт

Прошло уже более пятидесяти лет после открытия радиопульсаров, а до сих пор есть несколько простых вопросов, сформулированных ещё в семидесятые годы прошлого века, на которые всё ещё нет ответа. И это при том, что на многих направлениях в последние годы действительно достигнут несомненный прогресс. Обсуждению трёх таких вопросов и посвящен мой доклад, который посвящается памяти ушедших от нас Я.Н. Истомина и Б.В. Комберга, с которыми эти вопросы активно обсуждались все эти годы. Первый вопрос связан с количеством типов радиоволн, которые могут распространяться в магнитосфере нейтронной звезды. На протяжении многих лет считалось, что таких волн три. Об этом говорил и Д. Мельроуз на последней конференции по физике нейтронных звёзд. В то же время наш анализ показывал, что таких волн четыре. Причина такого противоречия заключалась, однако, просто в неточности формулировок (речь шла о разных системах отсчёта), и в итоге удалось прийти к согласию. Хотя в системе покоя плазмы есть только три моды, решение с отрицательной частотой (которая традиционно не рассматривается как четвертая мода) в лабораторной системе отсчёта трансформируется в дополнительное решение с положительной частотой, распространяющееся вперёд в системе покоя нейтронной звезды. Второй вопрос связан с определением направления эволюции угла наклона магнитной оси нейтронной звезды к оси вращения. Существует твёрдое убеждение, что наблюдения однозначно свидетельствуют в пользу эволюции в область малых углов (alignment). На наш взгляд, это не так. Будут повторены аргументы, показывающие, что наблюдения не позволяют сделать выбор о направлении эволюции угла. Наконец, третий вопрос касается определения т.н. линии смерти пульсаров на диаграмме $P - \dot{P}$ в модели Рудермана – Сазерленда. В своей первоначальной версии эта линия проходила значительно выше нижней границы популяции радиопульсаров, и поэтому предпринимались многочисленные попытки учесть дополнительные обстоятельства, которые бы позволили согласовать эту модель с наблюдениями. При этом один из возможных ответов заключался в учёте недипольности магнитного поля у поверхности нейтронной звезды. Однако можно показать, что аккуратный (и одновременный) учёт всех хорошо известных поправок (эффекты общей теории относительности, разброс по величинам радиусов, масс и моментов инерции нейтронных звёзд, а также учёт реального спектра изгибного излучения) позволяют согласовать теорию и наблюдения и для дипольного магнитного поля.

*E-mail: beskin@ipi.ru

Углы между магнитным моментом и осью вращения. Структура магнитосферы пульсаров

М. А. Тимиркеева*, И. Ф. Малов

ПРАО АКЦ ФИАН

В настоящее время известно более 3000 пульсаров. В основном они излучают на радиочастотах [1]; порядка 300 объектов зарегистрированы как пульсары в гамма-диапазоне [2]; тепловое и нетепловое рентгеновское излучение зарегистрировано от нескольких десятков объектов [3, 4]. Данное исследование посвящено вычислению углов между магнитным моментом и осью вращения в радиопульсарах, излучающих также в гамма- и рентгеновском диапазонах. Этот параметр позволяет понять не только специфику излучения конкретного радиопульсара: построенные распределения углов для объектов, излучающих в разных диапазонах, могут установить чёткие различия в исследуемых группах. Угол между магнитным моментом и осью вращения также является ключевым для проверки предлагаемых моделей излучения пульсаров. Для последующего анализа были сформированы три группы пульсаров: в первую группу входят только радио-громкие пульсары; вторая группа – это радиопульсары с зарегистрированным гамма-излучением – радио-громкие гамма-пульсары; третья группа состоит из рентгеновских радиопульсаров. Из выборки исключены пульсары, находящиеся в двойных системах и шаровых скоплениях (чтобы избежать влияния компаньонов). Были вычислены значения углов по наблюдаемой ширине импульса на уровне 10% для нескольких сотен известных радиопульсаров. Полученные значения, в совокупности с оценками на основе других методов, могут дать информацию об ориентации осей в пульсарах и послужить дальнейшему развитию теоретических представлений о структуре магнитосферы пульсара. Исследование проведено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>).

Список литературы

- [1] R. N. Manchester, G. B. Hobbs, A. Teoh, et al., *Astron. J.*, 129, 4, 1993 (2005)
- [2] A. A. Abdo, M. Ajello, A. Allafort, et al., *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 208, 1 (2013)
- [3] A. Possenti, R. Cerutti, M. Colpi, et al., *Astron. Astrophys.*, 387, 993 (2002)
- [4] T. Prinz, W. Becker, arXiv:1511.07713 (2015)

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

Массы и радиусы нейтронных звезд по данным наблюдений

В. Ф. Суйфанов*

Представлен краткий обзор современного состояния методов и результатов определения масс и радиусов нейтронных звезд. Знание этих параметров важно для понимания физики внутренней структуры нейтронных звезд. Представлены результаты определения масс пульсаров в двойных системах комбинацией радиастрономических и оптических наблюдений, которые привели к обнаружению массивных нейтронных звезд, с массой, превышающей 2 массы Солнца. Представлены различные методы определения радиусов нейтронных звезд. Особое внимание уделено методам, связанным с моделированием рентгеновских спектров одиночных нейтронных звезд и спектров термоядерных вспышек на поверхности аккрецирующих нейтронных звезд в тесных двойных системах. Удельно представлены последние результаты определения массы и радиуса нейтронной звезды в центре остатка сверхновой HESS J1741–347, масса которой, возможно, является экстремально низкой, около 0,8 массе Солнца.

*E-mail: vsulfanov@gmail.com

Обнаружение радиозлучения от Геминта-подобного гамма-пульсара J1836+5925

Д. А. Теплых*, В. М. Маглов, М. А. Тимиреева, И. Ф. Магов

ИРАО АКИ ФИАН

Представлены результаты обнаружения радиозлучения от гамма-пульсара J1836+5925. Данный пульсар имеет некоторые характерные черты пульсара Геминта (J0633+1746), и также считается радиотихим пульсаром. В Лушинской радиастрономической обсерватории на радиотелескопе ВСА ФИАН на частоте 111 МГц были зарегистрированы редкие события радиозлучения от этого объекта. Обработано более 100 дней наблюдений и только в нескольких сеансах удалось накопить интервальный профиль за 6 минут наблюдений. Индивидуальные импульсы с отношением сигнала/шум < 4 выявляются в большинстве сеансов. Особенности радиозлучения пульсара J1836+5925 выявляется широкий интервальный профиль и очень узкие индивидуальные импульсы. Возможно также наличие интерпульса. Была измерена мера дисперсии $DM = 23,5 \pm 1$ пк/с³. Исследование проведено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (https://rscf.ru/project/22-12-00236/)

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

Альтернативный сценарий нестационарной эволюции периода рентгеновского пульсара 4U 1626–67

Н. Г. Бекрваная^{1,2*}, Н. Р. Ихсанов^{1,3}

¹IAO PAN

²CAO PAN

³ИПА РАН

В течение 40 лет наблюдений рентгеновского пульсара 4U 1626–67 было зарегистрировано два события реверса знака провальной его периода. Монотонное замедление вращения нейтронной звезды в этом источнике наблюдается с момента его открытия вплоть до 1991 года. Затем период пульсара столь же монотонно и с тем же абсолютным значением темпа стал уменьшаться. В 2008 году провальная период пульсара вновь сменила знак, и нейтронная звезда перешла в стадию монотонного торможения своего вращения с прежними параметрами. Изменения знака производной периода происходили без каких-либо резких изменений оставшихся параметров пульсара, которые в течение всего времени наблюдений претерпевали лишь относительно небольшие вариации [1, 2]. Объяснить столь нестационарную эволюцию периода пульсара в рамках принятого в настоящее время сценария аккреции вещества на нейтронную звезду из кеплеровского аккреционного диска без юпитериальных весьма неочевидных предположений оказывается затруднительно. Альтернативой является сценарий аккреции из некеплеровского магнитного аккреционного диска, обусуждаемый в нашем случае. Механизм обмена угловым моментом между звездами и аккреционными диском, как и величина внутреннего радиуса диска, представляемые в этом сценарии, отличаются от общепринятых, но позволяют описать основные параметры наблюдаемой ротационной эволюции пульсара и указать на возможную причину реверса знака производной его периода.

Список литературы

- [1] A. Camero-Aranz, M. H. Finger, N. R. Ihsanov, C. A. Wilson-Hodge, E. Becken, *Astrophys. J.*, 708, 1500 (2010)
- [2] A. Camero-Aranz, K. Pottschmidt, M. H. Finger, N. R. Ihsanov, C. A. Wilson-Hodge, D. M. Marcu, *Astron. Astrophys.*, 546, A40 (2012)

*E-mail: beskovanaya@yahoo.com

Зависимость наблюдаемого замедления одиночных радиопульсаров от магнитного угла

А. В. Бирюков^{1,2,3*}, Г. М. Бескин^{4,3}

¹ГАИШ МГУ

²Физический факультет НИУ ВШЭ

³Институт физики КФУ

⁴САО РАН

Наиболее используемая модель для потерь вращательной энергии одиночной нейтронной звездой предполагает, что темп этих потерь зависит от магнитного угла звезды как $P\dot{P} \propto \mu^2(k_0 + k_1 \sin^2 \alpha)$. Здесь P и \dot{P} это период вращения звезды и его производная, μ – дипольный магнитный момент, безразмерные параметры $k_0 \sim k_1 \sim 1$, а угол α и есть угол между магнитной осью и осью вращения – *магнитный угол* [1]. В нашей работе мы проверяем, совместимы ли имеющиеся наблюдательные данные с предсказанным видом зависимости $\dot{P}(\alpha)$. Для этого мы сравниваем различие в распределениях параметра $P\dot{P}$ у 50 почти ортогональных (со значениями α , сравнимыми с 90 градусом) и у 27 почти выровненных (с малыми α) пульсаров со значениями, рассчитанными теоретически на основе модели [1]. Поскольку в этой модели величина $P\dot{P}$ не зависит от периода вращения явно, то единственным свободным параметром в теоретическом расчёте оказывается среднее отношение магнитных моментов $\langle \mu_{\perp} / \mu_{\parallel} \rangle$ ортогональных и выровненных пульсаров. В итоге мы находим, что имеющиеся наблюдения не противоречат модели [1] при условии, что магнитные поля ортогональных пульсаров систематически, на $\sim 0.15 - 0.2$ порядка величины больше, чем поля выровненных. Кроме того, сравнивая замедления пульсаров двух типов с близкими периодами, мы получили независимую дополнительную оценку на показатель замедления (braking index) n для одиночных радиопульсаров. Используемые данные соответствуют интервалу $1 \leq n \leq 4$ на уровне значимости 99%. С деталями работы можно ознакомиться в публикации [2].

Список литературы

- [1] A. Philippov, A. Tchekhovskoy, J. G. Li, Mon. Not. R. Astron. Soc., 441, 1879 (2014)
 [2] A. Biryukov, G. Beskin, Mon. Not. R. Astron. Soc., 522, 6258 (2023)

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

Исследование переменности излучения пульсара B0823+26 от секунд до нескольких лет

Т. В. Смирнова^{1*}, М. О. Торопов², С. А. Тюльбашев¹, В. А. Самодуров^{1,3}

¹ПРАО АКЦ ФИАН

²ООО ТЭК Информ

³НИУ ВШЭ

Проведено исследование переменности PSR B0823+26 на частоте 111 МГц. Этот пульсар имеет нуллинг, переключение мод и интеримпульс. Исследовались вариации амплитуды основного импульса (ГИ), посткурсор (ПК) и интерпульса (ИП) по ежедневным наблюдениям на интервале в 5.5 лет. Показано, что отношение амплитуд во вспященной (В) и спокойной модах (С) ГИ составляет 60. В В-моде соотношение амплитуд ГИ и ИП равно 65. Нуллинг составляет 4% от общего времени наблюдения. Показано, что все компоненты пульсарного излучения имеют коррелированные вариации излучения на длительном временном интервале. Используя корреляционный и структурный анализ данных, мы получили характерные временные масштабы этих вариаций: 3–5 дней, 37 дней и 1 год. Эти вариации интерпретируются как рефракционные мерцания на межзвёздной плазме. Исследование проведено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>).

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

Сверхмедленный радиопульсар со сверхсильным магнитным полем

Д. Н. Собьянин*

ФИАН

Недавнее обнаружение радиопульсара PSR J0901–4046 с большим периодом 76 с ставит фундаментальный вопрос о том, как столь медленно вращающаяся замагниченная нейтронная звезда может быть активной в радиодиапазоне. Величина магнитного поля, вытекающая из канонической магнитодипольной оценки по периоду вращения и его производной по времени, недостаточно высока для объяснения наблюдаемого радиоизлучения поскольку по своим вращательным характеристикам данный радиопульсар попадает в область правее и ниже линии смерти. Дополнительный учёт малости угла наклона оси магнитного диполя относительно оси вращения не позволяет повысить оценку поля до величины, необходимой для развития каскадного рождения электрон-позитронной плазмы, ответственной за радиоизлучение. Если же отказаться от магнитодипольной модели и вместо этого непосредственно рассмотреть преобразование энергии при развитии каскада, то можно установить связь между магнитным полем на поверхности звезды и шириной микроимпульсов, наблюдаемых у данного радиопульсара [1]. Полученное магнитное поле почти на три порядка превышает швингеровское поле и оказывается достаточным для объяснения генерации электрон-позитронной плазмы и сопутствующего радиоизлучения. Сама нейтронная звезда при этом замедляется не за счёт магнитодипольного излучения, а за счёт электрических токов, текущих в полярной области, а энергия её вращения преобразуется в энергию ускоряемых там электронов и позитронов.

Список литературы

- [1] D. N. Sob'yanin, Phys. Rev. D, 107, L081301 (2023)

*E-mail: sobyanin@lpi.ru

Спектральный и временной анализ быстрого рентгеновского транзита IGR J16195–4945 по данным наблюдений Swift/ART-XC

М. Н. Сатыбалиев^{1,2*}, И. А. Мереминский¹, А. А. Лытовиков¹, Д. И. Карась¹, А. Н. Семёна¹, А. Е. Штыковский¹

¹ИКИ РАН
²МФТИ

*E-mail: maksatsalybaliev@gmail.com

в диапазоне ИК диапозона.

В работе представлены результаты исследования быстрого рентгеновского транзита в системе со сверхгигантом (Swift) IGR J16195–4945. Был проведён временной и спектральный анализ данных, полученных в марте 2021 года телескопом Swift/ART-XC. Во время наблюдения было зарегистрировано шесть ярких всплесков. Измеренные временные и энергетические характеристики всплесков сравнялись с моделью лавинной квазисферической оседающей аккреции и с характеристиками Swift-систем. Кроме того, была обнаружена необычная переменность в спектре.

Гигантские всплески магнитаров в близких галактиках

Д. С. Свинкин¹, Д. Д. Фрегерник²

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

Наиболее впечатляющими проявлением активности магнитаров – мощных нейтронных звезд со

сверхплотными магнитными полями до 10^{14} – 10^{15} Гс – являются исключительно редкие гигантские всплески гамма-излучения (Magnetar Giant Flares, MGFs) с энергоядением до $\sim 5 \times 10^{46}$ эрг и пиковой светимостью до $\sim 2 \times 10^{48}$ эрг/с. Колоссальная интенсианность коротких начальных импульсов двух известных MGF от Галактических источников (SGR 1900+14 и SGR 1806-20) не позволила детально изучить их временную структуру, а также оценить спектр и энергетiku со- бытий из прямых измерений. Решить эту непростую задачу позволяет детектирование MGF в близких галактиках, по наблюдательным характеристикам близких к коротким гамма-всплескам (GRB). До 2020 г. было зарегистрировано два коротких GRB – кандидата во внегалактические MGF: GRB 051103 из группы галактик M81/M82 (~ 3.6 Мпк) и GRB 070201 из галактики Андромеды (M31, ~ 780 кпк). Очень яркий короткий GRB 200415A, зарегистрированный в 15 апреля 2020 г. был, благодаря наблюдениям большой группой космических детекторов, впервые надёжно ассоциирован с близкой (~ 3.5 Мпк) галактикой NGC 253. При этом на основе временных и спек- тральных характеристик всплеск был признан и идентифицирован как MGF в близких галактиках. В ходе детального поиска MGF среди коротких гамма-всплесков были обнаружены ещё два кандидата в MGF из галактик M83 (GRB 070222) и NGC 253 (GRB 180128A). В работе представлены характерис- тики наиболее полного набора гигантских всплеск. Работа выполнена при поддержке

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

гранта РФФ 21-12-00250.

В этой работе мы представляем результаты оптических спектральных наблюдений компаньонов четырёх миллисекундных пульсаров: J0621+2514, J2317+1439, J2302+4442 (наблюдались с помо- щью Большого Канарского телескопа), и J0214+5222 (наблюдавшегося на телескопе Gemini). В спектрах компаньонов J0621+2514 и J0214+5222 хорошо различимы балмеровские линии погло- щения, что позволяет отождествить их с белыми карликами с водородными атмосферами (DA-типа). В спектрах компаньонов J2317+1439 и J2302+4442 спектральные линии неразличимы, од- нако фотометрические данные и форма спектров позволяют предположить, что они также явля- ются белыми карликами типа DA. Основываясь на анализе спектров компаньонов, мы нашли, что 8600 \pm 200 К и 9600 \pm 200 К, соответственно. Для компаньона пульсара J2302+4442 мы установили как компаньон J2302+4442 – одним из самых холодных. Также получены отрывания на другие параметры этих объектов. В частности, $T_{\text{eff}} = 8600 \pm 200$ К и $T_{\text{eff}} = 9600 \pm 200$ К соответственно. Для компаньона пульсара J2302+4442 мы установили $T_{\text{eff}} < 6000$ К, что и делает его одним из самых холодных белых карликов. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, грант 22-22-00921, https://rscf.ru/project/22-22-00921/.

*E-mail: bobakov_alex@mail.ru

Оптические спектроскопические наблюдения четырёх компаньонов миллисекундных пульсаров

А. В. Бобаков¹, Д. А. Карпова¹, Д. А. Зозин¹, Ю. А. Шибанов¹, А. Ю. Кирichenko^{1,2}, С. В. Жариков²

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

²Instituto de Astronomia, UNAM, Мехико, Мексика

*E-mail: sbibnikov@bk.ru

Наблюдения показывают, что сверхмощные сверхновые иногда имеют кривые блеска с множе- ственными пиками светимости. Причина такого поведения потоков неизвестна, но в популярной модели с пульсарной накачкой (торожение вращения «магнитара») оно может быть вызвано из- менением магнитного поля этой накачки. С помощью нашего радиационно-гидродинамического кода мы обнаружили, что временное увеличение накачки может привести к вторичным пикам светимости. Обнаружено, что появлению накачки сопровождаются значительные повышения температуры фотоферры выброса сверхновой, а радиус фотоферры существенно не изменяется. У некоторых сверхновых изменение это поведени и обуславливает другие механизмы, которые могут объяснить магнитарной модели не работают, и обуславливает другие механизмы, которые могут объяснить наблюдаемое поведение потоков сверхновых.

¹КРТФ НИИ Курчатовский институт
²ТНИУ МГУ

С. И. Влиниников^{1,2*}

Вторичные максимумы потока сверхновых из-за переменности пульсарной накачки и по другим причинам

Поиск вращающихся радиотранзиентов на радиотелескопе БСА ФИАН на частоте 111 МГц

Е. А. Брылякова^{1*}, С. А. Тюльбашев¹, М. А. Китаева¹, В. С. Тюльбашев²

¹ПРАО АКЦ ФИАН

²ООО Яндекс

В 2007 году в архивных данных обсерватории Паркса были обнаружены импульсы длительностью несколько миллисекунд [1]. Оказалось, что они принадлежат редкому виду пульсаров, называемых вращающимися радиотранзиентами (RRATs). Отличительной особенностью этих объектов является нерегулярное излучение (интервалы между импульсами составляют от минут до десятков часов). Причина спорадического излучения объектов типа RRAT на сегодняшний день остаётся неизвестной. По современным представлениям неоспоримо лишь то, что они являются быстровращающимися нейтронными звёздами, которые обнаруживаются по излучению их отдельных импульсов. Исследования RRAT затруднены. Так как появление импульсов этих объектов непредсказуемо, а интервал времени между обнаруживаемыми импульсами велики, то для их исследования необходимо большое наблюдательное время. Помимо наблюдательного времени, необходимо также иметь высокую мгновенную чувствительность радиотелескопа, так как импульсы RRAT, как и импульсы обычных пульсаров, слабые. Поэтому до настоящего момента, поиск RRAT проходит на крупнейших в мире телескопах. С августа 2014 года на радиотелескопе БСА ФИАН (Пушино), проводятся круглосуточные наблюдения, используемые в том числе и для поиска пульсаров. Переобработка полученных данных позволила обнаружить множество новых RRAT [2, 3]. В докладе мы представляем результаты обработки кандидатов в RRAT, которые были обнаружены в данных БСА ФИАН в 2014–2015 годах. Поиск RRAT проводился до значений меры дисперсии $DM < 100$ пк/см³. При проверке 164 кандидатов удалось обнаружить 16 новых RRAT. Исследование проведено при поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>).

Список литературы

- [1] M. McLaughlin, A. G. Lyne, D. Lorimer, et al., *Nature*, 817 (2006)
- [2] С. А. Тюльбашев, В. С. Тюльбашев, В. М. Малофеев и др., *Астрон. журн.*, 95, 68 (2018)
[S. A. Tyulbashev, V. S. Tyulbashev, V. M. Malofeev, et al., *Astron. Rep.*, 62, 63 (2018)]
- [3] S. A. Tyulbashev, V. S. Tyulbashev, V. M. Malofeev, *Astron. Astrophys.*, 618, A70 (2018)

*E-mail: elinx@bk.ru

RX J0440.9+4431: сверхкритический рентгеновский пульсар

А. Салганик^{1,2*}, С. С. Цыганков³, В. Дорошенко⁴, С. В. Мольков²,
А. А. Лутовинов², А. А. Муштуков⁵, Ю. Поутанен³

¹СПбГУ

²ИКИ РАН

³Университет Турку, Финляндия

⁴Гюбингенский университет, Германия

⁵Оксфордский университет, Великобритания

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

Список литературы

- [1] A. Salganik, S. S. Tsygankov, V. Doroshenko, et al., arXiv:2304.14881

*E-mail: alsalganik@gmail.com

Возможное нетепловое рентгеновское излучение звезды HD 110432

Е. В. Рыспаева^{1*}, А. Ф. Холтыгин²¹ КРАО РАН
² СПбГУ

В-звезда HD 110432 (BZ Ceti) была первым обнаруженным объектом загадочного подкласса звезд аналогов γ Cas, которые свойственные аномально высокие температуры излучающей в рентгеновской части спектра плазмы от 10 до 20 кэВ (и даже выше) в предположении о полноте топологическом излучении. Звезда HD 110432 многократно наблюдалась и спотингеском, и в рентгеновском диапазоне и проявляла необычные свойства. Исследования рентгеновских спектров звезд указывают на наличие γ не выброженного компонента в виде белого карлика или нейтронной звезды в режиме пролета, хотя оптические наблюдения пока не подтверждены. В работе сделан независимый анализ архивных рентгеновских наблюдений BZ Ceti, выложенных на сайтах XMM-Newton и Chandra, и проведено сравнение характеристик рентгеновских спектров разных лет. Обнаружено, что на звезде имеют место короткие рентгеновские квази-вспышки длительностью до 20 килосекунд, при которых рентгеновский поток возрастает примерно в два раза; также множественные регулярные вариации рентгеновского излучения звезды с периодами от 2 до 400 минут. Предположено, что рентгеновское излучение звезды представляет собой совокупность теплового и нетеплового компонента. Тепловой квазициклический компонент генерируется в результате аккреции вещества звездного ветра локальных магнитных полей Ве-компонента BZ Ceti с магнитным полем декреционного диска. Нестационарность процесса генерации локальных магнитных полей может объяснить появление рентгеновских квази-вспышек.

Исследование ультраяркого рентгеновского источника VII Zw 403 ULX в рентгеновском и оптическом диапазонах

А. С. Винокуров^{1*}, К. Е. Аташин²¹ САО РАН
² ГАИШ МГУ

В работе представлены результаты анализа рядов рентгеновских наблюдений, фотометрического и спектрального мониторинга ультраяркого рентгеновского источника VII Zw 403 ULX (UGC 6456 ULX), чья аккреция по косвенным признакам является нейтронная звезда. Анализ данных *Swift*/XRT и данных фотометрии, полученных на телескопах САО РАН и КТО ГАИШ МГУ, выявил вспыхивающий характер переменной источника, амплитуда которой составляет примерно в 100 раз в диапазоне 0.3–10 кэВ с пиковой светимостью около 10^{40} эрг/с, и примерно в 4 раза в полюсе V с видимой звездной величиной 20.2 в максимуме блеска. Спектральные наблюдения источника, выполненные на 6-м телескопе САО РАН, показали наличие сильно переменных эмиссионных линий балмеровской серии водорода, нейтрального и ионизованного гелия. Обнаружена корреляция параметров эмиссии He II $\lambda 4686$ (с коэффициентом корреляции R до ≈ 0.9) с оптическими блеском VII Zw 403 ULX и поглощенными отращивания на степенях корреляции параметров отдельных линий; предложена интерпретация результатов наблюдений.

*E-mail: vlnoktov@sao.ru

Формирование циклотронных линий и кинетические неустойчивости в плазме в атмосферах нейтронных звезд

М. А. Парасев¹, Е. В. Дершиев, Вл. В. Кочаровский

ИФ РАН

Рассматриваются особенности переноса поляризованного циклотронного излучения в сильно заматрированной плазме, характерной для атмосфер нейтронных звезд. Особое внимание уделено переработке излучения по частоте в циклотронной линии. В частности, детально исследована статистика переработки фотона при переносе по частоте в атмосфере гидрозонального излучения в условиях, характерных для компактных звезд. Найденная вероятность выхода фотона из атмосферы излучения по частоте к значительному росту вероятности возврата фотона в область оптических ходов фотона из полубесконечной атмосферы с малым поглощением эффектов переработки фотона в эффектах диффузии гидрозональных фотонах в пространных и по частоте. Показано, что при выходе фотона из полубесконечной атмосферы с малым поглощением эффектов переработки фотона в условиях, характерных для компактных звезд, вероятность выхода фотона в область оптических ходов фотона излучения по частоте при переносе гидрозонального излучения в атмосферах нейтронных звезд. Рассмотрены различные механизмы переноса фотона в гидрозональном излучении в плазме под действием силы давления излучения в циклотронной линии. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект 19-72-10111).

*E-mail: garsev@iptan.ru

Нелинейный эффект Холла в цилиндре

М. В. Глушихина^{1*}, Г. С. Бисноватый-Коган^{1,2}

¹ИЛИ РАН

²НИЯУ МИФИ

Рассматривается модель плазменного цилиндра с однородным магнитным полем вдоль его оси и радиальным градиентом температуры. При больших температурных градиентах азимутальный электрический ток Холла создаёт осевое магнитное поле, напряжённость которого может быть сравнима с напряжённостью исходного поля. Показано, что магнитное поле, созданное азимутальным током Холла, приводит к уменьшению магнитного поля, создаваемого внешними источниками, и чем больше величина электрического тока, связанного с градиентом температуры, тем больше уменьшение внешнего магнитного поля. Полученные результаты необходимы для исследования влияния тока Холла на эволюцию магнитного и электрического полей в нейтронных звёздах, белых карликах и, возможно, в лабораторных условиях.

*E-mail: m.glushikhina@cosmos.ru

Диффузия в сверхтекучих ферми-жидкостных смесях

О. А. Гогличидзе*, М. Е. Гусаков

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Для корректной интерпретации наблюдательных данных требуется развитая теория, описывающая (магнито)гидродинамические процессы в нейтронных звёздах, такие как эволюция магнитного поля, а также возбуждение и затухание различных колебательных процессов. В частности, требуется аккуратный учёт механизмов диссипации энергии. Внутренние слои нейтронных звёзд состоят из смесей сильно взаимодействующих ферми-частиц: лептонов (электронов и мюонов) и барионов (нейтронов, протонов, гиперонов), причём последние могут находиться в сверхтекучем/сверхпроводящем состоянии. Таким образом, наряду с прочими механизмами диссипации должна рассматриваться и диффузия различных сортов частиц относительно друг друга. Последовательный расчёт должен учитывать как столкновения между квазичастицами, так и недиссипативное взаимодействие между ними. Данная работа посвящена учёту недиссипативных взаимодействий при расчёте диффузионных токов в сверхтекучих смесях в рамках теории ферми-жидкости Ландау. Для исследования диффузии в сверхтекучих смесях требуется ввести нормальные (не сверхтекучие) токи для различных сортов частиц. Для описания таких токов вводятся скорости, являющиеся сопряжёнными переменными к плотностям импульсов, ассоциированным с соответствующими сортами частиц. Показано, что эти скорости могут быть интерпретированы как скорости переноса парциальных энтропий различных компонент смеси. Вводятся матрицы, связывающие нормальные токи частиц с соответствующими плотностями импульсов и скоростями парциальных энтропий. Получены аналитические выражения для коэффициентов диффузии, связывающих диффузионные токи с градиентами химических потенциалов. Результаты работы могут быть использованы в качестве отправной точки для систематических расчётов коэффициентов диффузии (а также других кинетических коэффициентов) в сверхтекучих ферми-смесях, в частности, в сверхтекучих нейтронных звёздах. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 22-12-00048.

*E-mail: goglichidze@gmail.com

Жёсткое электромагнитное излучение, связанное с быстрыми радиовсплесками, по данным эксперимента Konus-Wind

А. В. Ридная*, Д. Д. Фредерикс, Д. С. Свинкин, А. Л. Лысенко, А. Е. Цветкова, М. В. Уланов

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Быстрые радиовсплески (Fast Radio Bursts, FRB) – мощные импульсы радиоизлучения внегалактического происхождения с характерной длительностью порядка нескольких миллисекунд. Это достаточно молодой класс астрофизических транзиентов – первый всплеск был обнаружен в 2007 году. На данный момент известно чуть меньше тысячи источников FRB, около 40 из них – повторные. С момента обнаружения феномена выдвинуто множество гипотез о их возможной природе, однако до сих пор происхождение этих транзиентов остаётся невыясненным. Наиболее перспективные модели связаны со вспышечной активностью магнитаров, связь которой с FRB была впервые наблюдательно подтверждена для галактического магнитара SGR 1935+2154. 28 апреля 2020 г. от этого источника были одновременно зарегистрированы очень похожий на FRB радиовсплеск и рентгеновская вспышка с необычно жёстким спектром. В октябре 2022 года совместное детектирование повторилось, однако для менее слабого события. Других подтвержденных отождествлений FRB с транзиентами любой природы пока нет. В докладе приводятся характеристики указанных событий, полученные в эксперименте Konus-Wind ФТИ им. А.Ф. Иоффе, а также представленные результаты направленного поиска возможных гамма-транзиентов, сопровождавших более 700 FRB, в архивных данных эксперимента Konus-Wind, осуществляющего непрерывный мониторинг излучения всего неба в диапазоне энергий 20–1500 кэВ. Полученные результаты обсуждаются в контексте предшествующих работ по поиску жёсткого электромагнитного излучения источников FRB и теоретических предсказаний. Работа выполнена при поддержке гранта РФФ 21-12-00250.

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

Влияние внешней активной среды на процесс двойного комптоновского рассеяния

Д. А. Румянцев*, Т. А. Пухов, М. В. Чистяков

Ярославский государственный университет им. П. Г. Демидова

Рассмотрен двойной комптоновский процесс $e\gamma \rightarrow e\gamma\gamma$ в присутствии сильно замагниченной зарядово-асимметричной холодной плазмы. В этих условиях исследованы изменения дисперсионных и поляризационных свойств фотонов. Показано, что в условиях холодной, квазивыврожденной, умеренно релятивистской плазмы векторы поляризации фотонов будут оставаться такими же, как и в чистом магнитном поле. Анализ уравнения дисперсии в такой плазме позволил установить, что фотон моды 1 имеет закон дисперсии, мало отличающийся от вакуумного, $q^2 = 0$, тогда как закон дисперсии фотона моды 2 претерпевает существенные изменения. В частности, наличие плазмы подавляет вероятности основных каналов расщепления фотона $\gamma_1 \rightarrow \gamma_1\gamma_2$ и $\gamma_1 \rightarrow \gamma_2\gamma_2$ по сравнению с магнитным полем в вакууме. С другой стороны, установлено, что в этом случае эффективным механизмом для получения поляризованных фотонов в холодной плазме ($T \ll \mu - m$) может стать процесс двойного комптоновского рассеяния. Это может повлиять на формирование спектров излучения сильно замагниченных нейтронных звёзд. Получено простое выражение для дифференциального сечения процесса $e\gamma_2 \rightarrow e\gamma_2\gamma_2$, удобное для использования в задачах переноса излучения.

*E-mail: rda@uniyar.ac.ru

Нейтронные звёзды и астрофизика частиц

М. С. Пширков^{1*}, С. В. Попов^{2,1}, П. Г. Тиняков³¹ГИАИШ МГУ²ICTP, Триест, Италия³Université Libre de Bruxelles, Брюссель, Бельгия

Исследование существования гипотетических частиц за пределами Стандартной модели часто имеет дело с экстраполяциями параметров: сохранили энтропии, крошечными сечениями, большими временными масштабами и т.д. Иногда лабораторные эксперименты позволяют проверить небольшие области пространства параметров, но чаще естественные ограничения привносят к слабо организованная верхним пределам. В таких случаях астрофизические исследования могут помочь существование расширить исследуемый диапазон значений параметров. Среди астрономических объектов, использующих в интервалах фундаментальной физики, ведущую роль играют компактные нейтронные звёзды. В отличие будут рассматриваться некоторые аспекты исследований в области астрофизики связанных с наблюдением этих небесных объектов, прежде всего нейтронные звёзды. В отличие будут рассматриваться вядри нейтронных звёзд, что может привоидить к их допониительному напряву или коллассу в чёрные дыры. Колличество аккрецируванного вещества будет зависеть от режима и скорости захвата частиц. От их свойств взаимодествият будут зависеть возможные астрофизические последствия. Особое внимание будет уделено популярным кандидатам в темную материю – аксионам. Их существование может быть обнаружено благодаря наблюдению эинсии, возникающей в результате процесса Примакова в магнетосферах нейтронных звёзд. Также они могут способствовать охладжжению этих компактных объектов. В дождных представлениях будут в этих областях, включая верхние пределы, основанные на последних наблюдениях.

Термализация ренгеновского излучения в водородных атмосферах нейтронных звёзд

М. И. Горностаев^{*}

ГИАИШ МГУ

Несмотря на то, что формирование спектров излучения атмосферы нейтронных звёзд исследуется в течение десятилетий, иногда удаётся обнаружить новые интересные закономерности, характерные для термализации в плазме атмосфер при не слишком высоких температурах (не превышающих одного или двух десятков кэВ) может быть описано в широком диапазоне спектра в приближении плоской поперечной консервативного коллоидного рассеяния. В настоящее время исследуются тонкие указатели приближения и распределения глубина термализации в модели плоской поглотительной водородной атмосферы в соответствии с основными известными и новыми выражениями. Задача решается для случая выражения в единицах оптической толщины рассеяния глубины термализации τ_{th} . Для гидростатического профиля электронной плотности при нулевом давлении на границе [6–8]. Для выражения в единицах оптической толщины E — энергии фотона, $E_0 = 1$ кэВ [9]. Для типичной нейтронной звёзды в модели изотермической атмосферы $\tau_{th} \sim E/E_0 \sqrt{T/T_0}$, где T — температура, $T_0 = 1.5$ кэВ. Температура может быть выбрана распределённой, например, в соответствии с законом $T = T_{eff} (3/4 \tau_{th} + 2/3)^{1/4}$, где T_{eff} — эффективная температура, а τ_{th} — распределённая с излучением. В этом случае соотношение для угловых распределения излучения незначительно отличается от стандартной термализации. Соответственно, соотношение для $\tau_{th}(E)$ работает и на низких частотах, в приповерхностных слоях, хотя точность её здесь несколько ниже по сравнению с известными выражениями, применёнными к расматриваемому профилю плотности (в единицах полной оптической толщины τ_{th} глубина термализации [1–3], $\tau_{th,th} = 1/\sqrt{\epsilon}$, откуда линейная зависимость следует при $\tau_{th} \approx \tau_{th}$, т.е. при $\epsilon \approx 1$). Если T зависит от координаты, поведение незначительно и термализация удобно описывать посредством уравнения спектра со значимыми функциями Планка, определёнными в рассматриваемой точке.

Список литературы

- [1] G. B. Rybicki, D. G. Hummer, Mon. Not. R. Astron. Soc., 144, 313 (1969)
- [2] J. T. Jefferts, Astrophys. J., 132, 775 (1960)
- [3] Д. Михалас, Звёздные атмосферы / Пер. с англ. С. И. Трачёва и Л. И. Нагириной, под ред. В. В. Иванова (М.: Мир, 1982) [D. Mihalas, Stellar Atmospheres (San Francisco: W. H. Freeman, 1978)]
- [4] G. B. Rybicki, A. P. Lightman, Radiative Processes in Astrophysics (New York: Wiley & Sons, 1979)
- [5] В. В. Иванов, Перенос излучения и спектры небесных тел (М.: Наука, 1969)
- [6] R. W. Nelson, E. E. Salpeter, I. Wassetman, Astrophys. J., 418, 874 (1993)
- [7] Y. B. Zeldovich, N. I. Shakura, Soviet Astronomy Lett., 13, 175 (1969)
- [8] R. Trnolia, L. Zampieri, M. Corri, A. Teves, Astrophys. J., 426, 35 (1994)
- [9] M. Gornostaev, arXiv:2203.12589 (2022)
- [10] P. Reaunter, Comptes Rendus Academie des Sciences Paris, 258, 3189 (1964)

Выход излучения ультраярких рентгеновских пульсаров из оболочки, оттекающей от сверхкритического аккреционного диска

С. А. Гребнев^{1*}, С. Ю. Жуков², А. В. Худов²

¹ИКИ РАН

²НИЯУ МИФИ

Светимость недавно открытых ультраярких рентгеновских пульсаров (ULXPs) на 2–3 порядка превышает критическую эддингтоновскую светимость, что с трудом поддаётся объяснению. Временами ULXPs переходят в низкое состояние со светимостью лишь уровня эддингтоновской. Ранее нами было предложено объяснение такой бимодальности светимости достижением темпом аккреции уровня, при котором радиус магнитосферы нейтронной звезды уменьшается ниже радиуса сферизации аккреционного диска. При этом под действием давления излучения начинается сильное истечение вещества из диска, образующее вокруг системы плотную оболочку. Поглощение и рассеяние излучения пульсара в оболочке и приводит к переходу системы в низкое состояние. В рамках этой картины рассчитана модель оттекающей оболочки и её ионизационный баланс, проведены расчёты методом Монте-Карло искажений спектра рентгеновского излучения центрального источника, возникающие при прохождении оболочки. Расчёты проведены для большого набора параметров задачи. Самосогласованно, в зависимости от темпа аккреции, учтено изменение светимостей пульсара, аккреционного диска (внутри радиуса сферизации) и темпа истечения ветра из диска. Предсказано возникновение при определённых условиях особенности в спектре излучения ULXPs на энергиях выше 9 кэВ. Также проведены расчёты выхода излучения из оболочки в случае, если компактным объектом в ультраяркой рентгеновской системе (ULX) является чёрная дыра (ULXBH). В этом случае нет магнитосферы, влияющей на аккреционное течение, оттекающая оболочка существует при любом темпе аккреции, а истечение из диска происходит вплоть до последней устойчивой орбиты. Формирующаяся оболочка оказывается намного более плотной и оптически толстой. Различия в условиях формирования и параметрах оболочки в ULX системах, содержащих нейтронные звёзды и чёрные дыры, повышают вероятность наблюдения ULXPs по сравнению с ULXBHs (независимо от различия в частоте формирования таких систем).

*E-mail: grebenev@iki.rssi.ru

Исследование квазипериодических вариаций МПИ пульсаров В0329+54 и В1642–03. Анализ гипотез о планетной системе и медленных глитчах

В. А. Потапов^{1*}, С. А. Андрианов², А. В. Фраерман³

¹ПРАО АКЦ ФИАН

²СПбГУ, математико-механический факультет

³МГУ им. М.В. Ломоносова, физический факультет

Исследования пульсаров методом хронометрирования (тайминга) были начаты вскоре после их открытия в 1967 году. Данный метод оказался наиболее плодотворным для исследования динамики пульсаров, процессов в их магнитосфере, исследования орбитальных параметров двойных и планетных систем, включающих пульсары, а также для зондирования межзвёздной среды. Одним из первых качественных наблюдений этим методом были проведены в Лаборатории реактивного движения (JPL) в период с 1968 по 1982 г. с использованием антенн Deep Space Network [1]. Наблюдения части объектов из выборки JPL продолжают вплоть до сегодняшнего дня (в частности, в ПРАО с 1978 по 2023 г. на частотах 102 и 111 МГц), что позволяет построить уникальные по продолжительности (более 50 лет) ряды их моментов прихода импульсов (МПИ). Поскольку в выборке ярких секундных пульсаров неизбежно находятся молодые активные пульсары, их МПИ подвержены сильным возмущениям, которые могут иметь квазисистематический характер. Особенности процедуры хронометрирования, включающей в себя уточнение параметров пульсаров по методу наименьших квадратов, часто приводят к неоднозначности интерпретации наблюдательных данных. Данная работа посвящена анализу результатов рядов МПИ двух секундных пульсаров из выборки JPL [1] (В0329+54 и В1642–03), обладающих ярко выраженными квазисистематическими ходами в МПИ с большой амплитудой, достигающей, после устранения степенных трендов, 50 мс и 100 мс соответственно. Долговременные вариации МПИ пульсара В0329+54 были интерпретированы в 1995 г. как результат наличия у пульсара планеты с периодом 6160 дней [2] и массой около 2 масс Земли, и, возможно, второй планеты с периодом 1105 дней. В работе [3] (впрочем, основанной на менее качественных рядах МПИ) был сделан вывод об отсутствии планет у данного пульсара. В [4] на основании более тщательного анализа почти непрерывного ряда наблюдений (1968–2011) был повторен вывод о наличии планеты с массой около 2 земных, но с периодом 27.8 года (около 10140 дней). В [5] исследовался пульсар В1642–03, обладающий необычными квазипериодическими вариациями МПИ большой амплитуды. Первоначальное объяснение этих вариаций прецессией пульсара было отвергнуто в [6] с предложением довольно экзотической феноменологической модели медленных глитчей, позволяющей (по мнению автора) предсказывать время их повторения и амплитуду. В нашей работе на основе архивных данных и наших наблюдений этих пульсаров в 2014–2022 годах на частоте 111 МГц были проверены обе вышеприведённые модели. Мы не обнаружили надёжного подтверждения наличия планетной системы у В0329+54 с указанными в [2] и [4] параметрами. Кроме того, нами не было найдено надёжного подтверждения модели медленных глитчей для В1642–03, предложенной в [6]. Вместе с тем у В1642–03 был обнаружен свой период, который может быть проинтерпретирован как классический глитч. Таким образом, на основании новых наблюдательных данных можно утверждать, что причина квазипериодического хода МПИ двух этих пульсаров вновь становится открытой для теоретической интерпретации.

Список литературы

- [1] G. S. Downs, P. E. Reichley, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 53, 169 (1983)
- [2] T. V. Shabanova, *Astrophys. J.*, 453, 779 (1995)
- [3] M. Konacki, W. Lewandowski, A. Wolszczan, O. Doroshenko, M. Kramer, *Astrophys. J.*, 519, L81 (1999)
- [4] Е. Д. Старовойт, А. Е. Родин, *Астрон. журн.*, 94, 944 (2017)
- [5] T. V. Shabanova, A. G. Lyne, J. O. Urama, *Astrophys. J.*, 552, 321 (2001)
- [6] T. V. Shabanova, *Astrophys. J.*, 700, 1009 (2009)

*E-mail: potap@prao.ru

Эволюция магнитного поля нейтронных звезд

С. В. Попов^{1,2*}

¹ИГТ, Трисс, Италия

²РАШ МГУ

В докладе вкратце представлены ключевые предсказания об эволюции магнитных

полей нейтронных звезд и сопутствующих наблюдаемых проявлениях. Затем обсуждается воз-

можность существования магнитаров в двойных системах разных типов и рассматриваются воз-

можные кандидаты в такие объекты. Список включает в себя аккрецирующие нейтронные звезды,

гамма-источники и быстрые радиоплески. Обсуждается также сценарий, допускающий существование

нейтронных звезд с сильными магнитным полем в массивных рентгеновских двойных.

*E-mail: sergepopov@gmail.com

Последние результаты в области детектирования гравитационно-волнового фона

с помощью метода пульсарных сетей

Н. К. Порайко и Европейская пульсарная сеть

Университет Бинкока, Милан, Италия

МРПР, Бонн, Германия

Главной задачей проекта пульсарной сети является регулярный мониторинг нескольких десят-

ков миллисекундных пульсаров в радио диапазоне с целью детектирования динамических возму-

щений метрики пространства-времени. На сегодняшний день пульсарные сети являются единствен-

ным способом обнаружения гравитационно-волнового (ГВ) излучения в наноперевом диапазоне

частот. Наблюдение часто осуществляется источником метрических возмущений на данных части-

тах является ЛВ Фон, генерируемый ансамблем сверхмассивных двойных чёрных дыр, которые

теоретически могут находиться в центрах галактик. В докладе будут подведены итоги 25-летней

работы Европейской пульсарной сети, занимающейся сбором пульсарных данных с помощью пяти

крупнейших радиотелескопов в Европе. Будут приведены детали обработки пульсарных данных, а

также современные методы детектирования астрофизических сигналов на фоне коррелированных

помех. В конце доклада будут рассмотрены характерные особенности, обнаруженные в данных

Последнее наблюдение гамма-всплесков: новые наблюдения и согласованная модель релятивистской ударной волны

Е. В. Дершев*

ИПФ РАН

Последнее наблюдение гамма-всплесков характерно тем, что оно является широким спектром, которое

обусловлено синхротронным и обратным комптоновским излучением ускоренных электронов. Хотя

эти радиационные процессы распространены в космосе, релятивистские ударные волны и связанные

с ними эффекты являются механизмом обратной связи, который отличает их от других мест

ускорения частиц. Обратная связь осуществляется за счёт неупругих столкновений высокоэнерге-

тических обратных комптоновских фотонов с низкоэнергетическими синхротронными фотонами.

При этом рождаются электрон-позитронные пары в области, где скорость потока релятивистская

по отношению к источнику фотонов. Пары поглощают энергию от разницы в скорости потока и, в

свою очередь, излучают новые фотоны. Эта цепь событий реализуется геттономный пикли конверсион-

но-до режима нелинейного насыщения, при котором передача импульса фотонами высокой энергии

поддерживает высокую скорость потока на минимальном уровне, необходимом для работы меха-

низма. Таким образом формируется равновесная ударная волна. Важен возникает при приближе-

нии к максимальной эффективности, когда фотонам обратного комптоновского пика в спектре уда-

ет преодолеть поглощение как синхротронного, так и обратного комптоновского пиков, а также

соотношение их высот. Наблюдения ТЭВ-ного излучения от послесвечения гамма-всплесков (пика

немногочисленные) хорошо согласуются с этим предположением. В докладе обсуждаются интер-

претация спектров послесвечения гамма-всплесков с точки зрения модели равновесной ударной

волны, а также наблюдение обсерватории LHAASO, которые открывают новые возмож-

ности для изучения природы порождающей гамма-всплеск звезды. Работа поддержана грантом РФФ

21-12-00416.

*E-mail: derishev@apf.sci.mos.ru

Мантия нейтронных звёзд: что предсказывают расширенный метод Томаса-Ферми и сжимаемая капельная модель?

Н. А. Земляков^{1*}, Н. Н. Щечилин², А. И. Чугунов¹, М. Е. Гусаков¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Institut d'Astronomie et d'Astrophysique, Université Libre de Bruxelles, Брюссель, Бельгия

Одним из уникальных свойств нейтронных звёзд является возможность существования особого слоя между корой и ядром звезды – мантии, в которой ядерная материя кластеризована в одномерные или двумерные структуры. Мантия может оказывать значительное влияние на различные аспекты эволюции нейтронных звёзд: тепловое остывание, распад магнитного поля и т.д. В докладе мы сосредоточились на том, как на предсказания структуры мантии влияет выбранный метод исследования. Для этого мы выбрали конкретную модель межнуклонного потенциала (SLy4) и провели расчёты с использованием двух подходов: расширенного метода Томаса-Ферми (ETF) и сжимаемой капельной модели (CLDMnc), основанной на термодинамически согласованном описании поверхностной энергии двухфазной границы. Отметим, что в CLDMnc поверхностная энергия была специально рассчитана методом ETF, предполагая плоскую границу раздела и используя тот же межнуклонный потенциал (SLy4). Согласно расчётам методом ETF нейтронная звезда должна содержать мантию, состоящую из цилиндрических ядерных кластеров («спагетти»), инверсных цилиндрических ядерных кластеров («букатини») и инверсных сферических ядерных кластеров («швейцарский сыр»). Однако расчёты в рамках CLDMnc предсказывают более тонкий слой мантии, состоящий только из цилиндрических ядерных кластеров. Проведено сравнение с уже имеющимися в литературе расчётами для потенциала SLy4. В частности, недавние расчёты [1] в рамках другой формулировки сжимаемой капельной модели, которая учитывает поправки к плотности поверхностной энергии, связанные с кривизной капли, но не учитывает адсорбцию нейтронов на поверхность кластера (что, строго говоря, делает невозможным термодинамически согласованное описание поверхностных свойств), оказываются ближе к нашим расчётам методом ETF, чем CLDMnc. Указанный факт подчёркивает важность учёта поправок на кривизну для расчёта мантии в рамках сжимаемой капельной модели. Результаты опубликованы [2]. Работа поддержана Российским научным фондом (грант 22-12-00048).

Список литературы

- [1] H. Dinh Thi, T. Carreau, A. F. Fantina, F. Gulminelli, *Astron. Astrophys.*, 654, A114 (2021)
 [2] N. N. Shchepochin, N. A. Zemlyakov, A. I. Chugunov, M. E. Gusakov, *Universe*, 8, 582 (2022)

*E-mail: zemnic5@gmail.com

Реверберация торов двухторовой рентгеновской пульсарной туманности в созвездии Парусов

А. Е. Петров^{1*}, К. П. Левенфиш¹, Г. А. Пономарёв^{1,2}

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²СПбПУ Петра Великого

Трансзвуковое движение пульсара относительно внешней среды может способствовать формированию у него двухторовой пульсарной туманности. Этот двойной тор как целое испытывает реверберацию под действием напорного давления натекающей среды. При этом реакция обоих торов на этот напор однородна по азимуту, если среда натекает на пульсар параллельно оси туманности. Если же внешний поток атакует туманность под некоторым углом к её оси, подветренные половинки торов откликаются на действие внешнего потока с некоторой задержкой относительно их наветренных половинок. Эта задержка может приводить к любопытному явлению «повиливания» яркого сегмента подветренного джета двухторовой туманности. На основе релятивистской магнитогидродинамической модели такой туманности мы исследуем динамику её плазменных течений, которые могут приводить к возникновению явления «повиливания». Модель, в частности, позволяет естественным образом связать влияние яркого сегмента подветренного (юго-восточного) джета туманности пульсара в созвездии Парусов (Vela) с реверберацией её торов. Численное моделирование пульсарной туманности выполнено А.П. при поддержке гранта РНФ 21-72-20020.

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

Джет пульсарной туманности как индикатор движения пульсара относительно среды

Г. А. Пономарёв^{1,2*}, К. П. Левенфиш¹, А. Е. Петров¹

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²СПбПУ Петра Великого

В работе исследуются пульсарные туманности с морфологией «джет – тор», подобной той, что видна на рентгеновских снимках Крабовидной туманности (Crab) и пульсарной туманности в созвездии Парусов (Vela). У большинства джет-торовых объектов джет и контр-джет разительно непохожи, а иногда один из джетов не наблюдается вовсе. Указанные явления, согласно нашим исследованиям, могут быть следствием относительного движения пульсара и внешней среды. Даже дозвуковое относительное движение существенно меняет картину магнитных истечений туманности и её наблюдательное проявление в рентгеновском диапазоне; кроме того, оно привносит дополнительную временную переменность в высокоэнергичное нетепловое излучение туманности. Обычно относительным движением пренебрегают при интерпретации рентгеновской морфологии несверхзвуковых туманностей. На примере релятивистской магнитогидродинамической модели мы показываем, что подобное пренебрежение может привести к неверному истолкованию рентгеновской структуры туманности и, как следствие, к ошибочному приписанию её к одно- или двухторовым объектам. Численное моделирование пульсарной туманности выполнено А.П., поддержанным грантом РНФ 21-72-20020. Анализ и интерпретация численных и наблюдательных данных выполнены К.Л. и Г.П., поддержанными базовым проектом ФТИ 0040-2019-0025.

*E-mail: georgy.ponomaryov@gmail.com

Оценка параметров эволюции магнитного поля радиопульсаров

с учётом эволюции магнитного угля

Г. А. Перевезер^{1*}, А. В. Бирюков^{2,3,4}

¹РУДН имени П. Лумумбы

²ГАНИМ МГУ

³Физический факультет НИУ ВШЭ

⁴Институт физики КФУ

Наблюдаемая статистика параметров вращения пульсаров (их периоды P и провоздные P) определяется, в том числе, темпом эволюции их магнитных полей. Поэтому логично исследовать

затухание последних на основе наблюдаемого замедления вращения пульсаров. Здесь, однако, воз-

никают две проблемы: 1) значительные не моделируемые вариации P , наблюдаемые как шум так

минта пульсаров и аномальные показатели торможения: 2) эволюция магнитного угля α , способная

замаскировать медленную эволюцию поля, так как $P \propto B^2(1 + \sin^2 \alpha)$ [1]. В нашей работе предла-

ется простой подход, решающий эти две проблемы. Мы исследуем статистику периодов вращения

P и возрастов t одиночных пульсаров, исключая P из анализа явным образом. В качестве возрас-

тов t используются кинематические возраста t_{kin} , оценённые из движения пульсаров в Галактике

и числу интервала магнитного поля $\chi(t) = \int B^2(t) dt$. Можно показать, что она не зависит явно

от P , но известным образом зависит от α , α_0 , P и P_0 – то есть учитывает и эволюцию угля тоже.

Использование универсальных распределений для P_0 и α_0 позволило проанализировать наблюдае-

мую зависимость $\chi(t)$ для 82 радиопульсаров с известными возрастами (от 1 тыс. лет до 10 млн

лет) и периодами. Предполагая эволюцию магнитного поля в простом феноменологическом виде

$B(t) = B_0(1 + t/\tau_m)^{-\beta}$, мы получили, что исследуемая выборка согласуется со следующим набором

параметров модели: $\log(B_0[\text{G}]) = -11.5 \pm 0.2$, $\log(\tau_m[\text{kyr}]) = 4.0 \pm 0.8$ и $\beta = 0.28 \pm 0.05$.

Список литературы

[1] A. Philippov, A. Tchekhovskoy, J. C. Li, Mon. Not. R. Astron. Soc., 441, 1879 (2014)

Влияние конечных размеров нуклонных кластеров на угловые свойства

внутренней коры и мантии нейтронной звезды

Н. А. Земляков*, А. И. Чулунов

ФТИ им. А. Ф. Иоффе

В докладе рассмотрены угловые свойства внутренних слоев коры и фазы плиндрических

кластеров («спалетти») в мантии нейтронной звезды. Показано, что при возникновении в этих

чекский потенциал, который приводит к изменению их формы. Получены простые аналитические

формулы для описания угловых свойств. В частности, показано, что угол деформации кластеров

в рамках принятой нами модели может быть описан фактором подавления, уменьшающим

угловые коэффициенты. Этот фактор не содержит явной зависимости от используемой ядерно-

физической модели и является функцией только доли объёма, занимаемого кластером. Явный вид

фактора подавления зависит от формы кластера; в докладе он получен для сферических кластеров

внутренней коры нейтронной звезды и фазы плиндрических кластеров («спалетти») в мантии.

Список литературы

[1] N. A. Zemiakov, A. I. Chulunov, Mon. Not. R. Astron. Soc., 518, 3813 (2023)

[2] N. A. Zemiakov, A. I. Chulunov, Universe, 9, 220 (2023)

*E-mail: zemnic5@gmail.com

Оптические наблюдения двойных систем

4FGC J1838.2+3233 и PSR J1622-0315

Д. А. Зюзин^{1*}, А. В. Карпова¹, Ю. А. Шибанов¹, С. В. Жариков², А. Ю. Кирichenko^{2,1}

¹ФТИ им. А. Ф. Иоффе

²Instituto de Astronomia, UNAM, Мехико, Мексика

Представлены результаты оптических наблюдений двух двойных систем: (1) с миллисекунд-

ным пульсаром PSR J1622-0315 и (2) возможного компаньона гамма-источника 4FGC

J1838.2+3233, предположительно являющегося миллисекундным пульсаром. Наблюдения проо-

дигли на 2.1-метровом телескопе обсерватории Сан Педро Мартин (Мексика) в положениях В, V, R и I.

Для пульсара J1622-0315, который относится к классу так называемых «астралайских видов» (или

«красноспинных пауков»; “redbacks”), были получены кривые блеска. Они имеют два пика за ори-

табельный период 3.8 часа, которые связаны с приливной деформацией звездно-компаньона. Также

мы показали, что точечный оптический источник с координатами RA=18 38 16.773 и Dec=+32

24 11.1, согласующимся с положением 4FGC J1838.2+3233, является переменным с периодом

монстрирует вспышечную активность в оптическом и рентгеновом диапазонах. Наблюдаемые

свойства позволяют отнести 4FGC J1838.2+3233 к классу так называемых «чёрных вдов» (“black

widows”). Вариации блеска этой системы объясняются нагретом сторонам компаньона, обрабатной

к пульсару; ветром и/или излучением пульсара. Будут обсуждаться параметры этих двух систем.

*E-mail: dazyuzin@gmail.com

*E-mail: grxbower@gmail.com

Аномальная термодинамика энтропийных фазовых переходов

И. Л. Иосилевский^{1,2*}, В. К. Грязнов³

¹ОИВТ РАН

²МФТИ

³ФИЦ ПХФ и МХ

На примере сравнительного анализа двух фазовых переходов (ФП), активно обсуждаемых в физике нейтронных звёзд, – перехода типа газ-жидкость (GLPT) в плотной ядерной материи и кварк-адронного фазового перехода (QHPT) – объясняется ранее предложенное [1] разделение ФП 1-го рода на два подкласса – «энтальпийных» и «энтропийных» ФП (H -PT и S -PT). Главное, что отличает S -PT от H -PT, – это радикальное различие физических механизмов (драйверов), реализующихся в этих двух типах ФП. Так, если в «обычном» (ван дер Ваальсовом) переходе GLPT (это H -PT) система самопроизвольно сжимается («конденсируется») ради выигрыша (т.е. понижения) энтальпии, то в более сложном (и менее изученном) энтропийном типе перехода QHPT система самопроизвольно сжимается, напротив, ради выигрыша (т.е. повышения) энтропии за счёт принудительной (пусть и энергозатратной) делокализации каких-либо связанных комплексов (в случае QHPT это деконфайнмент). Как следствие вышеуказанного базового отличия в докладе иллюстрируются результирующие различия в структуре и свойствах фазовых диаграмм H -PT и S -PT, в номенклатуре и топологии их стабильных и метастабильных зон, в частичной многозначности («многослойности») некоторых термодинамических поверхностей и др. Особенно важно, что в отличие от хорошо изученного H -PT, изоструктурный S -PT не является одиночным объектом, а всегда выступает «в связке» с сопряжённой с ним зоной аномальной термодинамики (ATR), примакающей к высокотемпературной околоскритической области S -PT. Такая аномальность ATR частично известна и заключается в одновременной отрицательности большой группы обычно положительных вторых перекрёстных производных термодинамического потенциала (например, параметр Грюнайзена и коэффициент теплового расширения [2]). В докладе обсуждаются как термо-, так и гидродинамические следствия указанной аномальности уравнения состояния в зоне ATR.

Список литературы

- [1] I. Iosilevskiy, Enthalpic and entropic phase transitions in high energy density nuclear matter, in *Physics of Extreme States of Matter*, Eds. V. Fortov et al. (IPCP RAS Pub.: Chernogolovka, 2013), 136; arXiv:1403.8053
- [2] I. Iosilevskiy, Entropic and enthalpic phase transitions and accompanying anomalous thermodynamics of high energy density nuclear matter, in *Proceedings of the IV International Conference “Compact Stars in the QCD Phase Diagram” (CSQCD-IV)*, Prerow, Germany, 2014, edited by D. Blaschke and T. Fischer, eConf C140926, (2015); arXiv:1504.05850

*E-mail: ilios@ihed.ras.ru

Проблемы нуклеосинтеза тяжёлых элементов и килоновые

И. В. Панов^{1,2*}

¹ККТЭФ НИЦ Курчатовский институт

²МФТИ

Наблюдения лантанидов в спектрах килоновой после регистрации гамма всплеска и гравитационных волн [1] подтвердили теоретические сценарии r -процесса [2], связанные со слиянием нейтронных звёзд в конце эволюции тесной двойной системы, сопровождающимся сильным электромагнитным излучением. В результате многочисленных исследований процесса слияния нейтронных звёзд и регистрации таких событий стало ясно, что этот сценарий является основным для образования большинства тяжёлых элементов в r -процессе; его варианты и различные проблемы нуклеосинтеза и будут обсуждаться в докладе. Эволюция нейтронных звёзд в тесных двойных системах сильно зависит от их масс. Процесс слияния нейтронных звёзд близких масс изучен достаточно хорошо, но при сильном различии масс нейтронных звёзд сценарий слияния развивается совсем иначе [3]; по-другому развивается и нуклеосинтез тяжёлых элементов [4,5]. Мы обсудим нуклеосинтез в обоих сценариях, уделив внимание слиянию нейтронных звёзд, сильно различающихся по массе, когда происходит перетекание вещества с менее массивного компаньона на более массивный, что приводит к взрыву маломассивного компонента двойной системы по достижении гидродинамически неустойчивой конфигурации [3]. Динамика нуклеосинтеза, как и самого выброса, в таком сценарии отличается от «стандартного» слияния двух нейтронных звёзд примерно равных масс, однако результаты моделирования в этих двух сценариях близки. Обсуждаются нерешённые вопросы динамики нуклеосинтеза, характерные для обоих сценариев. Автор благодарен Российскому научному фонду (проект 21-12-00061) за финансовую поддержку.

Список литературы

- [1] N. R. Tanvir, A. J. Levan, C. González-Fernández, et al. *Astron. J.*, 848, L27 (2017)
- [2] J. Cowan, C. Sneden, J. E. Lawler, et al. *Rev. Mod. Phys.*, 93, 015002 (2021)
- [3] С. И. Блинныеков, Д. К. Надёжин, Н. И. Крамарев, А. В. Юдин, *Астрон. журн.*, 98, 379 (2021) [S. I. Blinnikov, D. K. Nadyozhin, N. I. Kramarev, A. V. Yudin *Astron. Rep.*, 65, 385 (2021)]
- [4] И. В. Панов, А. В. Юдин, *Письма в Астрон. журн.*, 46, 552 (2020) [I. V. Panov, A. V. Yudin, *Astronomy Lett.*, 46, 518 (2020)]
- [5] И. В. Панов, А. В. Юдин, *Ядерная физика*, 86, 4 (2023) [I. V. Panov, A. V. Yudin, *Phys. At. Nucl.*, 86, 1 (2023)]

*E-mail: igor.panov@itep.ru

Диссипация магнитного поля в ядрах нейтронных звезд с мюонами

Д. Д. Офенгеим^{1,2*}, М. Е. Гусakov¹, А. Ю. Потехин¹

¹ИТИ им. А. Ф. Иоффе

²Брянский университет г. Брянска, Брянск

¹МФТИ

²ФИАН

А. Ю. Истомин^{1,2*}, В. С. Бескин^{1,2}, П. Е. Литвинов¹

Линия смерти радиопульсаров – «долина смерти»

Магнитные поля нейтронных звезд (НЗ) ответственны за многие наблюдаемые проявления этих объектов. В числе прочего, диссипация магнитного поля в ядрах НЗ служит источником тепла в сильно замагниченных НЗ (магнетарах), обеспечивая их аномально высокую тепловую светимость. Подвержением того, что магнитные поля частично ответственны за тепловые состояния нейтронных звезд, является наличие наблюдаемой «линии температурной багаса» — корреляции тепловой светимости-НЗ, являющейся наглядным примером «линии температурной багаса» — корреляции тепловой светимости-НЗ, которая различается по-разному. Большие различия в эволюции магнитного поля в ядре, и эволюция магнитного поля в этих областях тоже протекает по-разному. В настоящее время исследование магнито-тепловой эволюции НЗ должно включать затухание магнитного поля в их ядрах. Решение этой задачи затруднено более сложной физикой вещества ядра, а большинство исследований (например, [2] и ссылки там) организовывается рассмотрением эволюции поля в коре. Полное исследование магнито-тепловой эволюции НЗ должно включать затухание магнитного поля в их ядрах. Решение этой задачи затруднено более сложной физикой вещества ядра, а большинство исследований (например, [3–5]) рассматривает приближенные минимального бета-равновесного состояния ядра НЗ (нейтронь, протоны и электроны). В данной работе в рамках квазистационарного подхода [3,6] рассмотрена магнито-динамическая эволюция НЗ с мюонами (т.е. с более реалистичным составом). Рассчитаны темпы диссипации магнитного поля за счет основных механизмов (неравновесные реакции, трение между нуклонами, трение между заряженными частицами). С помощью новейших методов теоретического моделирования НЗ, применяемых в магнитных линиях «между суммарной мощностью охлаждения НЗ и ее нагревом за счет диссипации магнитного поля в ядре с наблюдаемым положением этой «линии». Показано, что используемая модель даёт хорошую нижнюю оценку положения «линии температурной багаса» на диаграмме светимости – магнитное поле для баллистического аналога НЗ. Это означает, что влияние затухания магнитного поля в ядре на магнито-тепловую эволюцию НЗ сопоставимо с влиянием диссипации поля в коре. Работа поддержана грантом РФФ 22-12-00048.

Список литературы

- [1] J. A. Pons, B. Link, J. A. Miralles, U. Geppert, Phys. Rev. Lett., 98, 071101 (2007)
- [2] C. Dehman, D. Viganò, J. A. Pons, N. Rea, Mon. Not. R. Astron. Soc., 518, 1222 (2023)
- [3] P. Goldreich, A. Reisenegger, Astrophys. J., 395, 250 (1992)
- [4] F. Castillo, A. Reisenegger, J. A. Valdivia, Mon. Not. R. Astron. Soc., 498, 3000 (2020)
- [5] D. D. Ofengim, M. E. Gusakov, Phys. Rev. D, 98, 043007 (2018)
- [6] M. E. Gusakov, E. M. Kantor, D. D. Ofengim, Phys. Rev. D, 96, 103012 (2017)
- [7] M. V. Beznogov, A. Y. Potekhin, D. G. Yakovlev, Phys. Rep., 919, 1 (2021)

Темп раскрутки аккреционных пульсаров

Н. Р. Ихсанов^{1,2*}, В. Ю. Ким^{1,3}, Н. Г. Бескровная^{1,4}

¹ГАО РАН

²ИПА РАН

³ДФИФ, Казахстан

⁴САО РАН

Периоды аккрецирующих рентгеновских пульсаров не постоянны. Они непрерывно меняются, то увеличиваясь, то уменьшаясь, демонстрируя большое разнообразие форм ротационной эволюции нейтронной звезды, являющейся основным источником рентгеновского излучения этих объектов. Наряду с продолжительными (месяцы, годы) трендами роста или уменьшения периода пульсаров наблюдаются эпизодические (дни, недели) вариации, в течение которых раскрутка или торможение вращения нейтронной звезды происходят с аномально высоким темпом. В большинстве случаев эти изменения периода пульсара возникают спонтанно и слабо коррелируют с изменениями потока рентгеновского источника (см., например, [1] и приведённую там литературу). Определение темпа изменений периода пульсара позволяет оценить величину момента силы, приложенного к нейтронной звезде, и ограничить список возможных причин, приводящих к ее ротационной эволюции. В частности, наблюдаемый темп эпизодов раскрутки некоторых пульсаров существенно превосходит величину, ожидаемую в модели падения аккреционного потока из диска на поверхность звезды (т.е. произведение удельного углового момента вещества, расположенного на внутреннем радиусе кеплеровского аккреционного диска, на темп аккреции этого вещества на поверхность звезды). Мы показываем, что этот результат закономерен, т.к. величина момента силы, приложенного к нейтронной звезде вследствие взаимодействия между аккреционным диском и ее магнитным полем на границе магнитосферы, при определённых условиях может существенно превосходить величину момента силы, обусловленного аккрецией вещества на поверхность звезды. В рамках предлагаемого нами сценария раскрутка и торможение вращения нейтронной звезды слабо зависят от изменений темпа аккреции, реализуемого в пульсаре, и могут происходить без видимого изменения рентгеновской светимости источника.

Список литературы

- [1] Н. Р. Ихсанов, Ю. С. Лих, Н. Г. Бескровная, *Астрон. журн.*, 91, 449 (2014) [N. R. Ikhsanov, Yu. S. Likh, N. G. Beskrovnaya, *Astron. Rep.*, 58, 37 (2014)]

*E-mail: nazar.ikhsanov@mail.ru

Свойства самоподобия уравнений состояния и кривых масса–радиус нейтронных звёзд

Д. Д. Оффенгейм^{1,2*}, П. С. Штернин¹, Ц. Пираи²

¹ФТИ им. А.Ф. Иоффе

²Еврейский университет г. Иерусалима, Израиль

Определение уравнения состояния сверхплотного вещества, в частности, зависимости давления P от плотности ρ , по данным наблюдений нейтронных звёзд (НЗ) является актуальной задачей. В литературе существует несколько сотен моделей уравнения состояния — нуклонных, гиперонных, гибридных (предсказывающих наличие кваркового внутреннего ядра НЗ), — основанных на различных подходах к микроскопическим свойствам вещества НЗ. Несмотря на различия в заложённой микрофизике, широкий набор таких моделей можно с высокой точностью описать одним семейством кривых $P - \rho$, которое задаётся всего несколькими параметрами [1]. Поскольку зависимость $P - \rho$ взаимно однозначно связана с зависимостью радиуса НЗ R от её массы M [2], семейство кривых $M - R$ должно задаваться таким же числом параметров. В данной работе на примере 160 моделей уравнения состояния показано, что в качестве двух из таких параметров удобно выбрать пару характеристик максимально массивной НЗ для данного уравнения состояния. Это могут быть её масса M_{\max} и радиус $R_{M_{\max}}$, либо давление P_{\max} и плотность ρ_{\max} в центре такой звезды. Безразмерные соотношения между массой и радиусом НЗ, $M/M_{\max} - R/R_{M_{\max}}$, при массах более $1M_{\odot}$ с высокой точностью оказываются однопараметрическим семейством. Так же ведут себя безразмерные уравнения состояния $P/P_{\max} - \rho/\rho_{\max}$ при плотностях более $3\rho_0$ (ρ_0 — плотность насыщенной ядерной материи), причём параметр семейства этих кривых определяется величинами P_{\max} и ρ_{\max} . Таким образом, максимально массивная НЗ задаёт удобные универсальные масштабы гидростатических характеристик любых НЗ. В работе представлены аналитические подгонки данных семейств кривых. Кроме того, между парами чисел M_{\max} , $R_{M_{\max}}$ и P_{\max} , ρ_{\max} существует (приближённое) взаимно однозначное соответствие [3], также описанное аналитическими подгонками. Эти подгонки, в совокупности с подгонками зависимостей $M - R$ и $P - \rho$, реализуют частичное приближённое аналитическое решение обратной задачи гидростатического равновесия НЗ. На основе этого решения предложен метод ограничения уравнения состояния при высоких плотностях по наблюдательным данным о массах и радиусах НЗ. В работе продемонстрировано, какие ограничения даёт этот метод при применении к современным результатам наблюдений НЗ. Работа поддержана грантом РНФ 19-12-00133-п.

Список литературы

- [1] L. Lindblom, *Phys. Rev. D*, 82, 103011 (2010)
 [2] L. Lindblom, *Astrophys. J.*, 398, 569 (1992)
 [3] D. D. Ofengeim, *Phys. Rev. D*, 101, 103029 (2020)

*E-mail: ddofengeim@gmail.com

Однофотонные процессы в сильном магнитном поле

Д. И. Наврнер, Д. Туричина

СПбГУ

Выделятся выражения для матричных элементов процессов излучения электроном фотона и рождение аэлектрон-позитронной пары одним фотоном в цилиндрических координатах; также рассмотрены матричные элементы обратных процессов. Указанные процессы излучения возможны в плазме с сильными магнитным полем. Рассчитываются вероятности переходов, а также коэффици-циенты эмиссии и ослабления излучения, возникающего при этом. Результаты будут применяться при интерпретации спектров нейтронных звезд.

*E-mail: dinagner@gmail.com

Прохождение гамма-всплеска через молекулярное облако

А. В. Нестеренок*

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Процессом облаке. Учитываются процессы фотоионизации атомов H, He и атомов металлов, фотоионизация и диссоциация молекул H₂, испарение частиц пыли, комптоновская ионизация, поглощение ультрафиолетового излучения молекулой H₂ в полосках Лаймана и Вернера. В работе рассчитана структура молекулярного облака (степень ионизации H, He и металлов, доля пыли в газе) после прохождения основного импульса гамма-всплеска и определена оптическая толщина в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне для последующего гамма-всплеска.

*E-mail: alex-n10@yandex.ru

- [1] D. G. Yakovlev, A. D. Kaminker, A. Y. Potekhin, P. Haensel, Mon. Not. R. Astron. Soc., 500, 4491 (2021)
 [2] J. in't Zand, Understanding superbursts, in "7 years of MAXI: monitoring X-ray Transients," eds. M. Setino et al. (RINKEN: Saitama, Japan, 2017), 121
 [3] L. Keek, A. Cumming, Z. Wolf, et al., Mon. Not. R. Astron. Soc., 454, 3559 (2015)
 [4] V. M. Kaspi, A. M. Beloborodov, Annu. Rev. Astron. Astrophys., 55, 261 (2017)

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

Список литературы

Проанализированы и систематизированы основные свойства глубоких протрех слоев внешней коры нейтронной звезды, в которых происходят накопления и выделение энергии, а также процессы распространения энергии и инитиации электроно-позитронных пар). Дана общая характеристика наиболее важных и унверсальных свойств внешней коры. К ним относятся: (1) Высокая температурность, позволяющая вращаться и удерживать энергию напорядка 10^{40} – 10^{43} эрг; (2) Эта энергия может быть выделена в результате быстрого тер-модегерного горения (главным образом, углерода) в глубоких слоях внешней коры (на глубину с плотностью 10^8 – 10^{10} г/см³). (3) Частота энергии этой энергии выносятся на поверхность звезды за время от десятков часов до нескольких месяцев, а часть стекает во внутреннюю кору за время около года (например, [1]). (4) Нейтринное охлаждение ограничивает температуру во внешней коре и возможность электромагнитного излучения с поверхности звезды; уже через несколько часов после окончания энергетического темпратура внешней коры не может превышать 3×10^9 K. Указанные свойства внешней коры нейтронной звезды важны для построения теоретических моделей глубоких слоев звезды [1–3]. Эти же свойства логичны прояв-ляются и при сверхвыпещек аккрецирующих нейтронных звезд [1–3]. Эти же свойства логичны прояв-ляются и при сверхвыпещках или обычных выпещках магнетаров [4] в их внутренней или внешней коре под действием сверхсильных магнитных полей. Кроме того, эти свойства важны в молодых и горячих нейтронных звездах, прошедших стадию протон-нейтронной звезды. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 19-12-00133.

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

А. Д. Каминкер, А. Ю. Потехин, Д. Г. Яковлев

Внешняя кора нейтронных звезд как резервуар энергии и регулятор её распространения

Нейтронные звёзды в теории гравитации с неминимальной производной связью скалярного поля и тензора Эйнштейна

П. Е. Кашаргин*, С. В. Сушков

КФУ

Теория гравитации Хорндески – это модифицированная теория гравитации со скалярным полем наиболее общего вида, в которой соответствующие уравнения движения имеют порядок не выше второго. Теория Хорндески обобщает большинство известных моделей со скалярным полем, которые используются в современной космологии. Помимо общей теории относительности, теория Хорндески включает множество скалярно-тензорных теорий, в том числе теорию гравитации с неминимальной производной связью тензора Эйнштейна и скалярного поля. В работе мы рассматриваем компактные звёзды в теории гравитации с неминимальной производной связью скалярного поля и тензора Эйнштейна. Вакуумное решение в этой модели описывает чёрную дыру с асимптотикой анти-де Ситтера и имеет нетривиальное скалярное поле. Нейтронные звёзды в этой теории были рассмотрены ранее в случае нулевой космологической постоянной $\Lambda_0 = 0$, а также в отсутствие кинетического члена у скалярного поля, $\alpha = 0$ [1]. В данной работе мы обобщаем эти исследования на случай $\Lambda_0 \neq 0$ и $\alpha \neq 0$ [2]. Было показано, что диаграммы масса-радиус в этом случае существенно отличаются от диаграмм в модели $\alpha = \Lambda_0 = 0$; а именно, радиус монотонно убывает с уменьшением массы. Такая особенность характерна для так называемых странных звёзд. Также показано, что звёзды в теории гравитации с неминимальной производной связью более компактны по сравнению с нейтронными звёздами в немодифицированной теории, а также в модели $\alpha = \Lambda_0 = 0$. В работе кратко обсуждается устойчивость рассматриваемой модели и показывается, что данная модель устойчива в широком диапазоне параметров.

Список литературы

- [1] A. Cisterna, T. Delsate, M. Rinaldi, Phys. Rev. D, 92, 044050 (2015).
 [2] P.E. Kashargin, S.V. Sushkov, JCAP, 2023, 01, 005 (2023).

*E-mail: pkashargin@mail.ru

Магниторотационный механизм вспышек сверхновых

С. Г. Моисеенко*, Г. С. Бисноватый-Коган

ИКИ РАН

Магниторотационный (МР) механизм взрыва коллапсирующих сверхновых был предложен Г.С. Бисноватым-Коганом в 1970 году. Идея МР механизма состоит в том, что радиальная кинетическая энергия разлета вещества (энергия взрыва сверхновой) возникает благодаря трансформации энергии вращения сколлапсировавшего железного ядра при помощи магнитного поля. Результаты численного моделирования МР взрыва сверхновой показывают, что форма взрыва качественно зависит от топологии начального магнитного поля. Взрыв может происходить преимущественно вдоль экваториальной плоскости (начальное поле квадрупольного типа симметрии) либо вдоль оси вращения (начальное магнитное поле – диполь). Энергия МР взрыва сверхновой может составлять до $(2-4) \times 10^{51}$ эрг, что соответствует наблюдательным данным. В процессе МР взрыва возможно развитие магнитной дифференциально-вращательной неустойчивости. Максимальные значения магнитной индукции, полученные в расчётах, достигают 10^{14} Гаусс. При наличии начального тороидального поля в дополнение к начальному полоидальному полю, а также когда начальное полоидальное поле представляет собой суперпозицию диполя и квадруполья, возможно нарушение зеркальной симметрии МР взрыва сверхновой, формирование односторонних джетов и отскок нейтронной звезды.

*E-mail: moiseenko@cosmos.ru

Наблюдение рентгеновских миллисекундных пульсаров телескопом ART-XC обсерватории СРГ

С. В. Мошков*, А. А. Лутовинов, В. А. Арефьев, А. Ю. Ткаченко

ИКИ РАН

В докладе будет приведён обзор наблюдений быстровращающихся нейтронных звёзд телескопом ART-XC имени М.Н. Павлинского. Несмотря на то, что телескоп был разработан для задач сканирования больших областей на небесной сфере, его детекторы обладают хорошим временным разрешением (≈ 23 микросекунды), а бортовые часы достаточно стабильны, что даёт возможность проводить спектрально-временной анализ когерентных сигналов до периодов в несколько миллисекунд. Мы представим результаты наблюдений в основном по изолированным пульсарам, а также несколько наблюдений аккрецирующих миллисекундных пульсаров. Кроме того, проанализирована пригодность наблюдательных данных для абсолютного тайминга.

*E-mail: molkov@cosmos.ru

О природе трёхгорбых профилей пульсаров

Ф. А. Князев^{1*}, В. С. Бескин^{1,2}, А. Ю. Истомина¹, А. Г. Михайленко¹.

¹МФТИ

²ФИАН

Одной из нерешённых проблем остаётся вопрос о существовании пульсаров, имеющих трёхгорбый средний профиль, сформированный одной ортогональной модой. Идея о том, что трёхгорбые профили радиоизлучения пульсаров могут быть связаны только с обыкновенной О-модой за счёт её преломления в сторону магнитной оси была высказана уже более 20 лет назад. Однако в то время профиль плотности истекающей плазмы не был известен с достаточной точностью. В нашей работе мы воспользовались недавними результатами работы Бескина и Литвинова [1], в которой профиль плотности вторичной плазмы в рамках модели полого конуса был последовательно определён с учётом спектра изгибного излучения первичных частиц. Данный подход позволил рассчитать точную зависимость коэффициента преломления от координаты и позволил, в рамках приближения геометрической оптики, смоделировать траекторию луча в магнитосфере пульсара. В ходе работы были получены смоделированные, с учётом точного выражения для плотности истекающей плазмы, средние профили с ярко выраженными тремя горбами для различных пульсаров. Во всех случаях имеется хорошее согласие между предсказаниями теории и данными наблюдений.

Список литературы

- [1] V. S. Beskin, P. E. Litvinov, Mon. Not. R. Astron. Soc., 510, 2572 (2022)

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

Новый метод измерения дрейфа субимпульсов пульсаров

В. М. Малофеев^{*}, Т. В. Смирнова, С. А. Тюльбашев, М. А. Китаева

ПРАО АКЦ ФИАН

Предлагается методика измерения периодов второго и третьего класса у пульсаров, основанная на использовании суммарных фурье-спектров мощности [1,2]. С 2013 года на радиотелескопе БСА ФИАН ведётся круглосуточный поиск пульсаров в 96 пространственных лучах в интервале склонений от -9 до $+42$ градусов. Для повышения чувствительности поиска проводится суммирование спектров. При исследовании 68 известных и обнаруженных в ПРАО новых пульсаров было проведено суммирование от 500 до 1000 ежедневных спектров мощности. У части источников обнаружены две особенности в суммарных спектрах: модуляция амплитуд гармоник и появление у них спутников. Оказалось, что обе особенности связаны с дрейфом субимпульсов. Тщательный анализ и моделирование данных позволили измерить или уточнить у 12 пульсаров периоды второго класса, причём у четырех – впервые, а у восьми источников измерены периоды третьего класса, из них у двух – также впервые. Исследования проведены при поддержке грантов Российского научного фонда (РНФ) 22-12-00236 (<https://rscf.ru/project/22-12-00236/>) и 23-62-10043.

Список литературы

- [1] V. M. Malofeev, S. A. Tyulbashev, Research Astron. Astrophys., 18, 96 (2018)
 [2] T. V. Smirnova, S. A. Tyulbashev, M. A. Kitaeva, V. M. Malofeev, послано в печать (2023)

*E-mail: malofeev@prao.ru

Гидродинамическое моделирование структуры аккреционной колонки рентгеновского пульсара с учётом резонансного рассеяния

И. Д. Маркозов^{*}, А. Ю. Потехин, А. Д. Каминкер

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Работа посвящена радиационно-гидродинамическому моделированию потока плазмы на полюса нейтронной звезды. При соударении аккрецируемого вещества с поверхностью нейтронной звезды генерируется излучение в рентгеновском диапазоне, причём давление этого излучения настолько велико, что оно влияет на динамику аккрецируемой плазмы. Поэтому задачи о нахождении характеристик излучения рентгеновского пульсара и гидродинамики падающего вещества должны решаться самосогласованным образом. При этом необходимо учитывать, что сильное магнитное поле нейтронной звезды модифицирует амплитуды элементарных процессов взаимодействия излучения и вещества. В работе получено самосогласованное решение нестационарных уравнений радиационной гидродинамики, описывающих процесс аккреции. Перенос излучения моделируется методом Монте-Карло. Учитывается комптоновское рассеяние в магнитном поле с сечением, содержащим основной циклотронный резонанс. Показано, как наличие резонанса влияет на динамическую структуру аккреционной колонки. Работа И.М. была поддержана грантом Фонда развития теоретической физики и математики БАЗИС.

*E-mail: markozoviv@mail.ru

Акретирующие нейтронные звёзды по наблюдениям CRT

A. A. Lytovinov*

ИКИ РАН

К настоящему времени обсерватория Спектр-РТ провела несколько полных обзоров всего неба. Обзор большей части нашей Галактики телескопом ART-XC им. М.Н. Павлинского, а также значительное количество наблюдений наиболее интересных областей и объектов на небе. Среди зарегистрированных телескопом ART-XC источников сотен предствляют аккрецирующие нейтронные звёзды в двойных системах, как ранее известные, так и новые. В докладе будет представлен обзор полуречных обсерваторий Спектр-РТ резюльтатов по открытию и исследованию природы таких объектов, в том числе, с использованием многоволновых наблюдений совместно с другими наземными и космическими инструментами.

Работа поддержана грантом РФФИ 19-12-00423.

*E-mail: aal@cosmos.ru

Эволюция углов между вращения и магнитным моментом в радиопульсарах

И. Ф. Малов^{1*}, З. В. Кенцько²

¹ФИАН
²Белорусский государственный университет, Минск, Белоруссия

Получено распределение углов между магнитным моментом и осью вращения для радиопульсаров с периодами в интервале $0,1 < P < 2$ с. Это распределение оказалось довольно широким со средними значениями угла, равными 23 градуса. Для большей части пульсаров характерны умеренные значения углов от 20 до 45 градусов. Обнаружена полёзная зависимость между кинематическим возрастом пульсара и его характеристическим возрастом. Такая зависимость даёт возможность по характеристическому возрасту, указанному в каталоге ATNF, оценить его более близкий к реальному кинематический возраст. Показано, что углы наклона в пульсарах с $0,1 < P < 2$ с уменьшаются с возрастом. Обнаружено также вычислены углы наклона в пульсарах, находящийся в настоящий момент в остатках сверхновых. Эти углы не показывают заметного изменения в течение 10^6 лет. Их уменьшение начинается значительно позже.

*E-mail: malov41@mail.ru

Эффект Джозефсона в нейтронных звёздах как ключ к физике быстрых радиовсплесков (БРВ, FRB) и пульсаров

Ю. А. Ковалев*

АКЦ ФИАН

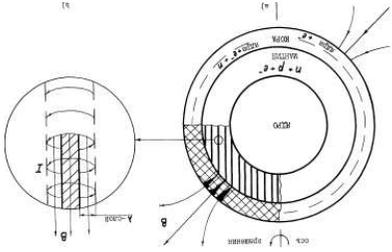


Рис. 1: Структура нейтронной звезды (а – slice (ва) и вихревой сверхпроводящей нити – с током $I > I_m$, магнитным полем B , нормальной сферической (защтрихована) и λ -слоем с микромостичьями в трещине частично погружены и ускорены камнями (б-справа). Трещины в коре (а) зачернены [3].

На поверхности образуются «горячие радиопитоны», и вблизи магнитных полюсов формируется гравитационная напряжённость излучения — в простейшем случае на частоте Джозефсона $\nu_0 \sim 10^7$ Гц и её гармониках. Сейчас ДНН даёт нам доступ к структуре импульсов — с поляризацей волновой моды $T E_{01}$ для 12 радиопульсаров [5]. Построена также модель пульсара в Кривовидной туманности [3].

Остало почти сразу Джозефсоновского БРВ, если после «звездотрясения»: 1) трещина быстро «запаяется» или 2) луч пульсара «уходит» от прежнего направления на наблюдателя (с новой прецессией) или 3) излучение «выключается». В случае 3 из-за возможного всплеска магнитного поля B может «переключиться» режим эффекта Джозефсона — с нестационарного (когда ток $I \propto B$ через микромостик превышает критический ток Джозефсона $I_m > I$, и излучение есть) на стационарный эффект (без излучения — когда $I \leq I_m$).

Список литературы

[1] С. В. Попов, К. А. Постнов, М. С. Пширков, Усп. физ. наук, 188, 1063 (2018) [Phys. Usp., 61, 965 (2018)]
 [2] Ю. А. Ковалев, Письма в Астрон. журн., 5, 390 (1979) [Yur. A. Kovalev, Soviet Astronomy Lett., 5, 210 (1979)]
 [3] Ю. А. Ковалев, Astrophys. Space Sci., 63, 19 (1979); 67, 397 (1980)
 [4] Л. Г. Асламзоев, А. И. Ларкин, Письма в ЖЭТФ, 9, 150 (1969) [L. G. Aslamzov, A. I. Larkin, JETP Lett., 9, 87 (1969)]
 [5] G. M. Laitonov, Y. Y. Kovalev, Astron. Astrophys. Trans., 11, 59 (1996)

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

Уравнения состояния ядерного вещества. Самосогласованные подходы

Е. Э. Коломейцев*, Д. Н. Воскресенский

Лаборатория теоретической физики ОИЯИ

Рассматриваются различные подходы к моделированию уравнения состояния ядерного вещества, пригодного для описания различных стадий формирования и эволюции нейтронных звёзд: модель Скирма, модель релятивистского среднего поля, функционал плотности энергии, вириальный подход и модель Ф-выводимого функционала. В центре внимания стоят вопросы согласованности подхода как с точки зрения термодинамики, так и с точки зрения согласованности со спектром элементарных возбуждений в среде. Эти вопросы становятся особенно актуальными в случае конечных температур. Кроме того, мы рассмотрим, какая экспериментальная информация о нуклон-нуклонном рассеянии, столкновениях тяжёлых ионов, холодных атомов и свойств нейтронных звёзд может быть использована для установления ограничений на уравнение состояния при разных плотностях.

Модели сверхкритической аккреции на замагниченные нейтронные звёзды

Г. В. Лицунова

MPfR, Бонн, Германия

В двойных системах может реализоваться режим аккреции на замагниченные нейтронные звёзды с таким большим темпом, что давление излучения определяет динамику движения вещества. В «сверхкритическом» режиме при достаточно слабом магнитном поле нейтронной звезды из диска может запускаться ветер, а в магнитосферном течении, при достаточно сильном магнитном поле, появляется радиационно-доминированная ударная волна и «вырастает» аккреционная колонка. В докладе будет представлен обзор моделей сверхкритических режимов для диска и магнитосферы.

Эффекты перестановочной неустойчивости при дисковой аккреции на замагниченные нейтронные звёзды

Д. Д. Лисицин*, Н. И. Шакура

ГАИШ МГУ

Авторами был проведён анализ неустойчивости перестановочного типа на внутреннем крае тонкого диамагнитного аккреционного диска. Использована модель конфигурации магнитного поля из статьи [1]. Для анализа неустойчивости авторами было выведено дисперсионное соотношение с учётом кеплеровского вращения диска. Также было показано, что кеплеровское вращение не стабилизирует неустойчивость, если она возникает. В рамках рассмотрения перестановочной неустойчивости авторами был выведен внутренний радиус аккреционного диска. Показано, что характер эволюции внутреннего радиуса не отличается от альфвеновского, причём коэффициент пропорциональности зависит только от α -параметра турбулентности и не зависит от толщины диска. Также было проведено сравнение поведения внутреннего радиуса в случае дисковой и квазисферической аккреции.

Список литературы

- [1] J. J. Aly, Astron. Astrophys., 86, 192 (1980)

*E-mail: lisitsin_2000@mail.ru

Корреляционный анализ динамического спектра радиопульсара B0329+54 методом периодических главных компонент: Определение частотного периода, фазы и дрейфа фарадеевского вращения девяти компонент импульса и структура источника излучения

Вл. В. Кочаровский^{1*}, В. В. Вдовин¹, А. С. Гаврилов¹, Е. Р. Кочаровская¹,
С. В. Логвиненко², Е. М. Лоскутов¹, В. М. Малофеев²

¹ИПФ РАН

²ПРАО АКЦ ФИАН

Развит метод периодических главных компонент для сигналов со сложным квазипериодическим динамическим спектром, свойственным радиопульсарам. Метод основан на анализе собственных векторов и собственных значений матриц частотно-временных запаздывающих корреляций сигнала. На примере наблюдений PSR B0329+54 радиотелескопом ПРАО АКЦ ФИАН вблизи частоты 111 МГц в полосе 2,5 МГц показано, что даже для очень коротких интервалов наблюдения (порядка нескольких минут) развитый метод обеспечивает выделение всех 9 известных компонент импульса его излучения и даёт возможность найти степень корреляции между ними, и для каждой компоненты с высокой точностью порядка 1–3 % определить меру вращения (с учётом вклада трассы распространения излучения в непосредственной окрестности и области генерации той или иной компоненты). В результате, несмотря на имеющийся джиттер радиоимпульсов PSR B0329+54, впервые удалось найти частотный период, относительную фазу и скорость дрейфа (чирпа) фарадеевского поворота плоскости поляризации излучения различных компонент импульса в эпоху наблюдений 2018–2021 гг. Таким образом, развитый метод открывает возможность судить о пространственной структуре многокомпонентного источника радиоизлучения в магнитосфере вращающейся нейтронной звезды, используя недоступную ранее информацию о миллисекундной динамике скоррелированных поляризационных составляющих этого излучения. Работа поддержана грантом РФФ 23-62-10043.

*E-mail: kochar@ipfran.ru

Окна неустойчивости релятивистских r -мод

К. Ю. Краав*, М. Е. Гусаков, Е. М. Кантор

ФТИ им. А.Ф. Иоффе

Из многочисленных колебаний нейтронных звёзд r -моды наиболее перспективны с точки зрения гравитационно-волновых наблюдений, поскольку они наиболее сильно подвержены неустойчивости CFS (Chandrasekhar-Friedman-Schutz) по отношению к излучению гравитационных волн. Эволюция r -моды, помимо CFS-механизма, также определяется диссипативными механизмами в звёздном веществе. Те сочетания звёздных параметров (температура и скорость вращения), при которых CFS-механизм сильнее диссипации, соответствуют так называемым окнам неустойчивости r -мод. Чаще всего окна неустойчивости строятся для ньютоновских r -мод в предположении баротропного уравнения состояния звёздного вещества, а диссипация считается обусловленной сдвиговой и объёмной вязкостью. В данной работе мы расширяем описанную минимальную модель, учитывая небаротропность уравнения состояния, эффекты общей теории относительности, а также усиленную диссипацию за счёт диффузии в сверхпроводящем звёздном веществе. Показано, что данные эффекты в существенной степени влияют на окна неустойчивости r -мод и на времена раскачки/затухания r -мод за счёт CFS-неустойчивости и диссипативных механизмов. Работа поддержана грантом РФФ 22-12-00048

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

Учёт раскрутки массивного компонента в модели обдирания нейтронных звёзд для коротких гамма-всплесков

Н. И. Крамарев^{1,2*}, А. В. Юдин¹

¹ККТЭФ НИЦ Курчатовский институт

²ГАИШ МГУ

С помощью аналитических методов исследованы последние стадии эволюции двойной системы нейтронных звёзд (НЗ), которая, в зависимости от начальных масс компонент, может происходить как в рамках сценария слияния НЗ, так и в рамках модели обдирания [1]. Основным новым ингредиентом по сравнению с более ранними расчётами [2, 3] является учёт раскрутки массивного компонента [4], что ведёт к существенному уменьшению времени устойчивого перетекания вещества в механизме обдирания. В рамках ньютоновского приближения определена массовая граница между сценариями слияния и обдирания НЗ. Показано, что эта граница слабо зависит от полной массы системы и определяется, в основном, начальным отношением масс компонент. Сценарий обдирания реализуется при $M_2/M_1 \lesssim 0.8$, и тем самым должен давать большой вклад в популяцию близких к нам гравитационно-волновых событий от сливающихся систем НЗ–НЗ и сопутствующих им коротких гамма-всплесков. Также исследована зависимость времени устойчивого перетекания вещества от уравнения состояния вещества НЗ в области малых масс. Получено независимое ограничение сверху на параметр зависимости энергии симметрии ядерной материи от плотности: $L < 114.5$ МэВ.

Список литературы

- [1] С. И. Блинные, И. Д. Новикова, Т. В. Переводчикова, А. Г. Полнарев, Письма в Астрон. журн., 10, 422 (1984) [S. I. Blinnikov, I. D. Novikov, T. V. Perevodchikova, A. G. Polnarev, Soviet Astronomy Lett., 10, 177 (1984)]
- [2] J. P. A. Clark, D. M. Eardley, Astrophys. J., 215, 311 (1977)
- [3] S. Blinnikov, A. Yudin, N. Kramarev, M. Potashov, Particles, 5, 198 (2022)
- [4] N. Kramarev, A. Yudin, Mon. Not. R. Astron. Soc., 522, 626 (2023)

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