

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Карповой Анны Викторовны «**Гамма-пульсары J1741-2054 и J0633+0632, радиотуманность DA 495 и остаток сверхновой G350.0-2.0 в рентгеновском диапазоне**», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия

Диссертационная работа Карповой А.В. посвящена наблюдениям и исследованиям в рентгеновском диапазоне нескольких нейтронных звезд -- гамма-пульсаров и остатков сверхновых. Несмотря на активные исследования в последние полвека, наблюдения нейтронных звезд и ассоциированных с ними туманностей во всем спектре электромагнитного излучения, от радио до гамма, остаются приоритетными направлениями астрофизических исследований. Рентгеновский диапазон выделяется среди прочих тем, что именно в нем наблюдается тепловое излучение с поверхности нейтронных звезд, изучение которого дает уникальную информацию об остывании нейтронных звезд, что в свою очередь является индикатором фундаментальных процессов, происходящих в ядре и коре нейтронных звезд. С другой стороны, изучение туманностей, ассоциированных с нейтронными звездами, -- остатков сверхновых и связанных с движением нейтронных звезд в окружающей межзвездной среде – дает информацию о связи нейтронной звезды с остатком сверхновой и о физических процессах во время коллапса ядра звезды-предшественника. Рентгеновские спектры туманностей позволяют независимо измерять химический состав оболочки и выброса сверхновой. Таким образом, изучение рентгеновских источников, связанных напрямую или генетически с нейтронными звездами, является **фундаментальной и актуальной проблемой современной астрофизики**.

В представленной диссертации проведены систематические исследования нескольких конкретных объектов – двух гамма-пульсаров, радиотуманности предположительно связанной с пульсарным ветром, и рентгеновского остатка сверхновой. Следует отметить, что, несмотря на общность происхождения и физических характеристик родственных источников, наблюдения и тщательное исследование индивидуальных объектов представляет безусловный астрофизический интерес.

Диссертация Карповой А.В. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы. Объём диссертации – 106 стр., включая 28 рисунков, 14 таблиц и списка литературы из 139 наименования.

Во введении автор описывает современную экспериментальную и теоретическую мотивацию изучения гамма-пульсаров, пульсарных туманностей и остатков сверхновых, обосновывает актуальность поставленной задачи и приводит обзор основных

наблюдательных данных об исследуемых объектах в радио, рентгеновском и гамма-диапазонах.

В Главе 1 дан краткий обзор наблюдаемых характеристик пульсаров, пульсарных туманностей и остатков сверхновых, а также приведены основные технические характеристики рентгеновских телескопов Chandra и XMM-Newton, описана процедура редукации наблюдательных данных. Эта глава важна для оценки надежности полученных диссертантом экспериментальных результатов.

В Главе 2 исследуется гамма-пульсар среднего возраста J1741-2054. Проводится анализ архивных данных, полученных в наблюдениях телескопом Chandra. Получены различные варианты аппроксимации наблюдаемого рентгеновского спектра точечного источника и «хвоста» пульсара, сделаны независимые оценки расстояния до источника различными методами. Полученные характеристики сравниваются с тремя хорошо изученными аналогичными пульсарами среднего возраста. Полученная температура поверхности нейтронной звезды 60 эВ рассматривается с точки зрения теории остывания нейтронных звезд, отмечено в целом согласие со стандартной теорией и необходимость дальнейших исследований.

В Главе 3 проанализированы данные наблюдений радиотихого гамма-пульсара J0633+0632. Представлен независимый анализ данных наблюдений Chandra и подробно рассматривается вопрос о наличии в спектре абсорбционной особенности на энергии порядка 0.8 кэВ. Проведен детальный статистический анализ, убедительно подтверждающий присутствие этой спектральной особенности (линии поглощения). Обсуждается возможная природа обнаруженной линии поглощения как циклотронной электронной или протонной линии или линии поглощения в межзвездной среде на луче зрения. Источник обсуждается с точки зрения теории остывания нейтронных звезд. Кроме того, рассматривается возможное место рождения нейтронной звезды в молодой области звездообразования Розетка на расстоянии 1.5 кпк от источника.

В Главе 4 исследуется рентгеновское излучение от радиотуманности DA 495 с необычной кольцевой структурой. Сделан анализ рентгеновского излучения от точечного источника 1WGA J1952.2+2925, который предположительно является пульсаром, питающим эту туманность. По архивным наблюдениям Chandra и XMM-Newton сделан анализ спектров точечного источника и туманности. Получен верхний предел на долю пульсирующего излучения и сделана независимая оценка расстояния до пульсара. Проанализирован многоволновый спектр туманности от радио до гамма-диапазона, сделан вывод о возможном наличии излома в спектре и по эмпирическим зависимостям – о возрасте пульсара и темпе потерь его энергии вращения. Показано, что гамма-источник из 3 каталога Fermi, скорее всего, относится к нейтронной звезде, а не к туманности.

В Главе 5 подробно исследован остаток сверхновой G350.0-2.0 со сложной смешанной морфологией. Проводится анализ данных наблюдений XMM-Newton – построены изображения остатка и спектральный анализ различных областей, которые могут быть описаны моделью равновесной тепловой плазмы с температурой около 0.8 кэВ. Обнаружен избыток железа в остатке, связанный с выбросом вещества сверхновой. Сделаны оценки массы водорода и гелия в остатке (15 масс Солнца), получена независимая оценка расстояния до остатка. Построен спектр точечного источника, ассоциированного с остатком, и приводятся аргументы, что наиболее вероятно этот источник является катаклизмической переменной, проецирующейся на остаток, а не центральной нейтронной звездой.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации,

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Основные результаты диссертации Карповой А.В. **опубликованы** в 4 статьях в высокорейтинговых международных журналах, в трех из которых А.Карпова является первым автором, неоднократно докладывались лично автором на международных и всероссийских конференциях и семинарах.

К диссертационной работе Карповой А.В. следует сделать несколько **замечаний**.

1. При обсуждении моделей теплового рентгеновского излучения с поверхности исследуемых нейтронных звезд автор неоднократно использует модель водородной атмосферы замагниченной нейтронной звезды. Если молодая нейтронная звезда (или даже объект среднего возраста) является пульсаром, откуда у нейтронной звезды берется водородная атмосфера? При коллапсе железного ядра массивной звезды его быть не должно, а аккреция из межзвездной среды на работающий пульсар затруднительна. Этот аргумент можно было бы дополнительно использовать при обсуждении выбора моделей рентгеновского спектра.

2. В тексте диссертации встречаются опечатки (стр. 5, 39, 48, 49, 72, 74, 83, 88).

Эти замечания, однако, скорее отражают крайнюю актуальность работы и быстрое накопление данных по исследуемым в диссертации объектам, не снижают в целом высокую научную и практическую ценность диссертационной работы Карповой А.В. и могут быть учтены в дальнейшей работе.

Общее заключение. В диссертационной работе Карповой А.В. получены **новые важные результаты** в области астрофизики и рентгеновской астрономии – проведены первоклассные рентгеновские наблюдения нескольких рентгеновских источников – нейтронных звезд и ассоциированных с ними туманностей целью выяснения их природы. Полученные результаты используются для независимого определения расстояний до

источников и их физических характеристик, а также для проверки фундаментальных теорий остывания нейтронных звезд.

Достоверность полученных результатов подтверждается применением хорошо проверенных высокоточных методов обработки рентгеновских наблюдений, полученных на космических рентгеновских телескопах Chandra и XMM-Newton, а также с высокой степенью апробации и международным признанием результатов в публикациях в высокорейтинговых журналах и докладами на крупных международных конференциях.

Результаты диссертации могут быть **использованы** при интерпретации данных рентгеновских наблюдений гамма-пульсаров и остатков сверхновых, при моделировании тепловых и нетепловых спектров от этих объектов, при анализе данных остывания нейтронных звезд во многих отечественных и зарубежных научных центрах, университетах и обсерваториях, включая ИКИ РАН, САО РАН, ГАО РАН, ГАИШ МГУ, АКЦ ФИАН, СПбГУ и др. Диссертационная работа Карповой А.В. **полностью отвечает** всем требованиям Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а сам автор, Карпова Анна Викторовна, **безусловно заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук** по специальности 01.03.02 – астрофизика и звездная астрономия.

Зам. директора ГАИШ МГУ

доктор физ.-мат. наук, профессор

К.А. Постнов

Подпись д.ф.-м.н. проф. Постнова К.А. заверяю.

Директор ГАИШ МГУ

академик РАН

А.М. Черепашук

Постнов Константин Александрович

119234 г. Москва, Университетский просп., д. 13, Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга при МГУ им. М.В. Ломоносова, зам. директора. Тел. 8(495)9393721, pk@sai.msu.ru