

УТВЕРЖДАЮ
Директор ФГБУН Главная (Пулковская)
астрономическая обсерватория РАН
доктор физ.-мат. наук Н.Р. Ихсанов



ОТЗЫВ

ведущей организации

(Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория
Российской академии наук,
196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе д. 65, кор. 1)
на диссертацию

Бобакова Александра Васильевича

на тему: **«Оптические исследования двойных звёздных систем с миллисекундным пульсаром»**, представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности **1.3.1 – физика космоса, астрономия**

Актуальность. Диссертация Бобакова Александра Васильевича посвящена комплексному исследованию оптических проявлений миллисекундных пульсаров (МСП) в двойных системах. Выбор темы обусловлен её высокой актуальностью для современной астрофизики: изучение таких объектов позволяет решать целый ряд фундаментальных задач, связанных с природой сверхплотного вещества, пределами масс нейтронных звёзд, особенностями эволюции тесных двойных систем, а также проверкой релятивистских эффектов в сильных гравитационных полях.

Миллисекундные пульсары в двойных системах обладают уникальными свойствами. С одной стороны, они демонстрируют исключительную стабильность периода пульсаций, что делает их эталонами времени и инструментом для тестирования общей теории относительности. С другой стороны, наличие компаньонов в таких системах открывает возможность независимой

оценки массы нейтронных звёзд и их эволюционного состояния. Особенно интересен класс так называемых «паучьих» пульсаров («чёрные вдовы» и «redback»), в которых компаньон испытывает интенсивное воздействие пульсарного ветра и постепенно испаряется.

Необходимо подчеркнуть, что в последние годы исследования в данной области приобрели международное значение: подобные системы активно изучаются в радио-, рентгеновском и гамма-диапазонах, однако оптические наблюдения всё ещё являются сравнительно редкими. Именно поэтому проведённая соискателем работа, основанная на оригинальных спектроскопических и фотометрических наблюдениях с использованием крупнейших современных телескопов (GTC, Magellan, OAN-SPM и др.), имеет важное значение и своевременно пополняет дефицит данных в оптическом диапазоне.

Основное содержание диссертационной работы.

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. Полный объём диссертации – 102 страницы текста с 30 изображениями, 11 таблицами. Список литературы содержит 130 наименований.

Во введении обоснована актуальность исследования миллисекундных пульсаров (МСП) в двойных системах. Эти объекты представляют собой уникальные лаборатории для проверки моделей сверхплотного вещества, изучения эволюции тесных двойных систем и проверки релятивистских эффектов. Особое внимание уделяется системам типа «чёрная вдова» и «redback», в которых пульсарное излучение нагревает и испаряет звезду-компаньона. Оптические наблюдения вносят критически важный вклад в определение физических параметров таких систем, однако до настоящего времени проведены лишь для ограниченного числа объектов. Цель работы – поиск и исследование новых МСП-компаньонов в оптическом диапазоне и определение их основных параметров. Сформулированы задачи: проведение спектроскопических и фотометрических наблюдений, обработка и анализ данных, определение спектральных классов и температур звёзд-компаньонов, моделирование кривых блеска и скоростей, а также оценка масс нейтронных звёзд. Подчеркивается научная новизна работы, основанной на оригинальных наблюдениях крупнейшими телескопами, и её значимость для теории и практики астрофизики.

В первой главе изложены сведения об используемых телескопах и приборах: 10-метровый GTC, 6.5-метровый Magellan, телескопы OAN-SPM, MAO и АТО. Приведены сведения о спектрографах и фотометрах, а также о методах

обработки данных. Дополнительно использовались архивные данные крупных обзоров (Pan-STARRS, SDSS, ZTF и др.). Описаны программные пакеты и численные модели, применяемые для анализа спектров и кривых блеска.

Во второй главе рассмотрены три объекта: PSR J0621+2514, J2302+4442 и J2317+1439. В спектрах двух первых обнаружены линии бальмеровской серии, указывающие на водородные атмосферы. Для J2302 получен верхний предел температуры ($T_{\text{eff}} < 6000$ K). Проведены независимые оценки температур, расстояний и возрастов остывания белых карликов-компаньонов ($\lesssim 2.5$ млрд лет). Полученные параметры сопоставлены с теоретическими моделями эволюции.

В третьей главе проанализированы кривые блеска трёх систем: PSR J2017–1614, J1513–2550 и J1627+3219. Для J2017 и J1627 получены симметричные кривые блеска с амплитудой $\sim 2m$, что позволило надёжно идентифицировать их как «чёрных вдов» и оценить массы компонентов. Для J1513 выявлена устойчивая асимметрия кривой блеска, сохраняющаяся на протяжении трёх лет, а также слабые квазипериодические колебания с амплитудой $\sim 0,1m$ и периодом ~ 15 минут. Моделирование показало, что массы нейтронных звёзд в этих системах могут существенно превышать каноническое значение $1,4 M_{\odot}$.

В четвертой главе рассмотрен транзиент MASTER OT J072007.30+451611.6, который ранее классифицировался как поляр, однако необычно высокая амплитуда переменности вызывала сомнения. В работе проведены фазово-разрешённые спектроскопические и фотометрические наблюдения, а также построены доплеровские томограммы. Подтверждено, что объект действительно является поляр, при этом отмечены уникальные особенности: высокая амплитуда переменности, асимметричная кривая блеска и низкое отношение эквивалентных ширин линий HeII и H β . Получены оценки массы и радиуса компаньона, а также наклона системы.

В заключении сформулированы основные результаты работы.

Среди наиболее важных результатов следует отметить следующее:

1. Впервые проведена оптическая спектроскопия компаньонов МСП PSR J2317+1439, PSR J0621+2514 и PSR J2302+4442. Подтверждена их принадлежность к классу белых карликов с водородными атмосферами, получены независимые оценки эффективных температур и расстояний.

2. Надёжно идентифицированы три системы типа «чёрная вдова» (PSR J1513–2550, PSR J2017–1614 и PSR J1627+3219). Впервые проведены многополосные фотометрические наблюдения их оптических компаньонов, выполнено моделирование кривых блеска и получены оценки масс нейтронных звёзд и компаньонов.
3. Выявлены необычные особенности в кривой блеска системы PSR J1513–2550. Установлена устойчивая асимметрия, сохраняющаяся на протяжении не менее трёх лет, а также обнаружены слабые квазипериодические колебания с амплитудой около 0,1 звёздной величины и периодом ~ 15 минут.
4. Подтверждена природа оптического транзientа MASTER OT J072007.30+451611.6 как поляра. Проведены фазово-разрешённые спектроскопические и фотометрические наблюдения, построены доплеровские томограммы, получены оценки параметров системы. При этом отмечена необычно большая амплитуда переменности блеска и низкое отношение эквивалентных ширин линий HeII и H β , что делает объект уникальным среди известных полярных.

Результаты, представленные в диссертационной работе, являются новыми и представляют несомненную научную ценность, расширяя наши представления о миллисекундных пульсарах.

Достоверность результатов диссертационной работы базируются на анализе большого массива наблюдательных данных, полученных на ведущих мировых телескопах, оснащённых современными спектрографами и фотометрами. Соискатель выполнил обработку данных с использованием современных программных пакетов и апробированных численных методов, широко применяемых в астрофизической практике. Особое внимание заслуживает применение методов спектрального анализа белых карликов-компаньонов, построение кривых блеска и их аппроксимация моделью прямого нагрева, а также использование доплеровских томограмм для исследования распределения вещества в аккрецирующих системах. Полученные выводы подтверждаются сопоставлением с независимыми результатами других исследовательских групп, а также устойчивостью выявленных эффектов при многолетних наблюдениях.

Научная и практическая значимость полученных в диссертации результатов заключается в следующем. Независимые оценки масс нейтронных звёзд в

системах типа «чёрная вдова» позволяют уточнять ограничения на уравнение состояния вещества при сверхядерных плотностях. Результаты моделирования кривых блеска и наблюдений испарения компаньонов способствуют пониманию механизмов формирования и разрушения тесных двойных систем с нейтронными звёздами. Проведённые спектроскопические и фотометрические исследования демонстрируют потенциал использования крупнейших наземных телескопов для изучения слабых оптических источников, связанных с МСП. Полученные данные могут быть использованы в рамках международных коллабораций по таймингу пульсаров (например, в проектах РТА), а также при разработке новых моделей нагрева и циркуляции вещества в атмосферах звёзд-компаньонов.

К представленной диссертационной работе имеется ряд **замечаний**:

1. Изложение материала в ряде разделов носит несколько перегруженный характер; более компактное представление теоретической части позволило бы повысить ясность восприятия.
2. При обсуждении выявленных асимметрий кривых блеска было бы полезно провести более развёрнутый сравнительный анализ с аналогичными объектами в других системах.
3. В работе можно было бы более чётко обозначить перспективы использования полученных результатов в рамках международных проектов, связанных с гравитационно-волновой астрономией и исследованиями пульсарных тайминговых массивов.

Эти замечания не снижают общего высокого научного уровня диссертации и носят рекомендательный характер.

Автореферат соответствует основным положениям диссертационной работы. Основные результаты опубликованы в международных журналах, входящих в первый уровень Белого списка Российского центра научной информации и международную базу цитирований Web of Science.


Заключение ведущей организации.

Диссертационная работа Бобакова Александра Васильевича «**Оптические исследования двойных звёздных систем с миллисекундным пульсаром**» полностью соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней ФГБУН Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата фи-

зико-математических наук, а ее автор заслуживает присуждения учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Доклад А.В. Бобакова по материалам диссертационной работы заслушан и **одобрен** 12.11.25 на заседании объединенного семинара научных подразделений Главной (Пулковской) астрономической обсерватории РАН.

Отзыв составлен кандидатом физико-математических наук, ведущим научным сотрудником Лаборатории Физики Звезд ГАО РАН, Пиотровичем Михаилом Юрьевичем.

 /М.Ю. Пиотрович/

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория Российской академии наук (ГАО РАН)

Адрес: 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе д. 65, кор. 1

Телефон: (812) 604-19-89

Электронная почта: map@gaoran.ru