



Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Кремлевская ул., д.18, Казань, 420008
тел. (843) 2926977, факс (843) 2924448
email: public.mail@kpfu.ru
ОКПО 02066730, ОГРН 1021602841391,
ИНН/КПП 1655018018/165501001

14.02.2017 № 04-10/135

На № _____ от _____

┌ _____ └ _____

Утверждаю

Проректор по научной
деятельности ФГАОУ ВО
"Казанский (Приволжский)
федеральный университет"
проф. Нургалиев Д.К.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
на диссертацию Петрова Владислава Сергеевича
"Параметры рентгеновских двойных систем с учетом
эффектов взаимной близости компонентов",
представленную на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 01.03.02 — Астрофизика и звездная астрономия.

В последние 25 лет произошел стремительный рост числа больших и сверхбольших телескопов и массовое внедрение на них высокочувствительных приемников излучения, что обусловило резкое повышение объема и качества наблюдательных данных для источников жесткого излучения, в том числе для двойных систем с массивными релятивистскими компонентами. Одновременно успехи рентгеновской и гамма-астрономии позволили расширить каталоги подобных объектов и определить характеристики их жесткого излучения. В результате к настоящему времени сложились благоприятные условия для высокоточного определения фундаментальных характеристик нейтронных звезд и черных дыр на основе анализа наблюдений ТДС во всех спектральных диапазонах. Уже выполненные работы такого типа показали свою эффективность и позволили получить параметры нескольких десятков объектов, построив фундаментальное распределение их числа от массы. Данное распределение в целом содержит ряд аномалий, труднообъяснимых с точки зрения современной теории эволюции звезд и двойных систем. Разумеется, что разрешение имеющихся противоречий должно идти как по пути совершенствования теоретических разработок, так и качества наблюдений. Однако важным фактором появления ошибок при определении параметров объектов является некорректность ряда общепринятых подходов к анализу наблюдательного материала. Отметим, что такие ошибки будут иметь систематический характер, т.е. существенно исказить глобальные выводы. Поэтому в представленной диссертации

проведено сравнительное изучение результатов точных и приближенных методов обработки наблюдательных данных с получением формул редукции и их приложением к набору конкретных объектов. Перечисленные факторы обуславливают высокую актуальность и практическую значимость астрофизической задачи, решаемой в рамках диссертации Петрова В.С.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, списка цитируемой литературы, приложения и содержит 123 страницы основного текста, 38 рисунков, 35 таблиц и 123 цитируемых источника.

Во **Введении** диссертантом обоснована актуальность работы, сформулирована цель диссертации и решаемые для ее достижения задачи, выделена научная новизна, практическая и научная значимость полученных результатов. Кроме того, Введение содержит краткое описание структуры диссертации по главам, а также список публикаций по исследуемой тематике и перечень результатов, выносимых на защиту с указанием их апробации.

Первая глава, состоящая из 3 разделов, исследует эффекты искажения кривых лучевых скоростей компонент тесных двойных систем (ТДС), обусловленные их взаимным влиянием. Диссертантом вкратце описана использованная в расчетах модель ТДС, методика расчета их атмосфер и излучаемых спектров, определены критически важные параметры систем, доступные для определения при выполнении работы. В разделах 2 и 3 рассчитаны и изучены кривые лучевых скоростей оптических компонент ТДС без учета и с учетом эффектов внешнего облучения. В результате показано, что наибольшие искажения должны наблюдаться у систем с малым отношением масс компонент и большим коэффициентом гравитационного потемнения. Наличие внешнего облучения в наибольшей степени искажает профили спектральных линий и полученные по ним кривые лучевых скоростей и требует введения значительных К-поправок их амплитуд, полученных из анализа наблюдательных данных.

Вторая глава включает 4 раздела и посвящена анализу ошибок определения скорости вращения звезд при использовании различных моделей их видимой поверхности. В разделе 1 обсуждаются основы метода определения отношения масс компонент ТДС по измерению скорости вращения оптической звезды, а также - влияние ошибок последней на точность итоговых результатов. Разделы 2 и 3 рассматривают соответствие результатов, полученных с применением моделей звезды в полости Роша, равнообъемной сферы или плоского диска постоянной температуры. В результате сделан вывод, что только модель равнообъемной сферы позволяет с достаточной точностью заменить более сложные расчеты звезды в полости Роша, а для пересчета результатов, полученных разными методами, построены аналитические зависимости. В разделе 4 показано влияние рентгеновского прогрева на формирование профилей спектральных линий и построены формулы связи скорости вращения и кругового движения оптической звезды при различных значениях внешнего облучения.

В **третьей главе** из 3 разделов на основе разработанной диссертантом методики определены массы релятивистских компонент 6 массивных рентгеновских ТДС с ОВ-сверхгигантами. В разделе 1 представлены общие сведения о 5 массивных пульсарах, рассчитаны теоретические кривые лучевых скоростей сверхгигантов, соответствующие К-поправки их амплитуд и массы нейтронных звезд. Раздел 2 посвящен анализу кривой лучевых скоростей и нахождению возможных значений массы черной дыры в массивной ТДС V1357 Cyg при различных углах наклона ее орбиты. Отметим, что для всех изученных систем учет близости компонент позволил повысить оценки масс релятивистских объектов. Раздел 3 содержит обсуждение полученных значений масс ОВ-сверхгигантов с обоснованием наличия у них избытков светимости.

В **четвертой главе**, включающей 4 раздела, найдены массы компонент 9 маломассив-

ных рентгеновских ТДС с применением наблюдаемых значений скоростей вращения холодных звезд с учетом их взаимного влияния. В разделе 1 дается краткая характеристика исследуемых объектов и методики определения масс. Разделы 2 и 3 содержат исправленные значения масс черных дыр и оптических звезд в системах, в разделе 4 проводится анализ их физического состояния. В результате диссертант приходит к выводу о наличии у оптических компонент маломассивных ТДС избытков светимости относительно звезд Главной Последовательности (ГП) аналогичной массы. В разделе 5 природа подобных избытков связана с возможным неконсервативным обменом массы в моменты рентгеновских вспышек или с происхождением рентгеновских ТДС из тройных систем со слиянием двух близких компонент. Следует отметить, что избытки светимости холодных компонент найдены во всех маломассивных, разделенных ТДС с горячими субкарликами или белыми карликами. Их формирование обусловлено остаточным возбуждением звезд после прохождения стадии общей оболочки и продолжительной релаксации к состоянию ГП. Наличие у рентгеновских ТДС достаточно частых вспышек позволяет предположить аналогичный механизм появления избытка светимости.

В **пятой главе**, состоящей из 5 разделов, выполнен статистический анализ полученных масс черных дыр в рентгеновских ТДС с дополнением результатов, имеющихся в литературе. В разделе 1 автором получены индивидуальные распределения плотности вероятности масс черных дыр в 20 ТДС и усредненное распределение по всем системам. В разделах 2-4 данное распределение исследовано с применением нестандартных методов непараметрического анализа. Общие идеи этого оригинального метода изложены в разделах 2 и 3, а в разделе 4 представлены итоговые распределения усредненных параметров систем. Устойчивость этих распределений при добавлении объекта с параметрами, существенно отличными от средних, проверена в разделе 5. В результате диссертанту удалось подтвердить вывод о существенном различии масс нейтронных звезд и черных дыр в ТДС, т.е. о наличии так называемого "провала масс". Отметим, что метод статистического исследования, примененный в главе 5, отличается оригинальностью и может быть рекомендован для изучения других типов объектов с ограниченными выборками данных.

В **Заключении** сформулированы основные результаты диссертационной работы и намечены пути дальнейших исследований.

В целом диссертация производит хорошее впечатление целостной и законченной работы в направлении исследования тесных двойных систем и релятивистских остатков звездной эволюции. В ней рассмотрены многие методические и теоретические вопросы, возникающие при анализе оптического излучения таких объектов с определением их параметров. Несомненным достоинством диссертации является применение современных методик моделирования спектров как для получения сеток теоретических поправок лучевых скоростей и скоростей вращения оптических компонент, так и при последующем исследовании большой выборки ТДС. Особый методический интерес представляет применение диссертантом алгоритма генетического анализа итогового набора параметров 20 черных дыр. Научную значимость имеют полученные параметры 15 ТДС с черными дырами и нейтронными звездами, выводы о наличии избытков светимости у оптических компонент массивных и маломассивных ТДС, устойчивости наблюдаемого распределения масс черных дыр и наличии провала в распределении для релятивистских объектов. Методическую ценность имеют реализованные диссертантом методы расчета К-поправок лучевых скоростей и поправок скоростей вращения оптических компонент ТДС. Полученные по ним таблицы поправок и аппроксимирующие формулы, а также найденные параметры 15 систем составляют практическую ценность диссертации. Достоверность результатов подтверждается их сравнением с данными, опубликованными в литературе, и проведенными диссертантом тестами используемых

методик. Включенные в диссертацию результаты прошли надлежащую апробацию на 6 российских и международных конференциях с личным участием автора и опубликованы в 13 статьях и тезисах конференций, из которых 7 - в высокорейтинговых, рецензируемых изданиях. Данные результаты могут использоваться во многих астрономических центрах, специализирующихся на исследовании звезд и тесных двойных систем: ГАИШ МГУ, ИКИ РАН, САО РАН, ИНАСАН, КФУ, КрАО, ИА СПГУ и др.

К представленному тексту диссертации необходимо высказать следующие замечания:

1) На стр. 93 в формуле (34) диссертант приводит аппроксимацию зависимости "масса"- "светимость" для вторичных компонент в маломассивных ТДС. Из текста следует сделать вывод, что формула (34) построена на основе 4 ТДС, отмеченных на рис. 28 и имеющих массы в диапазоне $M = 0.1 - 0.35M_{sun}$. Однако на стр. 93 для полученной зависимости указан совершенно другой диапазон $M = 0.5 - 1.0M_{sun}$, который не мог быть исследован автором по причине отсутствия звезд данной массы. Кроме того, мы считаем не совсем корректным выполненное диссертантом сравнение светимостей вторичных компонент ТДС и обычных звезд ГП в связи с существенным различием масс этих двух групп объектов. Наконец, остается неясным процесс нахождения светимостей звезд в маломассивных ТДС, т.к. в диссертации представлены только их массы.

2) Массы черных дыр и оптических звезд в маломассивных ТДС определены в главе 4 на основе литературных данных об их скоростях вращения с учетом поправок, рассчитанных автором в главе 3. Данные поправки получены для диапазона эффективных температур $4000K \leq T_{eff} \leq 8000K$, но, как показано ниже, используются для изучения звезд с массами $M = 0.1 - 0.4M_{sun}$, которые соответствуют более низкому температурному диапазону. Возможно данные звезды обладают избытками температуры и для них можно применять полученные зависимости, однако этот факт никак не отражен в тексте диссертации. Кроме того, диссертанту следовало изучить вопрос применимости методики моделирования профиля изолированной линии $CaI \lambda 6439\text{\AA}$ для описания реальных спектров звезд с температурами $T_{eff} \leq 4500k$, где многочисленные молекулярные полосы обуславливают сильные эффекты блендирования. Наконец, в диссертации не оговорено, применялась ли при измерении скорости вращения звезд линия $CaI \lambda 6439\text{\AA}$ и какие изменения в полученных результатах могут быть вызваны использованием других линий.

3) В тексте диссертации имеется некоторое число грамматических ошибок и ошибок в оформлении. В частности, в формуле (19) присутствует лишняя компонента "+ 8)", а в таблице 17 эксцентриситет и долгота перигелия указаны для ТДС Vela X-1, а не для ТДС 4U1538-52, как следует из текста. Описание методики определения масс ТДС по уширению линий вращением дублируется в главе 2 на стр. 36 и в главе 4 на стр. 84. Предложение "Число массивных звезд, наблюдаемых в Галактике, резко возрастает с уменьшением массы звезды ..." на стр. 112 практически дословно повторяет текст, написанный выше. Ряд полученных значений представлен с недостижимой точностью. В частности, мы считаем невозможным определить полуширину линии CaI с ошибкой в $\delta\lambda = 0.001\text{\AA}$ и амплитуды лучевых скоростей с ошибкой в $\delta K = 0.01$ км/сек как показано в таб. 4-8. Вынесение в приложение таблиц с теоретическими поправками амплитуд лучевых скоростей является не вполне оправданным, т.к. при относительно небольшом объеме они могли быть органично включены в основной текст диссертации. Наконец, Введение имеет нестандартную структуру, что в ряде случаев затрудняет его чтение. Отметим, что по своей структуре автореферат диссертации отличается от Введения в лучшую сторону и оставил у нас хорошее впечатление.

Указанные неточности не снижают общую положительную оценку диссертации и не влияют на результаты, выносимые на защиту.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Считаем, что диссертация "Параметры рентгеновских двойных систем с учетом эффектов взаимной близости компонентов" является глубоким и законченным научным исследованием, обеспечивающим заметный прогресс в развитии теории физики и эволюции звезд и тесных двойных систем, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а диссертант Петров Владислав Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Отзыв подготовлен доцентом Шиманским В.В. и утвержден на астрофизическом семинаре кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета от 26 января 2017 г.

Зав. кафедрой астрономии
и космической геодезии,
д.ф.-м.н.

Бикмаев И.Ф.

Доцент кафедры астрономии
и космической геодезии,
к.ф.-м.н.

Шиманский В.В.

Адрес: 420008, РТ, г. Казань, ул. Кремлевская, 18, КФУ
Телефон: (843) 292-77-97
Факс: (843) 292-77-97
E-mail: Slava.Shimansky@kpfu.ru