

ОТЗЫВ
о диссертации А.Е.Тарасова
"Массивные двойные системы и Ве феномен",
представленной на соискание ученой степени
доктора физико-математических наук.

Массивные тесные двойные системы (ТДС) в конце своей эволюции формируют двойные черные дыры и нейтронные звезды, слияние которых под влиянием излучения гравитационных волн генерирует всплески гравитационно-волнового излучения, которые недавно были зарегистрированы обсерваториями LIGO и VIRGO. Поэтому наблюдательные исследования процессов обмена масс в массивных ТДС весьма актуальны.

В диссертационной работе А.Е.Тарасова выполнены тщательные спектроскопические исследования и изучены физические и кинематические характеристики массивных ТДС на различных стадиях эволюции, а также изучены Ве-звезды в молодых рассеянных звездных скоплениях разного возраста. Важно то, что при анализе наблюдательных данных диссертант опирается на современные продвинутое модели внутреннего строения звезд, в которых учитывается вращение звезд, эволюция их углового момента, вынос продуктов термоядерного горения в верхние слои звезд и поступление свежего вещества в ядерную область массивных звезд. В итоге диссертанту удалось сделать важные выводы о природе и эволюционном статусе исследованных им многочисленных ТДС, а также изучить эволюцию Ве-звезд в молодых рассеянных скоплениях и сделать обоснованные выводы о механизмах формирования Ве-феномена.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, заключения и списка цитируемой литературы (278 наименования).

Во Введении описана постановка задачи, обоснована актуальность исследований.

В первой главе описаны отличия эволюции звезд в ТДС от эволюции одиночных звезд, причем в качестве основы взяты современные теоретические модели вращающихся звезд. Диссертант приводит убедительные свидетельства наличия кардинальных изменений угловых моментов компонент ТДС в процессе обмена масс, которые влияют на наблюдательные проявления звезд. В этой же главе описана аппаратура и методика спектральных наблюдений и их анализа. Важно то, что спектральные исследования выполнены с высоким разрешением $R \approx 30000$.

Во второй главе приведены результаты детальных исследований шести разделенных систем с умеренно массивными звездами, находящимися на главной последовательности. Тонкий и высококачественный спектральный анализ, а также владение современными компьютерными программными комплексами, включая продвинутое модели звездных атмосфер, позволили диссертанту дать надежные определения масс, радиусов, температур компонент изученных ТДС и определить их эволюционный статус в пределах полосы главной последовательности.

В частности, для системы α Vir показано, что эволюция более массивной компоненты значительно отличается от эволюции одиночной не вращающейся звезды. Для системы V380Cyg впервые построена орбита менее массивной компоненты, найдены массы компонент, определены их температуры и ускорения силы тяжести и определен эволюционный статус компонент. Для обеих систем оказалось, что массы компонент, определенные по эволюционным трекам, существенно превышают динамические массы, определенные по кривым лучевых скоростей. Это превышение особенно велико ($\sim 30\%$) для звезд, отошедших от начальной главной последовательности. Диссертант разумно отдает предпочтение массам, определенным по кривым лучевых скоростей. Для короткопериодической системы oPer определены параметры компонент. Для системы V373Cas комплексные и высококачественные спектральные исследования диссертанта позволили сделать заключение о начале обмена масс в системе до момента

заполнения более массивной звездной своей полости Роша. Для системы V497Ser обнаружена двойственность, выявлено наличие касательного затмения компонент. Поиск следов обмена масс в системе не дал положительных результатов. Для системы 103Tau диссертантом обнаружены линии вторичной компоненты и определены параметры спектроскопической орбиты. Как и в случае системы V373Cas эмиссионная компонента H_α в этой системе формируется в полости Роша менее массивной звезды, что указывает на начало обмена масс, хотя более массивная компонента еще не заполняет свою полость Роша. Эти выводы принципиально важны для детального изучения процессов обмена масс в ТДС и дают пищу для размышления теоретикам.

В третьей главе представлены результаты исследований пяти массивных ТДС, принадлежащих к типу WSer и находящихся на редко наблюдаемой фазе активного первичного обмена масс. Анализ спектров подобных систем очень сложен ввиду наличия плотных газовых потоков в системе, дисков, околозвездных оболочек и сильной потери массы из системы, до $10^{-4} M_\odot/\text{год}$. Следы фотосферных линий звезд в таких системах трудно обнаружить. Поэтому определение даже приближенных параметров орбит систем типа WSer представляется непростой, но очень важной задачей. Диссертант выполнил исследования спектров высокого разрешения для этих систем со всей тщательностью и получил ряд важных результатов.

В частности, для системы KXAnd им были обнаружены слабые линии в спектре, принадлежащие холодному гиганту, который оказался звездой спектрального класса G8 с избытком содержания тяжелых элементов S-процессов, типичным для гигантов асимптотической ветви.

Для системы V367Cug обнаружена долговременная квазипериодическая переменность лучевых скоростей фотосферной линии MgII, а также обнаружена эмиссия в линии HeII, которая формируется в полости Роша более горячей звезды, окруженной оптически толстым диском.

Для системы HD187399 впервые обнаружена многокомпонентная структура большинства линий поглощения. Показано, что в данной системе присутствует компонента линии, формирующаяся в общей оболочке.

Для пекулярной двойной системы XXOrh получены уникальные спектры во время редко наблюдаемого глубокого фотометрического минимума и обнаружены сильные изменения в спектре.

Для системы V622Per на основе спектральных и фотометрических наблюдений обнаружена двойственность и по линиям обеих компонент определены параметры орбиты. Показано, что система V622Per находится в стадии эволюции после первичного обмена масс с первичной компонентой, имеющей большую светимость при меньшей, чем у вторичной компоненты массе. Найден избыток продуктов CNO цикла в атмосфере компоненты с большей светимостью.

В целом, результаты по изученным системам типа WSer, описывают детали завершающей стадии первичного обмена масс и представляют значительный интерес для понимания эволюции массивных ТДС.

В четвертой главе представлены результаты исследований пяти массивных рентгеновских двойных систем с релятивистскими объектами. Тонкий спектроскопический анализ абсорбционных и эмиссионных компонент линий в спектрах этих систем позволил дать эмпирическую картину течения газа, оценить параметры неоднородностей звездного ветра, описать особенности аккреционных структур.

В системе CugX-1 выявлена долгопериодическая (прецессионная?) переменность с периодом 142^d . Исследована переменность системы в периоды высокого и низкого состояния по данным в рентгеновском, оптическом, ИК и радиодиапазоне. Выявлена статистическая взаимосвязь между переменностью коллимированного звездного ветра от оптической звезды и переменностью в рентгеновской диапозоне.

Исследования четырех рентгеновских двойных с Ве-звездами и эллиптическими орбитами (XPer, A0535+26, LSI+61°303, LSI+61°235) позволили диссертанту изучить орбитальную и долговременную переменность нестационарных декреционных дисков, формирующихся вокруг оптических Ве-компонент, показать, что причиной сложной переменности характеристик декреционных дисков может быть нейтронная звезда, двигающаяся с большим орбитальным периодом по эллиптической орбите.

В пятой главе исследована популяция Ве звезд в молодых рассеянных скоплениях разных возрастов. Диссертант выявил очень важный факт: увеличение относительного содержания Ве-звезд с увеличением возраста скопления. Им показано, что наибольшее количество Ве-звезд наблюдается в скоплениях с возрастом 15-20 млн. лет. На этом основании им сделан вывод о том, что важнейшим фактором, вызывающим быстрое вращение и появление экваториальных дисков вокруг Ве-звезд является эволюция их углового момента как у одиночных звезд, так и у компонент двойных систем.

В заключении суммированы и резюмированы основные результаты диссертации.

Оценивая диссертацию в целом, можно заключить, что диссертантом проделана большая, важная и плодотворная работа в актуальной области астрофизики. Диссертантом получен большой, ценный и высококачественный наблюдательный материал по массивным ТДС на разных стадиях эволюции и Ве-звездам, выполнен тщательный анализ высокодисперсных спектральных наблюдений, определены фундаментальные характеристики массивных ТДС и дана их эволюционная интерпретация. Спектроскопия тесных двойных звезд – это своего рода искусство, и результаты, полученные в диссертации, позволяют заключить, что диссертант в совершенстве овладел этим искусством.

Хотя мнение оппонента по диссертации А.Е.Тарасова в целом весьма положительное, имеется ряд критических замечаний.

1. Определяя величины $v \sin i$ для вращающихся звезд, диссертант нигде не говорит, как учитывалось гравитационное потемнение для случаев быстрого вращения.
2. В системе V373Cas звезда меньшей массы имеет большую эффективную температуру. Эту особенность следовало бы обсудить более подробно. Тем более, что в данном случае имеется сильное завышение эволюционной массы по сравнению с динамической (~34%).
3. На стр.99 сказано, что для системы 103Tau найденные автором спектроскопические элементы орбиты находятся в согласии с элементами, полученные Абтом с соавторами. Однако долготы периастра значительно различаются: $\omega=104^\circ \pm 4^\circ$ у диссертанта и: $\omega=296^\circ \pm 19^\circ$ – у Абта и др. Это различие следовало бы обсудить.
4. На стр.131, у системы типа WSer V367Cyg $\omega_1=143^\circ \pm 22^\circ$, $\omega_2=262^\circ \pm 20^\circ$, т.е. долготы периастра двух компонент системы не отличаются на 180° . Это следовало бы обсудить подробнее.
5. На стр.155 вес каждого из измерений лучевой скорости системы V622Per брался обратно пропорциональным величине ошибки его определения. Обычно принято брать в качестве веса величину, обратно пропорциональную квадрату ошибки.
6. На стр.165 в случае системы V622Per используются термины "более яркий компонент", "более массивный компонент", "первичный компонент". Непонятно, по какому параметру употребляется термин "первичный" – по яркости, по светимости, по массе? Это затрудняет чтение материала.
7. На стр.172 диссертант приводит устаревшие данные Херреро и др. (1995) по оценке массы черной дыры в системе CygX-1 ($M_x=10.1M_\odot$) и называет эту черную дыру маломассивной. В 2011 году опубликована статья Orosz et al., (Ap. J. 2011, 742, 84), в которой с использованием оценки расстояния до системы CygX-1 $d=1.86$ кпк, полученной с использованием данных VLBI, дана новая, более надежная оценка массы черной дыры в этой системе

$M_x=14.81\pm 0.98M_{\odot}$. Так что черная дыра в системе CygX-1 является одной из самых массивных, и ее нельзя называть маломассивной.

8. Стр.183, 184. Описывая обнаружение прецессионного периода 142^d в системе CygX-1 диссертант не ссылается на работы Priedhousky et al., 1983, Kemp et al., 1983, Кемп и др., 1987, где был найден прецессионный период для CygX-1 294^d , который примерно вдвое больше, чем у диссертанта. Это следовало бы обсудить.

Надо сказать, что в книге А.М.Черепашука "Тесные двойные звезды", М. Физматлит, 2013, которая имеется в библиотеке КРАО, имеется обзор по работам, посвященным системе CygX-1, и если бы диссертант его прочел, он смог бы более полно отразить историю исследования этой уникальной рентгеновской двойной системы.

9. На стр.198 сказано "количественная оценка подобных образований (плотных облаков) в ветре одной звезды составляет $\sim 10^{-3}$ ". Непонятно, 10^{-3} от какой величины?

10. Стр.278. Сказано: "более яркий компонент является менее массивным, что является отличительным признаком звезд типа Алголя". Это неправильное утверждение. Отличительным признаком звезд типа Алголя является то, что менее массивный компонент более продвинул в своей эволюции, чем более массивный. Например, у Алголя: B8V($M=3.7M_{\odot}$)+G8III($M=0.8M_{\odot}$), то есть менее яркий (более холодный) компонент G8III является менее массивным. Здесь субгигант G8III имеет большой избыток светимости для своей массы, но он является менее ярким (по температуре и абсолютной светимости), чем звезда B8V.

Имеется ряд стилистических погрешностей.

На стр.102 сказано "наши наблюдения в период с 2001 по 2004 годы не показали заметных изменений интенсивности и профиля линии, превышающих изменение орбитального периода". Следовало бы, во-видимому, сказать "на временах, превышающих изменение орбитального периода".

Стр.199. Термин "нейтронный рентгеновский пульсар" неудачен.

Сделанные замечания касаются частных аспектов проблемы, исследованной диссертантом, и не влияют на общую высокую оценку диссертации А.Е.Тарасова, которая является законченным исследованием, выполненным на высоком научном уровне. Результаты диссертации прошли хорошую апробацию на Всероссийских и международных научных конференциях и опубликованы в 42 статьях, включая журналы с высоким импакт-фактором.

Результаты диссертации могут использоваться в ГАИШ, САО, ГАО, ИКИ, СПГУ, Каз.ГУ и других астрономических организациях.

Все изложенное позволяет заключить, что работа А.Е.Тарасова удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям. Автореферат соответствует диссертации и опубликованным статьям.

Диссертант А.Е.Тарасов заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук.

Официальный оппонент,
научный руководитель ГАИШ МГУ, доктор физ.-мат. наук,
академик РАН

10.10.18

А.М.Черепашук

Подпись А.М.Черепашука заверяю.
И.о. директора ГАИШ
доктор физ.-мат. наук, профессор

10.10.18

К.А.Постнов

