

УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Специальной астрофизической обсерватории
Российской академии наук
канд. физ.-мат. наук Валявин Г.Г.



19 августа 2023 года.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Горды Станислава Юрьевича
"Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации
некоторых типов затменно-переменных звезд методами наблюдательной астрономии",
представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических
наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Проведение в последние 20 лет масштабных обзоров неба в различных спектральных диапазонах от радио до рентгеновского и гамма позволило многократно увеличить число известных космических объектов при одновременном расширении объема и качества информации о каждом из них. Разумеется, что значительная часть таких объектов относится к звездам нашей Галактики, которые в силу относительной близости к Солнцу и статистически большей яркости оказываются наиболее доступными для наблюдений на средних и малых оптических инструментах. С другой стороны, при проведении обзоров у многих звезд обнаружен сложный характер изменений блеска, подозрения на наличие двойственности или нехарактерно высокий уровень излучения в длинно- или коротковолновом спектральных диапазонах. Поэтому их детальное изучение способно расширить недостаточно изученные классы двойных систем, звезд на коротких стадиях эволюции, объектов с нестационарными явлениями, мощными ветровыми течениями и т.д. Кроме того, на некоторых вновь обнаруженных звездах протекают очень редкие и даже уникальные процессы, для которых пока не предложено корректного теоретического объяснения. Таким образом, массовое исследование объектов новых обзоров оказывается очень перспективным. Однако анализ всех звезд с обнаруженными аномалиями, предусматривающий их наблюдения на крупных телескопах, практически невыполним. Намного большую эффективность имеет иной подход, в рамках которого выполняется предварительный цикл исследований на основе наблюдений с инструментами меньшей апертуры. Во многих случаях это позволяет классифицировать изучаемые объекты, определить протекающие в них процессы, построить их адекватную модель и определить часть параметров. В результате оказывается возможным выделить уникальные или сложные для теоретического объяснения звезды, требующие особых типов наблюдений и их анализа. Таким образом, применение малых и средних телескопов с одной стороны позволяет получить обширную статистическую информацию о физических и эволюционных параметрах звезд различных типов, а с другой - обеспечивает тщательный отбор кандидатов для исследований с наиболее крупными инструментами. Решению перечисленных задач посвящена диссертация Горды Станислава Юрьевича, что обуславливает высокий уровень актуальности ее тематики и научной значимости представленных в ней результатов.

Диссертация состоит из Введения, пяти Глав, Заключения, трех Приложений, Списка литературы и содержит 283 страницы основного текста, 64 рисунка, 48 таблиц и 254 цитируемых источника.

Во **Введении** обоснована актуальность работы, сформулированы ее цели и решаемые для их достижения задачи, отражена новизна, научная и практическая значимость представленных результатов. Введение включает краткое описание структуры диссертации по главам, перечень положений, выносимых на защиту и список научных конференций с их апробацией, а также список публикаций по теме диссертации с указанием личного вклада автора.

Первая Глава включает 6 разделов и рассматривает фундаментальные статистические зависимости между параметрами звезд: массой, радиусом и светимостью. Диссертантом отмечено, что при стандартном построении эмпирических зависимостей между данными параметрами как правило учитываются погрешности только одного из них, принятого в качестве аргумента. В результате линейные аппроксимации подобных зависимостей получают искусственные искажения. Поэтому в диссертации предложен метод коррекции этих аппроксимаций, учитывающей ошибки определения как функции, так и аргумента. Диссертантом полностью описан математический аппарат метода и выдвинуты дополнительные предположения, необходимые для его реализации. Выполненные в разделе 1.2 тестовые расчеты показывают, что метод позволяет в несколько раз повысить точность коэффициентов линейной аппроксимации, получаемых методом наименьших квадратов без учета ошибок аргумента. Разделы 1.3 и 1.4 содержат результаты аппроксимаций эмпирических зависимостей "масса – радиус" и "масса – светимость" по данным наиболее полных и авторитетных источников на конец 20 века. Полученные автором решения широко используются специалистами в области астрофизики звезд, а публикации по ним имеют наибольший уровень цитирования.

Вторая Глава объединяет 6 разделов, посвященных комплексному анализу оптического излучения оптической пары ADS 2984, включающей несколько систем со сложной иерархией. В разделе 2.1 содержатся результаты фотометрических наблюдений и модельного анализа кратной системы SZ Cam. Диссертантом получен набор характеристик входящей в нее тесной двойной системы, показаны изменения ее фотометрического периода под влиянием притяжения третьего тела и возможного проявления у него эффектов несферичности. Раздел 2.2 включает исследование спектров SZ Cam с определением амплитуд лучевых скоростей трех звезд и масс компонент двойной системы. В разделе 2.3 полученные результаты анализируются совместно с данными спеклинтерферометрических наблюдений с построением модели и нахождением параметров пространственного движения компонент кратной системы, а так же оценкой массы третьего тела. Раздел 2.4 представляет спектроскопический анализ тесной двойной системы ADS 2984A, в рамках которого построена ее эфемерида и кривые лучевых скоростей видимой компоненты, показано наличие на ее поверхности ветровых истечений и сделана оценка массы невидимого спутника.

В третьей Главе из 6 разделов исследованы спектральные наблюдения массивных тесных двойных систем UU Cas и CC Cas. Раздел 3.1.2 содержит результаты отождествления линий в спектрах UU Cas, измерения и анализа лучевых скоростей ее компонент. Диссертантом вычислены оценки масс компонент, значимо отличные от ранее представленных в литературе. На основе их обсуждения в разделе 3.2 сделан вывод, что наиболее массивной является звезда с меньшим вкладом в полное излучение системы, которая находится на завершающем этапе первого обмена масс. Раздел 3.3 описывает процесс доплеровского картирования UU Cas в линии H_{α} , показавшего наличие ярких областей вблизи точки L_1 и участка поверхности более яркой компоненты, обращенного в сторону спутника. В целом диссертантом обоснована модель системы с оптически толстым аккреционным диском, качественно согласующаяся с литературными данными, полученными из анализа фотометрических наблюдений. В разделе 3.4 изучены спектроскопические наблюдения массивной двойной CC Cas с построением ее эфемериды, измерением лучевых скоростей и вычислением функций масс обеих звезд.

Четвертая Глава включает 8 разделов с комплексным изучением маломассивных контактных систем с магнитоактивными компонентами AM Leo и GSC 3599-2569, относящихся к типу W UMa. В разделе 4.2 получены значения лучевых скоростей обеих компонент AM Leo, проана-

лизированные далее совместно с данными литературных источников, а в разделе 4.3 проведено мультиполосное моделирование ее кривых блеска с определением полного набора фундаментальных параметров и положения пятен на поверхности звезд. Раздел 4.4 описывает наблюдаемые изменения орбитального периода AM Leo, имеющие периодичный характер и объясняемые вероятным влиянием третьего тела. Диссертантом выявлены дополнительные колебания периода на временной шкале 7.8 года, подтвержденные в разделе 4.5 низкоамплитудными колебаниями блеска. Обнаруженные явления связаны с изменениями магнитного поля компонент и соответствующей переменностью положения пятен на их поверхности. Раздел 4.5 содержит исследование характеристик аналогичной системы GSC 3599-2569, обнаруженной автором при мониторинге переменной V645 Cyg. В итоге построена эфемерида объекта и найдена переменность его орбитального периода, выполнено модельное описание наблюдаемых кривых блеска с получением оценок параметров компонент и возможного распределения пятен на их поверхности в 2010 году. Кроме того обнаружены вероятные долгопериодические, вариации яркости GSC 3599-2569, связанные с перестройкой структуры ее магнитного поля.

В пятой Главе из 5 разделов подведены итоги фотометрических наблюдений ряда переменных звезд разных типов. В разделе 5.1 показаны долговременные кривые блеска объекта V645 Cyg, относящегося к классу молодых звезд Ae/Be Хербига. Обнаружено, что за 13-летний цикл наблюдений его блеск вырос от $\Delta m = 1^m$ в оптическом до $\Delta m = 2^m$ в инфракрасном диапазонах при значительном повышении показателя цвета. В раздел 5.2 описаны исследования переменности объектов с инфракрасными избытками в поле V645 Cyg, позволившие обнаружить вероятные изменения яркости 6 звезд. Раздел 5.3 посвящен изучению фотометрических наблюдений переменной V3157 Cyg, открытой диссертантом и являющейся затменной двойной звездой умеренной массы. Ее фазовые кривые блеска модельно проанализированы с нахождением предварительных оценок параметров компонент и выводом о принадлежности V3157 Cyg к полностью разделенным системам.

В **Заключении** кратко обобщены основные результаты диссертации и предложены перспективные пути развития исследований в рамках выбранной тематики.

В целом диссертацию можно охарактеризовать как большую, законченную работу по исследованию группы переменных звезд со сложной физической структурой и композиционным оптическим излучением. Ее отличительной особенностью является использование многолетних наблюдений диссертанта на малых и средних телескопах Коуровской астрономической обсерватории УрФУ и в качестве основы при изучении всех рассматриваемых объектов. При необходимости они эффективно дополнены целевыми высокоточными данными, полученными на телескопе БТА в кооперации с сотрудниками САО РАН, а также информацией из литературных источников. Такой подход позволял для каждого объекта сформировать массив фотометрических, спектральных и спеклинтерферометрических данных, достаточных для его классификации, построения физической модели и определения параметров. При этом следует отметить гибкое и эффективное сочетание в диссертации разных методов анализа наблюдений. Например, для получения параметров кратной системы SZ Cam совместно применены данные ее спеклинтерферометрических наблюдений на БТА САО РАН, измерения динамических характеристик компонент по спектрам высокого разрешения, численное моделирование кривых блеска и изучение временных вариаций "О-С". Другим примером является исследование массивной двойной UU Cas, для которой диссертант на основе измерений лучевых скоростей компонент исправил значения их масс, качественно изменившие модель системы. Для ее проверки Горда С.Ю. совместно с коллегами выполнил доплеровскую томографию объекта, показавшую наличие аккреционного диска вокруг более массивной звезды. К важным достоинствам диссертации нужно отнести подробное обсуждение полученных результатов и их сравнение с литературными данными. Такие обсуждения выделены в отдельные разделы, оканчивающие каждую главу, и позволяют выделить сохраняющиеся проблемы и обосновать достоверность выносимых на защиту положений. В итоге Гордой

С.Ю. проведены комплексные исследования 6 тесных двойных систем (из них 2 входят в кратную систему со сложной иерархией), он исследовал долговременную переменность звезды из класса Ae/Be Хербига и обнаружил несколько новых переменных звезд разных типов. Кроме того, им проанализированы фундаментальные зависимости "масса – радиус" и "масса – светимость" для широкой выборки объектов и построены их аппроксимирующие распределения. Несомненную научную ценность представляют названные распределения, наборы параметров и модели изученных двойных систем. Практическую ценность представляет огромный объем наблюдательных данных, полученных диссертантом на телескопах Коуровской астрономической обсерватории. Достоверность результатов подтверждается их сравнением с опубликованной в литературе информацией и проведением многочисленных тестов. Положения, представленные к защите, прошли надлежащую апробацию на 16 российских и международных конференциях с личным участием автора и опубликованы в 22 статьях и 36 тезисах конференций, из которых 15 – в высокорейтинговых, рецензируемых изданиях. Результаты диссертации перспективны для дальнейшего использования во многих научных и образовательных организациях, в которых проводятся исследования звезд и тесных двойных систем: ГАИШ МГУ, САО РАН, ИНАСАН, ИКИ РАН, КрАО, ГАО РАН, УрФУ, КФУ и др.

К представленному тексту диссертации необходимо высказать следующие замечания:

1) Название диссертации не является удачным, т.к. лишь частично отражает ее тематику и наиболее важные результаты. Принятое название скорее соответствует монографии или обзору современного состояния исследований затменно-переменных звезд. Однако диссертант рассматривает относительно небольшой круг объектов, а их изучение основано на оптических наблюдениях и включает не все методы их анализа. С другой стороны, диссертантом изучены объекты, не относящиеся к затменно-переменным звездам: третье тело в кратной системе SZ Cam, вероятный спутник системы AM Leo, звезда из класса Ae/Be Хербига и новые переменные в ее окрестности. На наш взгляд в названии следовало отразить основное достижение диссертации по эффективному применению наблюдений на малых и средних телескопах в масштабных исследованиях новых или малоизученных переменных звезд с определением уникальных объектов, требующих привлечения наблюдений на крупных телескопах. Подобная формулировка тематики несомненно повышает ее актуальность и значимость результатов.

2) Принятое в диссертации значение весового коэффициента $k = 20$ при получении параметров орбиты третьего тела в SZ Cam не обосновано и вероятно является завышенным. Данный коэффициент определяет соотношение между отклонениями S_{O-C} в кривой $O - C$ и ошибками спеклинтерферометрических наблюдений S_{orb} . Очевидно, что его значение следовало выбрать на основе реальных ошибок двух типов данных. Заданное диссертантом значение дает очень высокий приоритет результатам позиционных наблюдений и на рис. 2.8 отклонения модельной орбиты от наблюдаемых положений не превышают 2-3 тысячных угловой секунды, что очевидно не соответствует имеющейся точности.

3) При исследовании газовых потоков и доплеровской томографии массивной двойной UU Cas использовано несколько неоправданных предположений и методов анализа. В частности, при описании наблюдаемых эмиссионно-абсорбционных профилей линии H_α диссертант не накладывает никаких ограничений на параметры компонент. В результате он получает математически оптимальное, но физически некорректное описание профиля. Как утверждается в диссертации, эмиссионная компонента формируется в оптически тонкой среде, поэтому в фазах с одинаковым блеском ее интегральная интенсивность должна быть почти одинакова, что не соответствует данным на рис. 3.5 и 3.7. Отметим, что методика выделения эмиссий H_α на рис. 3.7 вообще не описана в диссертации, а ее корректность вызывает серьезные сомнения, т.к. удаляемые абсорбции имеют несимметричную, многокомпонентную структуру и существенно различаются даже в близких фазах. Кроме того, наблюдаемые эмиссионно-абсорбционные профили формируются в общем поле излучения звезды с ветром и механическое вычитание из них абсорбционных ком-

понент не оправданно с физической точки зрения. Достоверность доплеровской томографии UU Cas, выполненной по полученным эмиссиям в разделе 3.3, вызывает сомнения по ряду причин: использование наблюдательного материала за 8 месяцев, в течении которых структура газовых потоков могла испытать многократную перестройку; применение методики картирования для оптически тонкой среды при наличии в излучении системы оптически толстых структур. Однако отсутствие в выносимых на защиту положениях прямых ссылок на результатов доплеровского картирования позволяет считать указанные недостатки не критическими для диссертации в целом.

4) Предположение на стр. 204 "Таким образом, небольшие изменения поверхностной температуры компонентов систем типа W UMa порядка 200–300 К [30] из-за увеличения или уменьшения площади пятен, приводящие к небольшому сдвигу максимума распределения энергии непрерывного спектра вдоль оси длин волн, наиболее значимо будут проявляться в изменении блеска звезды в фильтре B и показателя цвета $B - V$. Таким образом, в рамках данного предположения, уменьшение значения показателя цвета $B - V$ и увеличение значения показателя цвета $V - R$ могут свидетельствовать просто об уменьшении пятенной активности компонентов." физически неоправданно. Средние эффективные длины волн фильтров B и V различаются не столь существенно, что бы увеличение запятненности могло значимо понизить яркость системы AM Leo в полосе B при повышении ее яркости в полосе V . Более того, на рис. 4.8 видно, что средний блеск звезды в полосе R существенно не изменился между 2010 и 2019 годами, т.е. отсутствовал сдвиг максимума непрерывного излучения в сторону больших длин волн. Более логичным является предположение, что в начале наблюдательного цикла AM Leo обладала высокой хромосферной активностью, проявляющейся в мощных эмиссионных линиях H I и Ca II. Большинство этих линий попадает в полосу B , а интенсивная линия H_{α} - в полосу R , что могло приводить к появлению в них дополнительного излучения.

5) Утверждение на стр. 252 "Сделан вывод о том, что в процессе эволюционного развития система станет классическим Алголем" требует серьезного обоснования. Как видно из таб. 5.6 суммарная масса компонент V3157 Cyg составляет около $2.5 M_{\odot}$, а большая полуось орбиты равна $9.0 R_{\odot}$. Данные параметры делают более вероятным сценарий превращения V3157 Cyg в систему с общей оболочкой после перехода ее главной компоненты в стадию красных гигантов. Заметим, что на стр. 250 высказано более осторожное предположение "В этом случае после начала фазы обмена массой, т.е. перетекания массы с поверхности главного компонента на менее массивный компонент значение q увеличится и система может стать классическим Алголем", которое является допустимым.

Кроме того имеются мелкие замечания по оформлению диссертации.

1) Количество заявленных целей избыточно и они излишне детализированы. Более оптимальным было бы выделение по одной обобщенной цели для каждой решаемой проблемы с детализацией исследований в списке решаемых задач.

2) Многие рисунки с иллюстрацией наблюдательных данных не содержат информации об их точности, что затрудняет оценку корректности их модельного описания.

3) Стр. 39. Неясен смысл термина "фундаментальными величинами звезд".

4) Стр. 51. Ошибка записи зависимости " $\lg M = \lg R$ ".

5) Стр. 59. Утверждение "Наиболее полной по количеству данных является работа Генри и Маккарти [68]..." очевидно соответствует не настоящему моменту, а времени написания оригинальной статьи.

6) Стр. 77. Ошибка в формуле 2.1.

7) Стр. 118. Ошибка в индексе массы в формуле 2.17.

8) Стр. 130. Ошибка в записи отождествлений " $\text{Na II } \lambda 6482.1 \text{ \AA}, \lambda 5710.8 \text{ \AA}$ ". Очевидно, что линии ионизованного натрия не могут наблюдаться в спектре данного объекта.

9) Стр. 185. Ссылка на рис. 4.3 в действительности должна быть на рис. 4.4.

10) Стр. 223. Содержание рис. 4.19 не соответствует его подписи "Кривая изменения внезапного блеска GSC 3599-2569, свернутая с периодом 1187^d", т.к. на рисунке не прослеживается четкой кривой изменений блеска.

11) Стр. 280. Неточности в оформлении источников 60 и 61.

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации и результатов, выносимых на защиту.

Автореферат полностью отражает содержание и структуру диссертации.

Диссертация "Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменно-переменных звезд методами наблюдательной астрономии" является законченным научным исследованием, обеспечивающим дальнейшее развитие ряда направлений астрофизики одиночных и двойных звезд, удовлетворяет всем требованиям ВАК РФ, предъявляемым к докторским диссертациям по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия, а диссертант Горда Станислав Юрьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук.

Отзыв подготовлен старшим научным сотрудником лаборатории физики оптических транзиентов Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук, кандидатом физико-математических наук Шиманским Владиславом Владимировичем. Текст отзыва рассмотрен и одобрен на Астрофизическом семинаре CAO РАН 10 августа 2023 года.

Старший научный сотрудник,
канд. физ.-мат. наук, доцент
369167, п. Нижний Архыз, Зеленчукский район
Карачаево-Черкесская республика, Россия
тел. +78782293374, e-mail otstoiy@yandex.ru

Шиманский В.В.

Подпись Шиманского В.В. заверяю
Ученый секретарь CAO РАН,
канд. физ.-мат. наук



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Специальная астрофизическая обсерватория
Российской академии наук (САО РАН)
369167, п. Нижний Архыз, Зеленчукский район
Карачаево-Черкесская республика, Россия
тел. +78787846336, факс +78787846315
e-mail admsao@sao.ru

Кайсина Е.И.