

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Горды Станислава Юрьевича

«Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных звезд методами наблюдательной астрономии», представленную на соискание учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Диссертационная работа «Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных звезд методами наблюдательной астрономии» посвящена комплексному изучению отдельных типов переменных звёзд на основе наблюдательного материала, полученного автором на телескопах Коуровской обсерватории Уральского федерального университета, а также на инструментах Специальной Астрофизической Обсерватории РАН, в том числе и на 6-метровом БТА. Переменные звёзды играют весьма существенную роль в понимании строения и эволюции звезд и, в тоже время, являются важным инструментом исследования, как самих звезд, так и пространственной структуры Галактики. Определенная часть переменных звезд является двойными системами. Более половины из 10 миллиардов звезд, составляющих Нашу Галактику, - это двойные и кратные системы. Определенный тип переменных звезд - затменные переменные звезды, относящиеся к классу тесных двойных систем (ТДС), являлись основным источником знаний, главным образом, о массах и радиусах звезд. С увеличением собирающей способности современных телескопов, развитием компьютерной техники, увеличением скорости вычислений, объемов используемой оперативной памяти, развитием техники программирования и внедрения, на основе этого, новых методов наблюдений и обработки полученного материала, в последнее время был достигнут огромный прогресс в исследовании практически любых астрономических объектов и затменных переменных звезд, в частности. Сейчас появилась возможность даже на небольших обсерваториях, имеющих телескопы с оптикой малых и умеренных размеров, проводить астрономические исследования, которые еще 20 - 25 лет назад были возможны только на крупных телескопах. Повсеместное оснащение телескопов почти идеальными приемниками излучения - ПЗС-камерами, автоматизация процессов наблюдений, а также интернет или спутниковая связь значительно упростили процесс получения качественного наблюдательного материала, его точной привязки к стандартной шкале времени. Длительные мониторинговые наблюдения позволяют подтвердить на более обширном материале выводы, сделанные на основе кратковременных исследований объектов, зачастую значительно уточнив или существенно поправив результаты предыдущих исследований. А в некоторых, достаточно частых случаях, обнаружить существенно новые особенности объектов (звезд), проявляющие себя на достаточно длительных интервалах времени. Задача комплексного исследования тесных двойных систем с одновременным применением различных методов наблюдений с целью получения многопланового наблюдательного материала, например, фотометрического, спектрального, спеклинтерферометрического и т.д., а также использование современных методов его дальнейшей обработки с целью определения физических параметров, конфигурации или эволюционного статуса данной ТДС, сейчас становится вполне реализуемой. Этому же способствует и быстрое увеличение вычислительной мощности компьютерной техники, как в плане автоматизации управляющей функции телескопа и принимающей аппаратуры, так и обработки получаемого материала. Все перечисленные

выше факторы автор применил в своей работе для получения уникальных результатов в исследовании затменных переменных звезд.

Этим объясняется очевидная **актуальность** выполненной диссертационной работы.

Диссертация состоит из Введения, пяти глав, Заключения, трех Приложений и списка литературы.

Введение представляет хороший обзор современного состояния в области исследования в основном затменных переменных звёзд, демонстрируя широкий кругозор автора диссертационной работы. Во Введении описаны цели и задачи работы, методология и методы проведённых исследований, доказана актуальность работы, новизна и достоверность полученных результатов, их научная и практическая значимость. Указаны положения, выносимые на защиту, отмечен личный вклад автора в совместные работы. Приведён список публикаций по теме диссертации, перечислены конференции, на которых прошла апробация работы. Несмотря на то, что публикации по теме диссертации охватывают 25-летний период, работа представлена в виде цельного труда.

В первой главе представлена разработанная автором процедура коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе. Показано, что, имея информацию только о величине отношения дисперсий ошибок функции к аргументу, можно практически полностью скорректировать величину коэффициента наклона прямой, практически убрав, так называемую, регрессионную вилку. Автор применил данный метод к построению линейных зависимостей между фундаментальными параметрами звезд на основе данных об РГП системах из каталога Свечникова и Перевозкиной и некоторых источников из литературы. Хочется отметить, что согласно статистике ссылок, данные зависимости пользуются спросом на протяжении уже более 20-ти лет. Автором также рассматриваются и современные тенденции построения подобных зависимостей, что демонстрирует комплексный подход автора к проблеме и его высокую квалификацию.

Во второй главе описаны результаты исследования фотометрическим, спектральным и спеклинтерферометрическим методами компонентов визуально-двойной звезды ADS 2984, предположительно являющейся членом рассеянного звездного скопления NGC 1502, оба компонента которой представляют собой тесные двойные системы с массивными компонентами раннего спектрального класса. Визуальный компонент ADS 2984B известен как затменная переменная SZ Cam (SZ Жирафа) и вместе с недавно обнаруженным третьим телом, являющимся также тесной двойной системой, представляет собой квадрупольную конфигурацию. Компонент ADS 2984A, известен на протяжении почти 100 лет его исследования как спектрально-двойная звезда и, несмотря на значительный яркость ($V \sim 7^{\text{m}}$), позиционировался как тесная двойная система, период которой не удавалось определить. На основе анализа кривой блеска SZ Cam (ADS 2984B), полученной автором методом сканирования изображений, адаптированным им к наблюдениям переменных звезд в визуально-двойных системах, впервые на кривой блеска этой переменной звезды были обнаружены колебания блеска третьего тела, также являющегося тесной двойной системой. По форме кривой изменения блеска третьего тела было установлено, что в его системе затмения не наблюдаются, а колебания блеска обусловлены наличием приливной деформации компонентов (переменность типа ELL). На основе данных спеклинтерферометрических наблюдений, выполненных автором совместно с сотрудниками САО РАН, и полученной автором кривой изменения периода системы SZ Cam впервые были определены все элементы относительной орбиты третьего тела. Найдено значение расстояния до системы SZ Cam, которое практически точно совпадает со значением, полученным на основе измерения параллакса, по данным Gaya-

DR3, а также со значением расстояния до скопления NGC 1502. Используя результаты собственных спектральных наблюдений, автор впервые определил значение периода спектрально-двойной звезды ADS 2984A, используя лучевые скорости одного химического элемента, а именно, нейтрального Гелия. Привел доказательства наличия значительного звездного ветра. Однозначно показал, что эта спектрально-двойная звезда относится к типу SB1. Получил оценку нижней границы массы невидимого спектрального компонента.

Третья глава посвящена исследованию двух тесных двойных систем с массивными компонентами раннего спектрального класса. Одна из них - UU Cas с момента ее открытия в 30-х годах прошлого века считалась одной из самых массивных тесных двойных систем, находящейся в начальной стадии первого обмена масс. На основе собственных спектральных наблюдений автор впервые определил массу вторичного, более слабого компонента этой тесной двойной системы. Неожиданным результатом данного исследования явилось значение массы вторичного компонента, который оказался почти вдвое массивнее главного, более яркого компонента, поставляющего вещество в полость Роша своего менее яркого соседа. Учитывая предложенную ранее Джурасевичем модель UU Cas, согласно которой вторичный компонент окружен плотным аккреционным диском и поэтому является для удаленного наблюдателя более слабым, автор сделал вывод о том, что система находится в заключительной или близкой к ней стадии первого обмена масс. Еще одним результатом данного исследования является определение значения масс компонентов UU Cas, которые оказались в 3 - 4 раза меньше ранее принятых значений. Сделанные автором выводы позднее были подтверждены в ряде работ других исследователей.

В четвёртой главе диссертации автор обращается к изучению контактных тесных двойных систем малых масс типа W UMa. Отличительной особенностью кривых блеска этих тесных двойных систем является их постоянная, в небольших пределах, изменчивость, обусловленная наличием меняющейся площади пятен на поверхности компонентов, обладающих значительным магнитным полем. Автор впервые провел десятилетний практически непрерывный фотометрический мониторинг двух таких систем - AM Leo и новой открытой им системы типа W UMa - GSC 3599-2569. Результатом данной работы явилось обнаружение периодического изменения общего блеска систем, не связанного с явлениями затмений и приливных деформаций компонентов, а вызванного изменением совокупной площади темных или светлых пятен на поверхности компонентов, обусловленное периодическим изменением магнитного поля компонентов. Эффект, аналогичный 11-летнему Солнечному циклу. На основе изучения изменения орбитального периода звезды AM Leo автор впервые обнаружил малоамплитудные колебания орбитального периода, также вызванные изменением магнитного поля компонентов (эффект Эпплгейта). Причем период и фаза этих колебаний практически совпали с аналогичными величинами малоамплитудных изменений блеска системы, что указывает на общую причину их возникновения.

В пятой главе представлены результаты многолетнего фотометрического и спектрального мониторинга молодой массивной звезды V645 Cyg, являющейся объектом Ве Хербига. Обнаружено значительное увеличение блеска звезды за последние двенадцать лет. Сделано предположение, что причиной поярчания звезды является утончение или разрывы в газово-пылевом коконе, окружающем эту молодую звезду. Это может служить основанием считать видимое увеличение блеска звезды следствием увеличивающейся в направлении на наблюдателя площади пылевой составляющей первоначального кокона.

На основе анализа ПЗС-кадров в ближайшей окрестности V645 Cyg обнаружены пять переменных звезд неправильного типа с большим инфракрасным избытком цвета. Сделано предположение, что по крайней мере некоторые из них могут являться молодыми объектами типа V645 Cyg. Также в ближайшей окрестности V645 Cyg была открыта и исследована новая затменная переменная звезда 3UC 281-20371, в настоящее время занесенная в каталог ОКПЗ под обозначением V3157 Cyg. Анализ кривых блеска показал, что новая ТДС состоит из более массивного, горячего главного компонента большего радиуса и холодного, меньшего по размерам, менее массивного компонента. Сделано предположение, что звезда в процессе эволюции компонентов может стать классическим Алголем.

В **Заключении** дается краткая сводка полученных в работе результатов и описываются планы будущих исследований. Список литературы содержит 254 ссылки.

Если говорить о работе в целом, то она представляет собой превосходный пример комплексного подхода к исследованию одних из интереснейших объектов с точки зрения астрофизики, а именно затменных переменных систем. Не вызывает сомнения **новизна и оригинальность** диссертации – в работе представлены как новые методы исследования, разработанные автором, так и большое количество оригинальных результатов, полученных автором на основе исключительно собственных наблюдений, что подтверждается публикациями в ведущих мировых журналах и большим количеством цитирований этих работ. Все положения, выносимые на защиту, грамотно обоснованы и верифицированы проведёнными наблюдениями, расчётами, теоретическими выкладками, модельными построениями.

Достоверность результатов обеспечивается грамотным подходом к обработке и интерпретации данных - всегда приводятся оценки статистической значимости, учитывается неполнота данных, оценки параметров проводятся несколькими способами, даётся сравнение с результатами, полученными другими авторами. Все выводы проиллюстрированы большим количеством прекрасного качества рисунков, графиков и таблиц. Работа выполнена на высоком профессиональном уровне, демонстрируя высочайшую квалификацию автора как астронома-наблюдателя, астрофизика и программиста. Диссертация написана грамотным и понятным языком, легко читается.

Перечислю ряд недостатков и замечаний, которые никак не умаляют значимость работы, а направлены на улучшение её качества.

- В первой главе на рисунке 1.7 среди нагромождения однотонных значков почти потерялись обозначения эталонной звезды. Вероятно, для лучшей видимости этих обозначений следовало бы выделить данные значки цветом, как это сделано на других рисунках.
- Во второй главе автор привел оценки масс компонентов визуально двойной звезды ADS 2984, входящей, по всей видимости, в состав рассеянного звездного скопления NGC 1502, компоненты которой в свою очередь являются кратными системами. Хотелось обратить внимание на следующий факт и получить комментарий. Из текста следует, что видимый блеск обоих компонентов, особенно в максимуме блеска переменного компонента - UU Cas, практически одинаков, а найденные автором массы компонентов отличаются в два с половиной раза. Учитывая оценки спектральных классов, можно предположить, что компоненты ADS 2984, находясь на одном удалении от наблюдателя, не должны иметь практически одинаковые значения блеска. Составляют ли оба компонента

физическую визуально-двойную пару? И являются ли оба ее компонента членами скопления?

- Следует отметить еще одну неточность, во второй главе в таблице 2.8 единица измерения орбитального периода взаимной орбиты SZ Cam и третьего тела указана в днях, в то время как ранее, при аппроксимации световой кривой единицей измерения этого периода в таблице 2.7 указан год.

Хочется отметить, что перечисленные выше замечания нисколько не умаляют ценность и актуальность работы. Автореферат полностью отражает содержание диссертации. Результаты, выносимые на защиту, опубликованы в двадцати двух статьях в рецензируемых изданиях, причём почти половина без соавторов, а некоторые – в журналах из квотиля Q1. Кроме того результаты диссертации были представлены на многочисленных российских и международных конференциях и отражены в 36 публикациях в трудах этих конференций. Полученные С.Ю. Гордой результаты будут востребованы в различных астрономических учреждениях России, таких как МГУ, УрФУ, ИНАСАН, САО РАН, СПбГУ, ЮФУ, КРАО РАН, а также за рубежом.

Диссертация «Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных звезд методами наблюдательной астрономии» удовлетворяет всем требованиям к докторским диссертациям, предъявляемым ВАК при Минобрнауки РФ, а её автор, Станислав Юрьевич Горда, вне всяких сомнений, заслуживает присуждения ему учёной степени доктора физико-математических наук по специальности 1.3.1 – физика космоса, астрономия.

Доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник отдела изучения Галактики и переменных звезд государственного астрономического института имени П.К. Штернберга федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ имени М.В. Ломоносова)

Бердников Леонид Николаевич

22 августа 2023 г.

Почтовый адрес:

119234, Москва, Университетский проспект. д. 13

Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга МГУ имени М.В. Ломоносова,

Телефон: +79032315169

Эл. адрес: berdnik@sai.msu.ru

Подпись Л.Н. Бердникова заверяю.

Начальник отдела канцелярии

ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова



Л.Н. Новикова