

«Утверждаю»

Проректор по научной работе
УрФУ

А.В.Германенко

«24 марта 2023 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Объединенного семинара Коуровской астрономической обсерватории и кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ о диссертации Горды Станислава Юрьевича «Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных систем методами наблюдательной астрономии» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук (специальность 1.3.1 — Физика космоса, астрономия).

Выписка из протокола №4 заседания объединенного семинара Коуровской астрономической обсерватории и кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды ИЕНиМ УрФУ от 17 октября 2022 г.

Присутствовали: преподаватели и сотрудники астрономической обсерватории и кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ:

1. В. М. Данилов, главный научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, доктор физико-математических наук;
2. Э. Д. Кузнецов, заведующий кафедрой астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ, доктор физико-математических наук;
3. А. М. Соболев, ведущий научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
4. А. И. Васюнин, заведующий лабораторией астрохимии кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ, PhD, кандидат физико-математических наук;
5. А. Ф. Селезнев, старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, доктор физико-математических наук;
6. Г. Т. Кайзер, главный специалист Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук,
7. А. В. Кожевникова, старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
8. Т. И. Левитская, доцент кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ, кандидат физико-математических наук;
9. Е. И. Старицин, ведущий научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
10. М. Э. Попова, старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;

11. С. В. Салий, старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
12. А. А. Калинин, главный специалист Коуровской астрономической обсерватории;
13. Д. А. Ладейшиков, старший научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
14. Н. Д. Калинина, научный сотрудник Коуровской астрономической обсерватории;
15. А. А. Шагабутдинов, инженер Коуровской астрономической обсерватории.
16. В. С. Сафонова, ассистент кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ;
17. Т. С. Полушкина, ученый секретарь Коуровской астрономической обсерватории, кандидат физико-математических наук;
18. К. И. Смирнова, преподаватель кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ;
19. Г. С. Федосеев, старший научный сотрудник лаборатории астрохимии кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ, PhD, кандидат физико-математических наук;
20. Студенты кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ.

Слушали. Сообщение ведущего научного сотрудника Коуровской астрономической обсерватории УрФУ С.Ю. Горда о содержании диссертационной работы «Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных звезд методами наблюдательной астрономии», представляемой на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. Работа выполнена в Уральском федеральном университете. В дискуссии по докладу выступили: В. М. Данилов, А. Ф. Селезнев, Левитская, А. М. Соболев, М. Э. Попова, Е.И. Старицин.

Объединенный семинар отмечает.

Актуальность работы определяется взрывным ростом количества новых открытых, публикаций и общего интереса к исследованию переменных и в частности затменных тесных двойных систем за последние 20 – 30 лет.

Переменные звёзды играют весьма существенную роль в понимании строения и эволюции звезд и в тоже время являются важным инструментом их исследования. Определенная часть переменных звезд является двойными системами. Около ста миллиардов звезд составляют Нашу Галактику и более половины из них - это двойные и кратные системы. Среди них порядка 10% являются кратными системами. Эволюция достаточно тесных двойных звезд, вследствие взаимодействия компонентов, на определенном этапе их эволюционного развития идет по несколько иному сценарию, чем у одиночных звезд. В этом смысле они являются своеобразными лабораториями по изучению такого не свойственного одиночным звездам эволюционного развития. До последнего времени определенный тип переменных звезд - затменные переменные двойные системы, относящиеся к

классу тесных двойных систем (ТДС), являлись основным источником наших знаний, главным образом, о массах и радиусах звезд.

Природу таких явлений, связанных с выделением огромного количества энергии ($E=10^{46}$, эрг), например, как Новые Звезды, удалось понять только после того, как было достигнуто понимание их принадлежности к ТДС, одним из компонентов которых является белый карлик, накапливающий вещество соседа - обычной звезды - до момента термоядерного взрыва на своей поверхности. Еще более грандиозное явление, как вспышка Сверхновой типа Ia, сопровождающаяся выделением энергии до ($E=10^{51}$ эрг), связано с термоядерным взрывом, но уже всего белого карлика, тоже являющегося компонентом ТДС. Не так давно на основе вспышек Сверхновых типа Ia, зарегистрированных в других галактиках, находящихся на различных Z , был обнаружен эффект ускоренного расширения Вселенной.

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, но оснащенных почти идеальными приемниками излучения - ПЗС-камерами, проводить астрономические исследования, которые еще 20 - 25 лет назад были возможны только на крупных телескопах. Таким образом, задача комплексного исследования тесных двойных систем на длительном интервале времени, с одновременным применением различных методов наблюдений с целью получения многопланового наблюдательного материала, например, фотометрического, спектрального, спектр-интерферометрического 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.

Научная новизна. Работы С.Ю.Горды посвящены большинству современных направлений исследований затменных и переменных звезд.

1. Предложен и апробирован метод коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе, а также определены граничные условия его применения.
2. Впервые получены параметры фундаментальных зависимостей между физическими параметрами звезд, с использованием предложенного автором метода коррекции. Полученные соотношения используются в научных исследованиях различными авторами на протяжении последних 20-ти лет.
3. На основе новых фотометрических, спектральных и спектр-интерферометрических данных, полученных автором, либо с его участием, проведено комплексное исследование ряда тесных двойных систем, в результате которого были получены новые данные о физических параметрах, эволюционном статусе и структуре этих ТДС.
4. В процессе анализа полученных наблюдательных данных были открыты и

исследованы две новые затменные переменные звезды, а также пять новых переменных звезд с неправильным типом изменения блеска. На основе наличия избытка цвета в ближней инфракрасной области сделано предположение, что это могут быть молодые звездные объекты.

5. Наряду с результатами спектральных и спекл-интерферометрических исследований впервые найдены свидетельства наличия третьего тела в системе ТДС SZ Cam по фотометрическим данным, выражющиеся в существовании малоамплитудной синусоидальной волны на кривой блеска SZ Cam, являющейся следствием эффекта эллипсоидальности главного компонента третьего тела. Показано, что отсутствие затмений в системе третьего тела, являющегося тоже тесной двойной системой, не предполагает наличие компланарности орбит компонентов SZ Cam и третьего тела.

6. Впервые с использованием новых спекл-интерферометрических данных определены все шесть элементов орбиты третьего тела в системе SZ Cam, на основе чего была получена оценка расстояния до звезды геометрическим методом, совпадающая с оценкой расстояния, определенного, по данным Gaia DR2, до рассеянного звездного скопления NGC 1502, к которому она принадлежит.

7. Предложенным автором методом построения кривых лучевых скоростей по линиям одного химического элемента впервые с момента открытия спектральной двойственности южного компонента ADS 2984A в 1924г. найдено значение периода этой ТДС.

8. На основе спектральных данных, полученных автором, найдены новые значения масс компонентов тесной двойной системы с массивными компонентами ранних спектральных классов UU Cas. Показано, что система не является сверхмассивной, как считалось ранее на основе фотометрических данных, а отношение масс компонентов --- обратное найденному ранее по результатам фотометрии. Сделан вывод о новом эволюционном статусе системы. Подтверждено наличие газовых структур из-за перетекания вещества с одного компонента на другой, в частности существование плотного газового диска вокруг более массивного компонента.

9. Впервые на основе данных многолетних фотометрических мониторингов двух короткопериодических тесных двойных систем типа W UMa AM Leo и GSC 3599 2569 найдены периоды малоамплитудных изменений вне затменного блеска этих систем, являющиеся причиной пятенной активности на поверхности компонентов и вызванные циклическими изменениями магнитного поля систем, аналогично процессу Солнечной активности.

Полученные в диссертации результаты важны для понимания формирования и эволюции ТДС, относящихся к разным типам. Основные результаты могут быть использованы для сравнения теоретических исследований с полученными наблюдательными данными.

Научная и практическая ценность.

За последние годы, благодаря увеличению собирающей способности современных телескопов, внедрению новых методов наблюдений и обработки полученного материала, был достигнут огромный прогресс в исследовании переменных звезд и затменных переменных звезд, в частности. Благодаря появлению больших

фотометрических и спектроскопических обзоров, представления о переменных звездах существенным образом изменились. Основной прогресс был достигнут в плане понимания эволюционных переходов из одного типа ТДС в другие. Поднятию интереса к исследованию переменных звезд способствовало также повсеместное оснащение телескопов почти идеальными приемниками излучения - ПЗС-камерами и автоматизация процессов наблюдений. Благодаря чему появилась возможность комплексного исследования переменных звезд с применением различных методов наблюдений и обработки полученного наблюдательного материала.

Изучение переменных звезд имеет большое значение для астрономии в целом и для астрофизики в частности. Переменные звезды и затменно-переменные, в частности, представляют собой уникальные лаборатории по изучению астрофизики, динамики и фундаментальной физики.

Представленная работа включает в себя исследования по многим из перечисленных выше направлений. Разработанные автором методы, программное обеспечение могут применяться другими исследователями в области исследования переменных звезд. Полученные результаты (новые наблюдательные данные, параметры компонентов ТДС, определение эволюционного статуса и т.п.) способны стать отправной точкой для новых исследований.

Научная и практическая значимость диссертации заключается в комплексном использовании различных методов наблюдений и обработки полученного материала для исследования конкретных ТДС, что позволило получить новые научные результаты, практически не прибегая к использованию крупных телескопов. Возможность проведения длительных мониторингов отдельных объектов также способствовала получению абсолютно новых научных результатов, которые не могли быть получены при кратковременном изучении ТДС.

Публикации и аprobация работы. Результаты по теме диссертации докладывались на объединенном семинаре Коуровской астрономической обсерватории и кафедры астрономии, геодезии, экологии и мониторинга окружающей среды УрФУ, на 34 всероссийских и международных (Международная конференция "The Joint European and National Astronomical Meeting (JENAM)-2000", 29 мая - 3 июня 2000г., Россия, Москва, МГУ.; Международная конференция "Настоящее и будущее малых и средних телескопов, СМТ-2015", 19-22 октября 2015 г., Россия, п.Нижний Архыз, САО РАН; Международная конференция "Переменные звезды – ключ к пониманию строения и эволюции Галактики", посвященная 90-летию со дня рождения Б.В. Кукаркина. 25-29 октября 1999г., Россия, Москва, ГАИШ, МГУ.; Международная конференция "Физика звёзд: от коллапса до коллапса", САО РАН, пос. Нижний Архыз, Россия, 03-07 октября 2016 г. и др.) конференциях. Основные результаты опубликованы в 22 статьях в ведущих рецензируемых журналах, а также в 36 статьях в сборниках трудов конференций. Всего публикаций по теме диссертации — 58.

Личный вклад и участие автора в работах по теме диссертации.

Соискатель в равной степени с другими соавторами участвовал в постановке задач. Им разработано оригинальное программное обеспечение для анализа наблюдательных данных, проведено необходимое тестирование. Соискателем

выполнены расчеты, проанализированы полученные результаты, сформулированы выводы. В необходимых случаях, вклад соискателя конкретизируется в тексте диссертации при описании отдельных полученных результатов.

В частности, соискателем:

1. Разработан метод коррекции коэффициентов линейной регрессии при наличии ошибок в аргументе с использованием только информации, содержащейся в данных.
2. Определены коэффициенты линейных эмпирических зависимостей между физическими параметрами звезд с применением метода коррекции при наличии ошибок в аргументе.
3. Предложена методика выявления малоамплитудных колебаний блеска на кривых блеска переменных звезд.
4. Предложен и апробирован метод определения элементов орбиты третьего тела в ТДС на основе данных спекл-интерферометрии и изменений периода затменной системы.
5. Получены оригинальные фотометрические, спектральные и спекл-интерферометрические данные ряда затменных переменных систем.
6. Впервые определены физические параметры открытых автором совместно с соавторами новых переменных звезд.
7. Предложен новый эволюционный статус затменной переменной звезды с массивными компонентами раннего спектрального класса UU Cas.

На защиту выносятся следующие основные результаты.

1. Метод восстановления несмещенных оценок значений коэффициентов линейной регрессионной зависимости при наличии шума в аргументе, использующий только один параметр, определяемый исключительно по имеющемуся набору наблюдательных данных и апробированный на основе проведенного численного эксперимента. Утверждается, что восстановление значения углового коэффициента линейной зависимости, найденного с применением стандартного метода наименьших квадратов, достигается с точностью не хуже 2% – 5% при наличии шума в аргументе с величиной дисперсии не более 5% от области определения функции.
2. Полученные на основе данных каталога РГП систем, с использованием процедуры получения несмещенных оценок параметров, эмпирические зависимости между фундаментальными параметрами звезд «Масса – Светимость», «Масса – Радиус» и «Масса – Спектр» с учетом звезд малых масс.
3. Впервые обнаруженный на основе анализа полученных автором фотометрических данных на кривых блеска SZ Cas эффект эллипсоидальности видимого в спектре яркого компонента третьего тела, подтверждающий, уже фотометрическим методом, двойственность третьего тела в системе SZ~Cas и отсутствие затмений в тесной паре третьего тела.
4. Впервые найденные значения всех шести элементов видимой относительной орбиты третьего тела на основе новых, полученных с участием автора, спекл-интерферометрических данных компонентов ADS 2984 и исследования изменений периода SZ Cas.

5. Полученная оценка расстояния до системы SZ Cas, с применением метода, не использующего зависящие от поглощения света фотометрические данные, и совпадающая в пределах разброса оценок разных авторов с расстоянием до скопления NGC 1502.
6. Впервые найденное значение периода южного компонента визуально-двойной звезды ADS 2984, которое со времени обнаружения спектральной двойственности этой ТДС не удавалось определить. Однозначное определение типа спектрально двойной системы ADS 2984A, как SB1. Полученная оценка массы невидимого в спектре, мало массивного компонента.
7. Найденное впервые по оригинальным спектральным данным автора значение динамической массы вторичного компонента полу разделенной ТДС с массивными компонентами UU Cas. Показано, в противоположность данным фотометрии, что этот компонент в системе является более массивным. Сделанный вывод о новом эволюционном статусе системы UU Cas, а именно, что система находится в заключительной стадии первого обмена масс. Полученные по спектральным данным автора с использованием метода допплеровской томографии основные элементы структуры переноса газовой составляющей от менее массивного донора к более массивному аккретору.
8. Обнаруженные на основе оригинальных многолетних наблюдений автора мало амплитудные циклические колебания вне затменного блеска мало массивной, короткопериодической затменной переменной системы AM Leo и открытой автором новой затменной переменной GSC~3599-2569, относящихся к типу W UMa систем. А также мало амплитудные колебания периода AM Leo.
9. Интерпретация малоамплитудных изменений блеска и периода AM Leo и звезды GSC~3599-2569 в рамках модели периодического изменения магнитного поля конвективных оболочек компонентов системы, проявляющегося в изменении общего блеска системы из-за наличия пятен на поверхности компонентов, а также в изменении периода системы вследствие взаимодействия квадрупольного момента компонентов с изменяющимся магнитным полем (эффект Эпплгейта).
10. Вывод об увеличении потока излучения от нагретых областей пылевых структур, окружающих молодую массивную звезду типа Ae/Be Хербига V645~Сyg, например, уменьшении плотности остатков пылевого кокона, сделанный на основе увеличения блеска и покраснения данного объекта, обнаруженных по результатам многолетних фотометрических наблюдений данной звезды автором.

Объединенный семинар считает.

Представленная С.Ю.Гордой диссертационная работа выполнена на высоком научном уровне. Она содержит новые, важные в научном и практическом отношении результаты и вносит существенный вклад в изучение затменных переменных звезд. Работа выполнена в УрФУ по теме НИР №FEUZ–2020–0030 «Исследования в области астрофизики, звездной астрономии и небесной механики». Работа удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к докторским диссертациям по физико-математическим наукам, и может быть рекомендована к защите.

Постановили. Рекомендовать диссертационную работу С.Ю.Горды «Исследование физических параметров, эволюционного статуса и конфигурации некоторых типов затменных переменных систем методами наблюдательной астрономии» к защите на соискание ученой степени доктора физико-математических наук в Диссертационном совете 24.1.032.01 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте астрономии Российской Академии Наук по специальности 1.3.1 – Физика космоса, астрономия.

Руководитель объединенного семинара

А.Ф.Селезнев

Исполняющий обязанности директора Коуровской астрономической обсерватории УрФУ

В.В.Крушинский