

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.ЛОМОНОСОВА

*На правах рукописи*

**Масленникова Наталия Андреевна**

**Быстрая фотометрическая и спектральная  
переменность симбиотических звезд**

Специальность 1.3.1. Физика космоса, астрономия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва — 2026

Диссертация подготовлена на кафедре экспериментальной астрономии физического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель: **Татарников Андрей Михайлович**  
кандидат физико-математических наук

Официальные оппоненты: **Прохоров Михаил Евгеньевич**,  
доктор физико-математических наук,  
доцент,  
заведующий лабораторией  
космических проектов  
Государственного астрономического  
института им. П.К.Штернберга МГУ  
им. М.В.Ломоносова

**Самусь Николай Николаевич**,  
доктор физико-математических наук,  
ведущий научный сотрудник отдела  
нестационарных звезд и звездной  
спектроскопии Института астрономии  
Российской академии наук

**Шахворостова Надежда Николаевна**,  
кандидат физико-математических наук,  
старший научный сотрудник лаборатории  
спектроскопии межзвездной среды отдела  
теоретической астрофизики и космологии  
Астрокосмического центра Физического  
института им. П.Н.Лебедева Российской  
академии наук

Защита диссертации состоится 18 июня 2026 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.013.1 Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова по адресу: 119234, г. Москва, Университетский п-кт, д. 13, конференц-зал.

E-mail: [dissovet@sai.msu.ru](mailto:dissovet@sai.msu.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В.Ломоносова (Ломоносовский п-кт, д. 27) и на портале: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3884>.

Автореферат разослан 15 мая 2026 года.

Ученый секретарь  
диссертационного совета МГУ.013.1,  
доктор физико-математических наук

А. И. Богомазов

## Общая характеристика работы

### Актуальность темы

Симбиотические звезды — это двойные взаимодействующие системы, в спектрах которых присутствуют полосы поглощения, характерные для гигантов поздних спектральных классов, и эмиссионные линии ионов с высокими потенциалами ионизации. Впервые они были выделены в отдельный класс в начале 20 века Энни Джамп Кэннон, когда она отнесла к новому классу Z And, RX Pup, RS Oph и Y CrA [1]. Сейчас к симбиотическим звездам относят около 300 систем [2], но, согласно оценкам, их число в Галактике может составлять от 3 000 до 30 000 [3; 4] и даже до  $4 \cdot 10^5$  [5].

Проработанная модель, наиболее полно описывающая спектры симбиотических звезд — двойная система, состоящая из гиганта позднего спектрального класса и белого карлика, окруженная туманностью из вещества ветра холодного компонента, ионизованного излучением горячего компонента, была впервые рассмотрена в работах [3; 6]. При этом без подробных расчетов двойную звездную систему для описания феномена симбиотической звезды было предложено использовать в работе [7]. Иногда в качестве горячего компонента выступает нейтронная звезда [8], например, в системах Sct X-1, IRXS J180431.1-273932, IGR J16393-4643 и др. (см., например, [9]).

Симбиотические звезды из-за существования в одной системе очень разных и взаимодействующих компонентов: холодного красного гиганта и горячего компактного объекта являются уникальными астрофизическими лабораториями, позволяющими изучать явления, происходящие при взаимодействии звездных компонентов, их ветров и излучений. Симбиотические звезды демонстрируют переменность на различных временных и энергетических масштабах: вспышки классических симбиотических звезд (амплитуда составляет до 3 mag, вспышки происходят раз в несколько лет), повторных новых (амплитуда вспышек составляет около 6 mag, время между вспышками — десятилетия), симбиотических новых (у систем такого типа за всю историю наблюдений наблюдалась одна вспышка с амплитудой  $\sim 10$  mag), пульсации красного гиганта (мириды или полуправильные переменные), эллипсоидальная переменность (красный гигант заполняет свою полость Роша, при орбитальном движении наблюдатель видит разную площадь поверхности звезды с разным распределением температуры), фликкер-эффект (наблюдается у малого числа систем, возможно, связан с переменностью вязкости в аккреционном диске). У небольшого числа систем наблюдается несколько видов вспышек, например, как у классических симбиотических звезд и как у симбиотических новых.

Важность изучения механизмов аккреции в симбиотических звездах (происходит ли она через аккрецию ветра (Бонди-Хойла) или через аккреционный диск) в том числе связана с тем, что они рассматриваются как

возможные прародители сверхновых типа Ia. Модельные расчеты [10; 11] показывают, что эволюция симбиотических звезд может приводить к образованию вспышки сверхновых по двум каналам: аккреция с последующим термоядерным взрывом белого карлика или слияние двух белых карликов в конце эволюции.

В последнее время возник интерес к симбиотическим звездам как к прародителям систем сливающихся белых карликов [10], от которых в будущем возможно зарегистрировать гравитационно-волновой сигнал.

Существование аккреционных дисков подтверждено при спектральных наблюдениях повторных симбиотических новых [12; 13]. У классических симбиотических звезд (наиболее многочисленного класса этих систем) в спокойном состоянии происходит горение водородной оболочки на поверхности белого карлика. Это требует очень узкого диапазона темпа аккреции, который мог бы обеспечить аккреционный диск, но он не регистрируется у этих систем в спокойном состоянии (при этом в активном состоянии признаки существования аккреционного диска наблюдаются). До сих пор не для всех симбиотических звезд известно, происходит ли в них аккреция из ветра или через аккреционный диск, бывают ли переходы между этими случаями аккреции. Механизмы переноса массы, вероятно, зависят от типа донора, поскольку скорость потери массы ветром у гиганта и степень, с которой он заполняет свою полость Роша, зависят от его эволюционного состояния [14]. Открытым остается вопрос о том, как влияет механизм переноса массы на существование аккреционного диска, его размер, стабильность и структуру. Также сравнение аккреционных и протопланетных дисков покажет, возможно ли образование вторичных планет вокруг белого карлика в симбиотических звездах, как было предложено в работе [15].

До сих пор не ясна роль симбиотических звезд в понимании химической эволюции Галактики. На асимптотической ветви гигантов происходит синтез элементов s-процесса. Так как красные гиганты в двойных системах теряют вещество гораздо быстрее одиночных (особенно при заполнении своей полости Роша), это может приводить к уменьшению доли углерода в выбрасываемом в межзвездную среду веществе [16]. Также, возможно, симбиотические звезды являются прародителями бариевых звезд [17]. При термоядерных вспышках повторных новых образуются тяжелые элементы, поступающие в межзвездную среду. Сложность в оценке влияния симбиотических звезд на химическую эволюцию Галактики связана в том числе и с тем, что их число не известно — по разным оценкам количество симбиотических звезд составляет от 3000 до  $4 \cdot 10^5$ .

Для надежного моделирования эволюции симбиотических звезд и получения теоретических оценок количества таких систем не хватает знаний базовых параметров (прежде всего периодов обращений и масс компонентов) достаточного числа симбиотических звезд.

Среди всего множества явлений, наблюдающихся у симбиотических звезд, быстрая переменность блеска (или фликкер-эффект) относится к наименее изученным. Это связано как со сложностями наблюдательного характера, так и с тем, что фликкер-эффект наблюдается далеко не у всех симбиотических звезд. Надежно подтверждено наличие этого эффекта всего у примерно 20 систем. Причем у большинства из них он регистрируется не всегда.

Точная физическая причина фликкер-эффекта неизвестна. Существует несколько моделей, объясняющих его происхождение. Наиболее распространенной и подтвержденной наблюдениями является модель, предложенная в работе [18], которая связывает возникновение фликкер-эффекта с изменением темпа переноса массы в аккреционном диске. В стандартной модели аккреционного диска Шакуры-Сюняева [19; 20] параметр турбулентности  $\alpha$  обычно считается постоянным для всего диска. В работе [18] было предположено, что фликкер-эффект возникает из-за локальных колебаний  $\alpha$ . Изменения параметра турбулентности могут быть связаны с магнитными напряжениями, которые могут быть переменными в результате динамических процессов, или с вязкой неустойчивостью из-за движения частиц в диске по вытянутым орбитам [21]. На радиусах много больше внутреннего радиуса диска, где происходит основное выделение энергии, происходят процессы, приводящие к изменению  $\alpha$ , следовательно, темпа аккреции. Когда эти вариации, возникающие во внешних областях аккреционного диска и поэтому имеющие большое характерное время фликкер-эффекта, движутся через диск к его внутренней границе, поверх них накладывается переменность с все более коротким характерным временем при уменьшении радиуса и сокращении временных масштабов вязкости. Возникает наблюдаемый фликкер-эффект. Таким образом, в модели [18] флуктуации темпа аккреции возникают в широком диапазоне радиусов и, соответственно, в широком диапазоне характерных времен, затем они распространяются внутрь, модулируя рентгеновское (если центральный компактный объект является нейтронной звездой) или ультрафиолетовое или оптическое (если центральный объект является белым карликом) излучение, возникающее в центральных областях аккреционного диска.

Быстрая переменность блеска — важный инструмент исследования аккреционных дисков или горячих компонентов (для случая переменности по типу промежуточных поляров) в симбиотических звездах. Фликкер-эффект позволяет получить физические параметры аккреционных дисков, что важно для понимания эволюции систем и механизмов вспышек разных типов. Но для изучения фликкер-эффекта у симбиотических звезд существует несколько сложностей: очень малое число систем, демонстрирующих этот тип переменности, причем фликкер-эффект регистрируется не все время, иногда он пропадает, а также необходимость получения

высокоточных фотометрических данных (желательно в коротковолновом диапазоне спектра). Поэтому в настоящее время идет активное накопление наблюдательных данных и открытие новых систем. В том числе этому посвящена данная диссертация.

Фликкер-эффект имеет похожие свойства в различных объектах, например, таких как катаклизмические переменные [22], активные ядра галактик [23], рентгеновские двойные [24], молодые звезды [22]. Поэтому его изучение в симбиотических звездах может внести вклад в понимание физических механизмов ответственных за его возникновение.

## Цели диссертационной работы

**Целью** диссертационной работы является поиск новых симбиотических звезд с эффектом быстрой переменности, определение параметров как самого эффекта, так и компонентов систем, его демонстрирующих.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- Разработка программного обеспечения для автоматизации малых телескопов.
- Разработка методики учета красной утечки фильтров  $U$  и  $B$  при наблюдении симбиотических звезд.
- Поиск и исследование фликкер-эффекта у симбиотических звезд различных классов.
- Исследование кандидатов в симбиотические звезды, подтверждение их симбиотической природы и наличия или отсутствия эффекта быстрой переменности.

## Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются фликкер-эффект у симбиотических звезд и аккреционные диски в этих системах. Предметом исследования являются результаты фотометрических и спектральных наблюдений симбиотических звезд в ультрафиолетовом, видимом и инфракрасном диапазонах длин волн.

## Методология исследования

Для решения поставленных в работе задач были использованы как общенаучные методы — анализ, дедукция, индукция, так и специальные — фотометрические и спектральные наблюдения, анализ временных рядов методами Ломба-Скаргла и вейвлет-анализа. Для обработки и анализа данных использовались общепризнанные в научной среде библиотеки и программы (такие как Astropy, Pandas, PhotUtils, SciPy, NumPy,

Astrometry, ASTAR и др.), а также программы, написанные автором самостоятельно с использованием опробованных сообществом библиотек и процедур.

## Научная новизна

- Указанные результаты получены и опубликованы автором впервые.
- Разработана и опробована методика учета красной утечки фильтров  $U$  и  $B$  для редукации фотометрических наблюдений симбиотических звезд.
  - Получены амплитуды фликкер-эффекта симбиотической повторной новой Т СгВ в различных состояниях горячего компонента и аккреционного диска.
  - Для Т СгВ было получено, что быстрая переменность потока в линиях  $H\alpha$  и  $H\beta$  во время наблюдений в 2020 г. и в 2023 г. не превышала 15%, тогда как в линиях  $He I$  и  $He II$  амплитуда переменности была значительно выше и достигала 60%.
  - Обнаружена быстрая спектральная и фотометрическая переменность у открытой нами симбиотической звезды V520 And. Показано, что амплитуды быстрой переменности в линиях  $H\alpha$  и  $H\beta$  составляют  $< 15\%$ , а в линиях  $He I$  до 60%.
  - Обнаружены временные задержки быстрой переменности между потоками в различных линиях в спектре Т СгВ, которые связаны с различным расстоянием от источника быстрой переменности до области формирования эмиссионных линий и различной оптической глубиной для излучения в линиях. Было показано, что фликкер-эффект в эмиссионных линиях связан с быстрой переменностью, регистрируемой в полосе  $B$ .
  - Открыты новые симбиотические звезды CSS1102, V520 And и 2MASS J21012803+4555377, открыт фликкер-эффект у CSS1102 и V520 And.

## Теоретическая и практическая значимость

В нашей стране (и в целом в мире) до сих пор существует достаточно большой парк старых, не автоматизированных так называемых «малых телескопов» — инструментов с диаметрами зеркал 0.4–0.8 м (например, Цейсс-600, АЗТ разных типов). Наблюдения, проводимые с ними в ручном режиме, имеют низкую эффективность с точки зрения расходования наблюдательного времени и могут иметь невысокую фотометрическую точность из-за отсутствия автогидирования. Исправление этой ситуации путем автоматизации телескопов и процесса наблюдений позволяет повысить эффективность и, главное, точность. Особенно это

важно в применении к теме исследования таких малоамплитудных явлений, как, например, фликкер-эффект и транзиты экзопланет.

Разработанная методика учета красной утечки позволит корректировать этот эффект не только для наблюдений симбиотических звезд, но и для любых объектов с большим показателем цвета и возможным наличием избытка коротковолнового излучения, что важно, например, при наблюдении звезд на поздних стадиях эволюции, молодых звезд с пылевой оболочкой.

Среди всего множества явлений, наблюдающихся у симбиотических звезд, быстрая переменность блеска (или фликкер-эффект) относится, по нашему мнению, к наименее изученным. Это связано как со сложностями наблюдательного характера, так и с тем, что фликкер-эффект наблюдается далеко не у всех симбиотических звезд. Надежно подтверждено наличие этого эффекта всего у примерно 20 систем. Причем у большинства из них он регистрируется не всегда.

Фликкер-эффект — это важный инструмент исследования аккреционных дисков или горячих компонентов (для случая переменности по типу промежуточных полярнов). Увеличение числа симбиотических систем, для которых известны параметры быстрой переменности, способствует развитию теоретических представлений о роли аккреционных дисков в развитии вспышечной активности и общей эволюции этих систем.

Открытие новых симбиотических звезд позволяет добавить объекты в немногочисленный класс симбиотических звезд и сократить различие между наблюдаемым количеством этих систем и теоретическими оценками. Новые подтвержденные симбиотические звезды позволяют улучшить алгоритмы классификации симбиотических звезд, повысить точность их выделения из объектов других классов, способствуют поиску т.н. «спящих» симбиотических звезд.

### **Положения, выносимые на защиту:**

1. Разработанная методика коррекции «красной утечки» фильтров  $U$  и  $B$  позволяет правильно оценивать амплитуду быстрой переменности.
2. Амплитуда быстрой переменности Т CrB в сверхактивном состоянии в 2016-2023 годах составляла 0.08 – 0.26 mag. В июне 2023 года в начале минимума, предшествовавшего возможной следующей вспышке новой, амплитуда была равна 0.07 mag.
3. Т CrB и V520 And обладают быстрой переменностью в линиях бальмеровской серии водорода и в линии He I  $\lambda$ 5876, а также дополнительно Т CrB обладает быстрой переменностью в линии He II  $\lambda$ 4686. Амплитуда переменности в бальмеровских линиях не превышает 15%, тогда как в линиях He I и He II она достигает 30–60%.

4. В сверхактивном состоянии у Т СгВ поток в линии  $H\beta$  опережает вариации в  $H\alpha$  на  $228 \pm 28$  секунд, в линии  $He\ I\ \lambda 5876$  — на  $500 \pm 70$  секунд, а в линии  $He\ II\ \lambda 4686$  — на  $595 \pm 28$  секунд. Фликкер-эффект в полосе  $B$  обусловлен переменностью континуума аккреционного диска и совпадает по фазе с изменениями потока, происходящими в  $H\beta$ .
5. CSS1102, V520 And и 2MASS J21012803+4555377 являются симбиотическими звездами. CSS1102 и V520 And обладают фликкер-эффектом.

## Личный вклад автора

Результаты диссертационной работы опубликованы в 7 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

В статьях 1 (личный вклад 75%), 2 (личный вклад 75%) автор является первым автором и выполнил большую часть работы. В статье 3 (личный вклад 50%) автор проводил обработку и анализ УФ и спектральных наблюдений. В статье 4 (личный вклад 40%) автор разработал методику учета влияния красной утечки на кривые блеска симбиотических звезд. В статье 5 (личный вклад 50%) автор проводил обработку наблюдений, моделирование спектров и построение эволюционных треков. В статьях 6 (личный вклад 20%) и 7 (личный вклад 20%) автор проводил необходимые для выполнения работы наблюдения и их обработку.

## Степень достоверности результатов

Диссертация опирается на методы обработки и интерпретации данных, описанные в различных учебниках, книгах и рецензируемых статьях, посвященных обработке и анализу фотометрических и спектроскопических наблюдений. При обработке применялись стандартные процедуры и методы для этой области практической астрофизики, признанные научным сообществом. Полученные результаты и выводы сравнивались (там, где это возможно) с результатами других авторов, опубликованными в рецензируемых изданиях. Основные результаты представляемой работы прошли апробацию и были опубликованы в ведущих рецензируемых научных журналах.

## Апробация работы

1. Всероссийская астрономическая конференция — 2021 (ВАК — 2021) «Астрономия в эпоху многоканальных исследований», устный доклад, «Подтверждение симбиотической природы звезды

- CSS1102 на основании спектральных и фотометрических наблюдений, проведенных в КГО ГАИШ», ГАИШ МГУ, 23.08.2021
2. Вторая Всероссийская с международным участием научная конференция студентов и молодых ученых «Астрономия и исследование космического пространства», устный доклад, «Оптический фликкер-эффект у симбиотических звезд CSS 1102 и DQ Ser», онлайн, 01.02.2022
  3. Современная звездная астрономия — 2022, устный доклад, «Исследование быстрой переменности Т Северной Короны», КГО ГАИШ МГУ, 08.11.2022
  4. Всероссийская конференция с международным участием «Физика звезд: теория и наблюдения», устный доклад, «Исследования Т Северной Короны во время состояния высокой активности», ГАИШ МГУ, 28.06.2023
  5. Всероссийская астрономическая конференция ВАК — 2024 «Современная астрономия: от ранней Вселенной до экзопланет и черных дыр», устный доклад, «Исследование повторной новой Т Северной Короны на разных этапах перед вспышкой», САО РАН, 27.08.2024
  6. XXII Конференция молодых ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования», устный доклад, «V520 And — новая симбиотическая звезда с фликкер-эффектом», ИКИ РАН, 21.04.2025
  7. «Современная астрономия: наука и образование (к 270-летию Московского Университета)», устный доклад, «Четыре новые симбиотические звезды», ГАИШ МГУ, 24.06.2025
  8. Всероссийская конференция с международным участием «Физика звёзд в эпоху многоволновых наблюдений», устный доклад, «Поиск новых симбиотических звезд», СПбГУ, 25.09.2025

## Объем и структура работы

Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Полный объем диссертации составляет 166 страниц, включая 61 рисунок и 29 таблиц. Список литературы содержит 198 наименований.

## Основное содержание работы

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы. Описаны цели и задачи исследования, дается характеристика научной новизны работы, а также научной и практической значимости полученных результатов. Формулируются основные положения, выносимые на защиту. Указан личный вклад автора, приведен список опубликованных статей, а также конференций, на которых были представлены результаты,

легшие в основу диссертации. Изложена структура и новизна работы, а также краткое содержание диссертации.

В **Главе 1** описаны алгоритмы автоматизации 60-см телескопов ГАИШ МГУ. Для облегчения работы оператора программы управления сделаны похожими, несмотря на различия между телескопами. Разработано 3 режима наблюдений: 1) с оператором, находящимся в башне, 2) с удаленным оператором, 3) автоматические наблюдения. В программе управления телескопом реализованы функции наведения телескопа на объект по показаниям энкодеров в экваториальных и альт-азимутальных координатах, точная (лучше 10 arcsec) постановка объекта в центр поля зрения, с использованием астрометрии по полученному кадру. Реализована функция для автоматической фокусировки.

Обычные наблюдения после автоматизации выглядят следующим образом: в начале наблюдений купол и зеркало телескопа открываются, выбирается объект, телескоп наводится по энкодерам, затем доводится, используя астрометрию, начинается съемка объекта, затем происходит наведение на следующий объект и т.д. Если портится погода или высота Солнца над горизонтом становится больше  $-12^\circ$ , наблюдения останавливаются, крышки зеркала закрываются, телескоп паркуется. Купол закрывается и паркуется для зарядки аккумуляторов. Автоматические наблюдения отличаются от наблюдений с оператором тем, что программа следит за погодой по данным метеостанции и объекты выбираются программой управления из заранее заданного сценария, содержащего все объекты из заявок на наблюдения.

Также в главе 1 подробно рассмотрены алгоритмы, реализующие субпиксельные коррекции положения трубы телескопа во время мониторингов. Только при удержании звезды на одних и тех же пикселях в течение всего мониторинга возможно достичь предельной точности фотометрии 0.001 mag. Показано, что с помощью пакета DONUTS, сравнивая опорный кадр с только что полученным, можно достичь субпиксельной точности ведения. Разработаны алгоритмы для фильтрации горячих пикселей, мешающих работе DONUTS, и для применения этого пакета к бедным звездным полям.

В этой главе описана методика коррекции красной утечки фильтров  $U$  и  $B$  при обработке наблюдений симбиотических звезд, полученных на 0.6-м телескопе RC600 Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ. Показано, что в полосе  $U$  вклад красной утечки становится заметным при показателе цвета объекта  $V - Rc > 0.4$ , в полосе  $B$  — при  $V - Rc > 1.0$ . Величина красной утечки для заданных кривых пропускания фильтров зависит от класса светимости объекта, межзвездного покраснения, воздушной массы. Показано, что для симбиотических звезд, у которых в голубой области нет вклада горячего компонента или аккреционного диска, можно использовать зависимости величины красной утечки от показателя цвета,

полученные для одиночных звезд. Для симбиотических звезд, у которых в голубой области есть отличия от одиночных звезд, разработана методика учета красной утечки: вычисляется число фотонов красной утечки, звездная величина объекта переводится в поток, из которого вычитаются фотоны красной утечки, затем исправленные потоки переводятся обратно в звездные величины. Показано, что коррекция этого эффекта позволяет правильно оценивать амплитуды фликкер-эффекта симбиотических звезд.

В **Главе 2** описываются фотометрические наблюдения, проведенные с целью поиска и исследования фликкер-эффекта у симбиотических звезд различных классов. Показано, что применение периодограммы Ломба-Скаргла и вейвлет-анализа к кривым блеска симбиотических звезд позволяет подтвердить или опровергнуть наличие быстрой переменности у этих систем. В главе 2 описываются наблюдения 42 объектов на предмет поиска эффекта быстрой переменности. Из этого числа у 11 классических, 4 новых, 1 повторной новой, 10 малоизученных симбиотических звезд и 12 кандидатов фликкер-эффект в наших фотометрических наблюдениях обнаружен не был. У 4 симбиотических звезд был зарегистрирован фликкер-эффект. Описаны выполненные фотометрические наблюдения повторной новой Т СтВ в разных состояниях перед возможной следующей вспышкой повторной новой. Показано, что амплитуда фликкер-эффекта не изменилась при переходе системы из спокойного состояния в сверхактивное. Она упала более чем в 3 раза в минимуме блеска системы, затем при возвращении блеска системы к значениям как в сверхактивном состоянии, амплитуда фликкер-эффекта также увеличилась до наблюдаемых в этом состоянии значений. Показана зависимость наличия быстрой переменности у СН Суг от выбросов пыли в системе, после появления пыли в системе фликкер-эффект не регистрируется. Также в главе описаны наблюдения фликкер-эффекта у недавно открытой симбиотической звезды SU Lup. Он отсутствовал в 2021 – 2024 гг. В 2025 г. быстрая переменность была зарегистрирована с амплитудой 0.38 mag в полосе  $U$ . Впервые фликкер-эффект был зарегистрирован у малоизученной симбиотической звезды DQ Ser в 2021 г.

В **Главе 3** рассмотрены спектральные мониторинги симбиотических звезд. Описана методика их обработки. Показано, что у Т СтВ быстрая переменность регистрируется в линиях  $H\alpha$ ,  $H\beta$ , He I ( $\lambda$  5876) и He II ( $\lambda$  4686). Была определена амплитуда переменности: в линиях бальмеровской серии водорода она составляет не более 15%, в линиях гелия амплитуда значительно больше и составляет до 60%. В главе показано, что переменность в линиях связана с переменностью в континууме, которая регистрируется при фотометрических наблюдениях. Также были определены задержки между фликкер-эффектом в разных линиях. В главе описан спектральный мониторинг Y Gem, в течение которого была зарегистрирована быстрая переменность в линиях  $H\alpha$ ,  $H\beta$  и He I ( $\lambda$  5876). Также как и в случае Т СтВ

амплитуда фликкер-эффекта в линии He I значительно превосходит амплитуду переменности в линиях бальмеровской серии водорода, присутствуют временные задержки между переменностью в различных линиях. У симбиотических звезд LAMOST J122804.90–014825.7 и Миры фликкер-эффект зарегистрирован не был.

В **Главе 4** описано открытие четырех новых симбиотических звезд: CSS 1102, V520 And, 2MASS J21012803+4555377 и AS 357. Показано, что в их спектрах присутствуют как линии поглощения, характерные для красных гигантов поздних спектральных классов, так и линии излучения ионов с высокими потенциалами ионизации, характерные для планетарных туманностей. По ИК-критерию классификации симбиотических звезд CSS 1102, V520 And и AS 357 относятся к S-типу симбиотических звезд, 2MASS J21012803+4555377 имеет пылевую оболочку и относится к D-типу. Также у CSS 1102, V520 And был впервые открыт фликкер-эффект, определена амплитуда переменности.

При аппроксимации спектра моделью были получены параметры систем. У CSS 1102 холодный компонент является S-звездой спектрального класса S4.5/2, туманность имеет электронную температуру  $T_e = 10000$  К, горячий компонент имеет эффективную температуру  $40000 < T_{eff} < 55000$  К, в системе присутствует аккреционный диск с  $L < 450 L_\odot$ . V520 And состоит из красного гиганта спектрального класса M6, туманности с  $T_e = 10000$  К, горячего компонента с  $T_{eff} \sim 50000$  К и аккреционного диска с  $L < 10 L_\odot$ . Состав системы 2MASS J21012803+4555377 следующий: красный гигант спектрального класса M5, туманность с  $T_e = 15000$  К и горячий компонент с  $T_{eff} > 100000$  К. У AS 357 холодный компонент — красный гигант спектрального класса M3, туманность с  $T_e = 10000$  К, горячий компонент с  $T_{eff} \sim 55000$  К, в системе присутствует дополнительный компонент, спектральное распределение которого можно описать спектром звезды O8 III, который, возможно, является аккреционным диском или псевдофотосферой горячего компонента.

У V520 And наблюдается двугорбый профиль линии H $\alpha$ , который описывается линией излучения с профилем Фойгта и линией поглощения с профилем Гаусса. Вероятно, такая форма профиля H $\alpha$  говорит о поглощении излучения веществом ветра холодного компонента или газовых потоков в системе. Из спектрального мониторинга V520 And получены амплитуды фликкер-эффекта в линиях: в линиях H $\alpha$  и H $\beta$  амплитуда составила 8 – 10%, в линии He I  $\lambda$  5876 —  $\sim 30$  %. Временных задержек зарегистрировано не было.

В **Заключении** приведены основные выводы и результаты работы. Отмечено, что программа управления малыми телескопами позволяет достичь на них предельной фотометрической точности для наземного телескопа с диаметром зеркала 60 см — 0.001 mag. Также в Заключении подчеркивается важность учета эффекта красной утечки при наблюдениях

фликкер-эффекта у симбиотических звезд. Обобщено, что из наблюдаемых нами 34 симбиотических звезд и 12 кандидатов только у 6 систем была зарегистрирована быстрая переменность блеска: Т CrB, CH Cyg, SU Lyn и впервые у CSS 1102, DQ Ser и V520 And. Отмечено, что в работе была подтверждена симбиотическая природа 4 объектов: CSS 1102, V520 And, 2MASS J21012803+4555377 и AS 357. В Заключении приведены основные параметры фликкер-эффекта, полученные при спектральных мониторингах для Т CrB и Y Gem.

## Публикации по теме диссертации

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук:

1. **Масленникова, Н.А.**, Татарникова, А.А., Татарников, А.М., Иконникова, Н.П., Додин, А.В. Симбиотическая природа циркониевой звезды CSS1102 // Письма в *Астрономический журнал*. — 2022. — Т. 48, № 1. — С. 43-51. EDN: RQMHP1. Импакт-фактор 0.193 (РИНЦ). Личный вклад 75%. Объем 1.08 печатных листов.  
**Maslennikova, N.A.**, Tatarnikova, A.A., Tatarnikov, A.M., Ikonnikova, N.P., Dodin, A.V. Symbiotic nature of the zirconium star CSS 1102 // *Astronomy Letters*. — 2022. — Vol. 48, № 1. — P. 38-46. EDN: OBLIMZ. Импакт-фактор 0.20 (JST). Личный вклад 75%. Объем 1.08 печатных листов.
2. **Масленникова, Н.А.**, Татарников, А.М., Татарникова, А.А. Исследование спектральной быстрой переменности Т Северной Короны // *Астрофизический бюллетень*. — 2023. — Т. 78, № 3. — С. 338-346. EDN: YDDNWR. Импакт-фактор 0.484 (РИНЦ). Личный вклад 75%. Объем 0.96 печатных листов.  
**Maslennikova, N.A.**, Tatarnikov, A.M., Tatarnikova, A.A. Rapid spectral variability of T Corona Borealis // *Astrophysical Bulletin*. — 2023. — Vol. 78, № 3. — P. 325-332. EDN: SOJLPW. Импакт-фактор 0.31 (JCI). Личный вклад 75%. Объем 0.96 печатных листов.
3. **Масленникова, Н.А.**, Татарников, А.М., Татарникова, А.А., Додин, А.В., Шенаврин, В.И., Бурлак, М.А., Желтоухов, С.Г., Страхов, И.А. Повторная симбиотическая новая Т Северной Короны перед вспышкой // Письма в *Астрономический журнал*. — 2023. — Т. 49, № 9. — С. 589-604. EDN: OHGYIV. Импакт-фактор 0.193 (РИНЦ). Личный вклад 50%. Объем 1.92 печатных листов.  
**Maslennikova, N.A.**, Tatarnikov, A.M., Tatarnikova, A.A., Dodin, A.V., Shenavrin, V.I., Burlak, M.A., Zheltoukhov, S.G., Strakhov, I.A. Recurrent symbiotic nova T Coronae Borealis before outburst // *Astronomy Letters*. — 2023. — Vol. 49, № 9. — P. 501-515. EDN:

- NHZITU. Импакт-фактор 0.20 (JCI). Личный вклад 50%. Объем 1.92 печатных листов.
4. Никишев, Г.Э., **Масленникова, Н.А.**, Татарников, А.М., Парусов, К.Ю., Белинский, А.А. О влиянии красной утечки светочувствительных фильтров на оценки блеска звезд поздних спектральных классов на примере наблюдений быстрой переменности симбиотических звезд // Вестник Московского университета. Серия 3: Физика, астрономия. — 2023. — Т. 78, № 6. — 2360801. EDN: LENQHC. Импакт-фактор 0.169 (РИНЦ). Личный вклад 40%. Объем 0.96 печатных листов.  
Nikishev, G.E., **Maslennikova, N.A.**, Tatarnikov, A.M., Parusov, K.Yu., Belinski, A.A. On the influence of “red leak” of light filters on the brightness estimates of stars of late spectral types illustrated by the observations of rapid variability of symbiotic stars // Moscow University Physics Bulletin. — 2023. — Vol. 78, № 6. — P. 854-862. EDN: QRSNTU. Импакт-фактор 0.11 (JCI). Личный вклад 40%. Объем 1.08 печатных листов
  5. **Масленникова, Н.А.**, Татарников, А.М., Татарникова, А.А., Додин, А.В., Шатский, Н.И. Исследование девяти кандидатов в симбиотические звезды. Открытие симбиотической природы V520 And // Астрофизический бюллетень. — 2025. — Т. 80, № 1. — С. 60-71. EDN: ARTCQJ. Импакт-фактор 0.484 (РИНЦ). Личный вклад 50%. Объем 1.32 печатных листов.  
**Maslennikova, N.A.**, Tatarnikov, A.M., Tatarnikova, A.A., Dodin, A.V., Shatsky, N.I. Study of Nine Symbiotic Star Candidates. Discovery of the Symbiotic Nature of V520 And // Astrophysical Bulletin. — 2025. — Vol. 80, № 1. — P. 58-68. EDN: HLZSXV. Импакт-фактор 0.31 (JCI). Личный вклад 50%. Объем 1.32 печатных листов.
  6. Tatarnikova, A.A., Tatarnikov, A.M., **Maslennikova, N.A.**, Dodin, A.V., Burlak, M.A., Ikonnikova, N.P., Belinski, A.A., Nikishev, G.E. A new activity cycle of V1413 Aql // Galaxies. — 2025. — Vol. 13, № 4. — 86. EDN: PKQOLR. Импакт-фактор 0.68 (JCI). Личный вклад 20%. Объем 1.56 печатных листов.
  7. Татарников, А.М., Татарникова, А.А., **Масленникова, Н.А.**, Додин, А.В., Бурлак, М.А., Татарников, А.А. Открытие новой симбиотической звезды 2MASS J21012803+4555377 // Астрофизический бюллетень. — 2025. — Т. 80, № 4. — С. 642-647. EDN: OLNTRQ. Импакт-фактор 0.484 (РИНЦ). Личный вклад 20%. Объем 0.72 печатных листов.  
Tatarnikov, A.M., Tatarnikova, A.A., **Maslennikova, N.A.**, Dodin, A.V., Burlak, M.A., Tatarnikov, A.A. Evidence for the symbiotic nature of 2MASS J21012803+4555377 // Astrophysical Bulletin. —

## Список литературы

1. *Cannon, A. J.* The spectrum of Nova Aquilae [Текст] / A. J. Cannon, H. Shapley // *Annals of Harvard College Observatory.* — 1923. — Т. 81, № 3. — С. 179—200.
2. *Akras, S.* Where are the missing symbiotic stars? Uncovering hidden symbiotic stars in public catalogues [Текст] / S. Akras // *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* — 2023. — Т. 519, № 4. — С. 6044—6054. — arXiv: [2301.08201](https://arxiv.org/abs/2301.08201) [[astro-ph.SR](#)].
3. On Symbiotic Stars and Type IA Supernovae [Текст] / S. J. Kenyon [и др.] // *Astrophys. J.* — 1993. — Т. 407. — С. L81.
4. *Lu, G.* Population synthesis for symbiotic stars with white dwarf accretors [Текст] / G. Lu, L. Yungelson, Z. Han // *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* — 2006. — Т. 372, № 3. — С. 1389—1406. — arXiv: [astro-ph/0608449](https://arxiv.org/abs/astro-ph/0608449) [[astro-ph](#)].
5. *Magrini, L.* A Search for Symbiotic Stars in the Local Group [Текст] / L. Magrini, R. L. M. Corradi, U. Munari // *Symbiotic Stars Probing Stellar Evolution.* Т. 303 / под ред. R. L. M. Corradi, J. Mikolajewska, T. J. Mahoney. — 2003. — С. 539. — (Astronomical Society of the Pacific Conference Series).
6. *Боярчук, А. А.* О двойственности Z And [Текст] / А. А. Боярчук // *Астрономический журнал.* — 1967. — Т. 44. — С. 1016.
7. *Berman, L.* The Spectrum and Temperature of T Coronae (Nova 1866) [Текст] / L. Berman // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* — 1932. — Т. 44, № 261. — С. 318.
8. *Chakrabarty, D.* The Symbiotic Neutron Star Binary GX 1+4/V2116 Ophiuchi [Текст] / D. Chakrabarty, P. Roche // *Astrophys. J.* — 1997. — Т. 489, № 1. — С. 254—271. — arXiv: [astro-ph/9706048](https://arxiv.org/abs/astro-ph/9706048) [[astro-ph](#)].
9. *Kuranov, A. G.* Symbiotic X-ray binaries systems in the galaxy [Текст] / A. G. Kuranov, K. A. Postnov // *Astronomy Letters.* — 2015. — Т. 41, № 3/4. — С. 114—127.
10. *Di Stefano, R.* The Progenitors of Type Ia Supernovae. II. Are they Double-degenerate Binaries? The Symbiotic Channel [Текст] / R. Di Stefano // *Astrophys. J.* — 2010. — Т. 719, № 1. — С. 474—482. — arXiv: [1004.1193](https://arxiv.org/abs/1004.1193) [[astro-ph.CO](#)].

11. *Liu, Z.-W.* Type Ia Supernova Explosions in Binary Systems: A Review [Текст] / Z.-W. Liu, F. K. Ropke, Z. Han // Research in Astronomy and Astrophysics. — 2023. — Т. 23, № 8. — С. 082001. — arXiv: [2305.13305](#) [[astro-ph.HE](#)].
12. *King, A. R.* RS Ophiuchi: thermonuclear explosion or disc instability? [Текст] / A. R. King, J. E. Pringle // Monthly Notices Royal Astron. Soc. — 2009. — Т. 397, № 1. — С. L51–L54. — arXiv: [0905.0637](#) [[astro-ph.EP](#)].
13. *Selwelli, P. L.* The Nature of the Recurrent Nova T Coronae Borealis: Ultraviolet Evidence for a White Dwarf Accretor [Текст] / P. L. Selwelli, A. Cassatella, R. Gilmozzi // Astrophys. J. — 1992. — Т. 393. — С. 289.
14. A PIONIER View on Mass-transferring Red Giants [Текст] / H. M. J. Boffin [и др.] // The Messenger. — 2014. — Т. 156. — С. 35–37. — arXiv: [1405.4648](#) [[astro-ph.SR](#)].
15. *Perets, H. B.* Second generation planets [Текст] / H. B. Perets // arXiv e-prints. — 2010. — arXiv:1001.0581. — arXiv: [1001.0581](#) [[astro-ph.EP](#)].
16. How Binary Stars affect Galactic Chemical Evolution [Текст] / C. A. Tout [и др.] // Asymptotic Giant Branch Stars. Т. 191 / под ред. Т. Le Bertre, A. Lebre, C. Waelkens. — 1999. — С. 447. — (IAU Symposium).
17. *Jorissen, A.* The Link between Symbiotic Stars and Chemically Peculiar Red Giants (invited review talks) [Текст] / A. Jorissen // Symbiotic Stars Probing Stellar Evolution. Т. 303 / под ред. R. L. M. Corradi, J. Mikolajewska, T. J. Mahoney. — 2003. — С. 25. — (Astronomical Society of the Pacific Conference Series).
18. *Lyubarskii, Y. E.* Flicker noise in accretion discs [Текст] / Y. E. Lyubarskii // Monthly Notices Royal Astron. Soc. — 1997. — Т. 292, № 3. — С. 679–685.
19. *Шакура, Н. И.* Дискосая модель аккреции газа на релятивистскую звезду в тесной двойной системе [Текст] / Н. И. Шакура // Астрономический журнал. — 1972. — Т. 49. — С. 921.
20. *Shakura, N. I.* Black holes in binary systems. Observational appearance. [Текст] / N. I. Shakura, R. A. Sunyaev // Astron. and Astrophys. — 1973. — Т. 24. — С. 337–355.
21. *Lyubarskij, Y. E.* Eccentric Accretion Discs [Текст] / Y. E. Lyubarskij, K. A. Postnov, M. E. Prokhorov // Monthly Notices Royal Astron. Soc. — 1994. — Т. 266. — С. 583.

22. Accretion-induced variability links young stellar objects, white dwarfs, and black holes [Текст] / S. Scaringi [и др.] // Science Advances. — 2015. — Т. 1, № 9. — e1500686—e1500686. — arXiv: [1510.02471](#) [[astro-ph.HE](#)].
23. *Papadakis, I. E.* Frequency-dependent Time Lags in the X-Ray Emission of the Seyfert Galaxy NGC 7469 [Текст] / I. E. Papadakis, K. Nandra, D. Kazanas // Astrophys. J. — 2001. — Т. 554, № 2. — С. L133—L137. — arXiv: [astro-ph/0106175](#) [[astro-ph](#)].
24. *Nowak, M. A.* Low-Luminosity States of the Black Hole Candidate GX 339-4. II. Timing Analysis [Текст] / M. A. Nowak, J. Wilms, J. B. Dove // Astrophys. J. — 1999. — Т. 517, № 1. — С. 355—366. — arXiv: [astro-ph/9812180](#) [[astro-ph](#)].