

## ОТЗЫВ официального оппонента

о диссертации Масленниковой Наталии Андреевны на тему «Быстрая фотометрическая и спектральная переменность симбиотических звезд», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия

**Актуальность работы.** Диссертационная работа Н. А. Масленниковой посвящена исследованию быстрой фотометрической и спектральной переменности симбиотических звезд - так называемому фликкер-эффекту. Эти объекты представляют собой взаимодействующие двойные системы, находящиеся на поздних стадиях эволюции и состоящие из холодного гиганта позднего спектрального класса и горячего компактного компаньона, в роли которого чаще всего выступает белый карлик, а в ряде случаев - нейтронная звезда. Вся система погружена в околос звездную туманность, сформированную веществом ветра холодного гиганта, которое ионизируется жестким излучением горячего компонента. Поэтому в спектрах симбиотических звезд присутствуют одновременно как полосы поглощения, характерные для холодных звезд, так и эмиссионные линии ионов с высокими потенциалами ионизации. Такое соседство двух крайне различных компонентов в одной системе позволяет изучать процессы взаимодействия звездных ветров, обмена массой через аккрецию и влияния жесткого излучения на разреженную газовую среду. В таких системах фликкер-эффект позволяет напрямую изучать аккреционные диски и по сути является единственным методом их изучения, поскольку из-за излучения околос звездной туманности эмиссионные линии диска не видны. Интерес к симбиотическим звездам связан также с тем, что они рассматриваются как наиболее вероятные кандидаты в прародители сверхновых типа Ia, в том числе и по сценарию сливающихся белых карликов, при котором возникает гравитационно-волновой сигнал. Роль симбиотических звезд в химической эволюции Галактики также очень важна, ведь в атмосферах гигантов протекают

процессы ядерного синтеза, а вспышки повторных новых приводят к обогащению межзвездной среды тяжелыми элементами. Интересно, что общее число таких объектов до сих пор неясно: существует огромное расхождение между теоретическими оценками (от 3 000 до 400 000 систем в Галактике) и количеством реально подтвержденных объектов (их около 300). Поиск новых систем и изучение их «спящих» состояний, когда эмиссионный спектр практически отсутствует, очень важно для понимания реальной численности этого класса объектов. Диссертация Н. А. Масленниковой направлена на поиск новых симбиотических систем и изучение физики аккреции через наблюдения фликкер-эффекта. Результаты исследований, представленные в диссертации, способствуют уточнению параметров симбиотических звезд и развитию общих моделей эволюции тесных двойных звезд, что свидетельствует о несомненной актуальности диссертационной работы.

**Научная новизна** диссертации подтверждается следующими результатами. Во-первых, автором предложена оригинальная методика учета паразитного сигнала в фильтрах  $U$  и  $B$  (так называемой красной утечки), что позволило существенно уточнить измеряемые амплитуды фликкер-эффекта (например, для СН Cyg уточнение составило 10-30% для разных эпох). Во-вторых, впервые количественно определены задержки между изменениями потока в континууме и различных эмиссионных линиях в системе Т CrB, а также у симбиотической звезды V520 And впервые обнаружена быстрая спектральная и фотометрическая переменность и измерена ее амплитуда в линиях. В-третьих, было открыто несколько новых симбиотических систем: CSS1102, V520 And, 2MASS J21012803+4555377, AS 357, и впервые обнаружен фликкер-эффект у звезд CSS1102, V520 And и DQ Ser.

**Практическая ценность** работы заключается в разработке алгоритмов для автоматизации 60-см телескопов ГАИШ МГУ (Цейсс-600 и RC600), что

позволило достичь субпиксельной точности ведения источников и предельной фотометрической точности в 0.001 mag. Разработанное автором диссертации программное обеспечение и методика коррекции красной утечки могут быть использованы для исследования других переменных звезд и транзитов экзопланет, в том числе для поиска слабой переменности на фоне шума.

**Достоверность** представленных результатов подтверждается использованием хорошо известных стандартных методов анализа фотометрических и спектроскопических наблюдений, которые широко используются научным сообществом, таких как периодограмма Ломба-Скаргла, вейвлет-анализ, вероятность ложной тревоги (FAP), моделирование спектрального распределения энергии (SED), анализ эквивалентных ширин и потоков в линиях, моделирование профилей линий функциями Гаусса и Фойгта, метод кросс-корреляции (ICCF). Для реализации указанных методов автор использовала как самостоятельно написанные программы на языке Python, так и стандартные библиотеки и пакеты: Astropy, SciPy, NumPy, Pandas, PhotUtils, IRAF, DONUTS (для субпиксельного автогидирования) и MESA (для построения эволюционных треков звезд).

Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения. В первой главе описаны алгоритмы автоматизации телескопов и методика борьбы с красной утечкой. Результаты этой главы крайне важны, так как закладывают основу для дальнейшего анализа физики объектов и обуславливают достоверность полученных результатов. В результате применения разработанных автором решений по автоматизации телескопов была достигнута субпиксельная точность ведения источников, и это позволило выйти на точность определения фотометрического потока 0.001 mag, что критично для исследования малоамплитудного фликкер-эффекта. Во второй главе представлены результаты поиска фотометрического фликкер-эффекта у 42

объектов. Эффект был зарегистрирован у 6 систем, включая повторную новую T CrB в различных состояниях активности. Показана зависимость наличия быстрой переменности у CN Cyg от выбросов пыли в системе – после появления пыли фликкер-эффект не наблюдался. Третья глава посвящена спектральному фликкер-эффекту и методике обработки спектральных мониторингов. Установлено, что в системе T CrB изменения в линии  $H\beta$  происходят синхронно с полосой  $B$ , тогда как другие линии ( $H\alpha$ , He I, He II) демонстрируют значительные задержки (до 595 с). В четвертой главе подробно описано открытие новых симбиотических звезд (CSS 1102, V520 And, 2MASS J21012803+4555377 и AS 357) и моделирование их физических параметров. Для звезды 2MASS J21012803+4555377 ее симбиотическая природа подтверждена наличием линии рамановского рассеяния O VI  $\lambda 6825$ , которая наблюдается только у симбиотических звезд. В заключении суммируются основные результаты работы.

Несомненным достоинством работы является обширный наблюдательный материал, полученный в результате многолетних мониторингов (2010-2025 гг.), проведенных на различных телескопах (Цейсс-600, RC600, 2.5-м телескоп КГО). Еще одно достоинство заключается в том, что работа сочетает в себе практически все аспекты работы астронома-наблюдателя: от подготовки и проведения наблюдений, включая техническую поддержку работы телескопов и первичную обработку данных, до собственно физического анализа результатов наблюдений и теоретического моделирования спектров источников. По моему мнению, автор диссертации Н. А. Масленникова освоила все этапы этой работы, а не только какой-то один, что бывает нечасто, и это говорит о глубоком понимании автором процесса получения новых результатов в астрофизике на примере изучения симбиотических звезд. Также хочу отметить, что в работе детально проанализированы как системы с выраженной переменностью (T CrB, CN Cyg, SU Lyn и др.), так и объекты, где фликкер-эффект не был обнаружен

(V1413 Aql, PU Vul, V1329 Cyg и др.), что позволило автору сделать важные выводы о влиянии геометрии системы и темпа аккреции на наблюдаемые проявления. Также к достоинствам работы можно отнести использование современного математического аппарата (периодограммы Ломба-Скаргла, вейвлет-анализ) и разработку критериев вероятности ложной тревоги (FAP), что существенно повысило надежность выводов.

У меня есть несколько замечаний к диссертационной работе:

1. В работе не хватает единой сводной таблицы, содержащей краткое описание всех 42 наблюдаемых источников. Информация об объектах (точнее параметрах их наблюдений) распределена по нескольким таблицам во второй главе, сгруппированным по типам звезд и результатам поиска фликкер-эффекта. Было бы очень полезно иметь итоговую таблицу, где были бы суммированы исходные данные по всем источникам (координаты, звездные величины, тип звезды и т.д.) и краткий результат (есть или отсутствует фликкер-эффект, его амплитуда, впервые ли он открыт). Было сложно ориентироваться, так как информация по звездам распределена по тексту в разных местах.

2. Полезно было бы привести в приложениях список всех аббревиатур, специальных терминов (например, «перекладка» на стр. 22) и сокращений, с расшифровкой. Иногда объяснение аббревиатур дается после их первого появления в тексте (например, ТДС на стр. 33).

3. Есть несоответствие между числом открытых в данной работе симбиотических звезд, указанным на стр. 9 и на стр. 11 в пункте 5 положений, выносимых на защиту (перечислено три звезды CSS1102, V520 And и 2MASS J21012803+4555377) и их числом в Главе 4 (рассматриваются четыре звезды CSS

1102, V520 And, 2MASS J21012803+4555377 и AS 357). Соответственно, везде по тексту, относящемуся к Главе 4 и в Заключение, также говорится о четырех звездах. Осталось неясным, выносятся ли на защиту подтверждение симбиотической природы у звезды AS 357.

4. В работе говорится об отсутствии общепринятой методики выделения фликкер-эффекта. Автор предлагает использовать порог  $FAP < 0.0006\%$  ( $5\sigma$ ). Несмотря на строгий критерий, для BD-14 450 автор пишет на стр. 62: «возможно, что у BD-14 450 присутствовал фликкер-эффект... но амплитуда была сравнима с ошибками». Такая качественная интерпретация вступает в некоторое противоречие с заявленным строгим критерием.

5. Для некоторых систем, где фликкер-эффект не был обнаружен, длительность наблюдений составляла менее 1 часа (например, AS 357 - 45 мин, AX Per - 30-50 мин). Так как фликкер-эффект в симбиотических звездах может иметь характерные времена от минут до нескольких часов, то наблюдение в течение 30-50 минут недостаточно для того, чтобы уверенно утверждать об отсутствии переменности.

6. Автор утверждает, что фликкер-эффект у V1413 Aql отсутствует, и объясняет это либо геометрией (диск виден с ребра), либо отсутствием диска и наличием псевдофотосферы вокруг белого карлика. При этом упоминается резкое возрастание блеска системы на  $> 0.05$  mag за 40 минут 22 июня 2025г., которое автор называет не фликкер-эффектом, а результатом «неустойчивого переноса массы». Однако, физически фликкер-эффект и есть следствие неустойчивого переноса массы в диске, поэтому отказ признавать это событие быстрой переменностью выглядит недостаточно обоснованным и скорее формальным.

7. В работе дается оценка относительного изменения потока от аккреционного диска в системе CSS 1102, которая составила около 30%. Представляется, что это очень большая амплитуда флуктуаций (почти треть светимости всего диска на масштабе около 50 минут), можно сказать экстремальная. Хотелось бы увидеть физическое объяснение такой аномально высокой неустойчивости диска в этой системе.

8. В Главе 1 подробно описана автоматизация телескопов и достижение точности 0.001 mag. Однако, несмотря на заявленную высокую точность, в таблицах Главы 2 для многих объектов указана точность 0.005-0.015 mag, а для некоторых даже 0.05-0.1 mag. Возникает вопрос, насколько критичным для результатов, полученных по фотометрическим мониторингам, был весь объем работ по автоматизации, описанный в Главе 1.

Все высказанные замечания несколько не умаляют ценности и значимости диссертационной работы Н. А. Масленниковой. Работа выполнена на высоком научном уровне. Текст диссертации написан хорошим лаконичным языком, хорошо иллюстрирован. Личный вклад автора во все полученные результаты корректно отражен. Список литературы показывает, что диссертант хорошо знаком с современным состоянием исследований по данной теме. Автореферат полностью отражает содержание диссертации.

Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия (по физико-математическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В.Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на

соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Считаю, что соискатель Масленникова Наталия Андреевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Официальный оппонент:

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

**ШАХВОРОСТОВА Надежда Николаевна**

29 мая 2026 года

Контактные данные:

Тел. +7 (495) 333-40-88, e-mail: shahvorostovann@lebedev.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:  
01.03.02 — Астрофизика и радиоастрономия

Адрес места работы: 119991, ГСП-1, Ленинский пр., 53, АКЦ ФИАН, отдел теоретической астрофизики и космологии

тел. +7 (495) 333-40-88, e-mail: office@lebedev.ru

Подпись сотрудника ФИАН Шахворостовой Н. Н. удостоверяю:

Ученый секретарь ФИАН, к.ф.-м.н.

А. В. Колобов