

СИМБИОТИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ЦИРКОНИЕВОЙ ЗВЕЗДЫ CSS 1102

© 2022 г. Н. А. Масленникова^{1,2*}, А. А. Татарникова²,
А. М. Татарников², Н. П. Иконникова², А. В. Додин²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Физический факультет, Москва, Россия

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Поступила в редакцию 28.10.2021 г.

После доработки 03.12.2021 г.; принята к публикации 03.12.2021 г.

По результатам спектральных наблюдений, проведенных на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ, установлена симбиотическая природа малоизученной S-звезды CSS 1102. В спектре объекта наблюдается бальмеровский скачок в эмиссии и присутствуют линии, характерные для газовых туманностей (H I, He I и [Ne III]). Анализ распределения энергии показал, что, помимо туманности и холодного компонента спектрального класса S4.5/2, в спектре CSS 1102 заметно избыточное излучение в синем и в ближнем УФ-диапазонах, которое может быть приписано аккреционному диску. Фотометрический мониторинг, выполненный на 60-см телескопе КГО ГАИШ в полосе *B*, выявил наличие быстрой переменности на временной шкале в десятки минут и амплитудой несколько процентов, что является дополнительным аргументом в пользу существования в системе аккреционного диска.

Ключевые слова: CSS 1102, симбиотические звезды, фликкер-эффект.

DOI: 10.31857/S0320010822010053

ВВЕДЕНИЕ

CSS 1102 — малоизученный объект, классифицированный как одиночная S-звезда (типа S-*Ze) МакКоннеллом (1982) и вошедший в Общий каталог галактических S-звезд, опубликованный Стивенсоном (1984). Видимый блеск звезды по данным AAVSO (Кафка, 2021) меняется в диапазоне 12.6^m – 13^m в полосе *V*. Расстояние до звезды составляет как минимум несколько килопарсек. Согласно Gaia EDR3 (Бейлер–Джонс и др., 2021), разные методы дают широкий диапазон расстояний до CSS 1102 — от 4.6 до 8 кпк (по 16 и 84 перцентиям). При этом в Gaia DR2 (Команда Гайа, Браун и др., 2018) приводится параллакс 0.0116 mas с ошибкой, существенно превышающей эту величину (0.0826 mas). Существует также оценка расстояния, приведенная в каталоге RAVE DR5 (Кандер и др., 2017) — примерно 3.9 кпк (в предыдущем релизе обзора, RAVE DR4, оценка была выше — 4.9 кпк).

С июня 2020 г. CSS 1102 — кандидат в симбиотические звезды¹. Эти звезды представляют собой

особый класс взаимодействующих двойных систем, в спектрах которых наряду с линиями и полосами поглощения, характерными для холодных гигантов (например, TiO), присутствуют эмиссионные линии, характерные для спектров планетарных туманностей (H I, He I, He II, [O III], [Ne III] и др). Наблюдения, проведенные в широком спектральном диапазоне, позволили установить, что симбиотические звезды — это двойные системы, состоящие из красного гиганта и компактного горячего компонента (в большинстве случаев — горячего субкарлика), окруженные газовой туманностью сложной структуры (Боярчук, 1967).

У CSS 1102 заподозрено наличие быстрой переменности блеска². Эффект быстрой переменности блеска (фликкер-эффект) — редкое явление в мире симбиотических звезд (Соколки и др., 2001). В настоящее время при более 300 открытых симбиотических звезд известно не более двенадцати объектов, демонстрирующих этот тип переменности (у части из них амплитуда вариаций блеска сравнима с ошибками фотометрических наблюдений). Причем даже у этих 12 систем фликкер-эффект наблюдается не все время: во время вспышек и некоторое время после них быстрая перемен-

*Электронный адрес: maslennikova.na16@physics.msu.ru

¹<https://www.aavso.org/aavso-alert-notice-719>

²<https://www.aavso.org/aavso-alert-notice-719>

ность не регистрируется. Тем не менее даже такое небольшое количество объектов можно разделить на два подкласса с разными характеристиками переменности и разными физическими механизмами, вызывающими эту переменность. Малые амплитуды и узкие пики на периодограмме характерны для переменности по типу промежуточных поляров (горячие пятна, образующиеся вблизи магнитных полюсов белого карлика, вызывают осцилляции блеска с периодом, равным периоду вращения белого карлика вокруг своей оси). Тогда как амплитуды большей величины и широкий спектр мощности по полосе частот свидетельствуют о переменности, связанной с наличием в системе аккреционного диска. Примером звезды первого типа является *Z And* (период 28 мин, амплитуда в полосе *B* примерно 0.002^m — Соколки и др., 2001). Ко второму типу относятся такие известные симбиотические звезды, как *T CrB*, *RS Oph*, *SN Cyg*, *V407 Cyg* и др. (Заманов и др., 2016, 2018; Колотилов и др., 2003). Особенно интересна в этом отношении система *SN Cyg*, у которой являются переменными как амплитуда фликкер-эффекта (может достигать 0.5^m), так и спектр мощности (на временных шкалах от секунд до часов).

Целью нашей работы являются классификация CSS 1102, определение параметров фликкер-эффекта и природы компонента системы, который демонстрирует быструю переменность.

НАБЛЮДЕНИЯ

Фотометрические наблюдения CSS 1102 были проведены на 60-см телескопе RC600 КГО ГАИШ 1 сентября 2020 г., 27 октября 2020 г. и 10 июля 2021 г. в полосах *B*, *V*, *Rc*, *Ic* системы Крона–Кузинса (Кузинс, 1976) с использованием ПЗС-камеры Andor iKON-L форматом 2048×2048 пикселей (размер пиксела 13.5 мкм). Описание телескопа и приемной аппаратуры приведено в статье Бердникова и др. (2020). Первичная калибровка была выполнена стандартным для ПЗС-фотометрии способом (учет кадров подложки, темнового тока и плоских полей). Помимо многоцветных оценок блеска, 1 сентября 2020 г. и 10 июля 2021 г. были проведены 75-мин и 125-мин мониторинги звезды в полосе *B* с экспозицией каждого кадра 40 с. В качестве звезд сравнения выбирались звезды с близкой к CSS 1102 величиной в полосе *V* из каталога APASS (Хенден и др., 2016).

Спектральные наблюдения CSS 1102 были выполнены 31 августа и 28 октября 2020 г. на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ с Транзиентным Двухлучевым Спектрографом (ТДС): рабочая ширина щели $1''$ (при спектрофотометрических наблюдениях используется щель шириной $10''$), диапазон длин

волн 3600–7500 Å, разрешающая сила в коротковолновом канале (3600–5770 Å) $R = 1300$, в длинноволновом (5670–7500 Å) $R = 2500$ (Потанин и др., 2020).

CSS 1102 наблюдалась с щелью $1''$ и временем накопления 1200 с. S-звезда HD64332 (Кинан, Бешар, 1980), использованная в качестве звезды сравнения для холодного компонента, наблюдалась с двумя щелями: для наблюдений с щелью $1''$ время экспозиции составило 200 с для коротковолнового канала и 30 с для длинноволнового, с щелью $10''$ — 20 и 5 с соответственно.

Полученные спектры были обработаны по методике, описанной в работе Потанина и др. (2020). Спектры калибровались с помощью линейчатого спектра газоразрядной Ne–Kг–Pb-лампы с полым катодом (HCL), поправки на виньетирование и неравномерность ширины щели вычислялись по лампе с непрерывным спектром (спектральное “плоское поле”). В качестве стандарта для CSS 1102 была использована звезда BD+75d325, для HD64332 — Feige66. Кривая пропускания оптической системы исправлялась по отношению наблюдаемых спектров-стандартов к их опубликованным спектральным распределениям энергии (Оке, 1990). Для контроля качества перевода наблюдаемых потоков в абсолютные использовались фотометрические наблюдения в полосе *V*, полученные на телескопе RC600 в ближайшую дату. Нормировочная постоянная оказалась равна 1.03, что говорит о хорошем состоянии атмосферы и точной установке объектов на щели.

Спектры CSS 1102 и HD64332 были приведены к барицентру Солнечной системы. В красный канал спектрографа попадает большое количество ярких линий в спектре калибровочной лампы, а также большое количество ярких линий неба, что позволяет калибровать спектр с точностью ~ 1 км/с. Однако на практике реализовать такую точность не удастся из-за ошибок позиционирования звезды на щели. При качестве изображения $\sim 1.5''$ (что примерно соответствовало условиям наблюдений) и ошибках установки на щель менее $1''$ ошибка определения лучевой скорости $\lesssim 15$ км/с для гауссовского распределения яркости поперек щели, что и определяет точность измерения лучевой скорости. Для независимого контроля точности измерения лучевых скоростей мы по двум последовательным кадрам, полученным 31.08.2020, определили их величины, которые совпали с точностью лучше нескольких км/с. Точность измерения лучевой скорости в синем канале существенно хуже, и может быть отягощена систематическими ошибками, возникающими из-за слабости спектра калибровочной лампы на момент наблюдений (это было

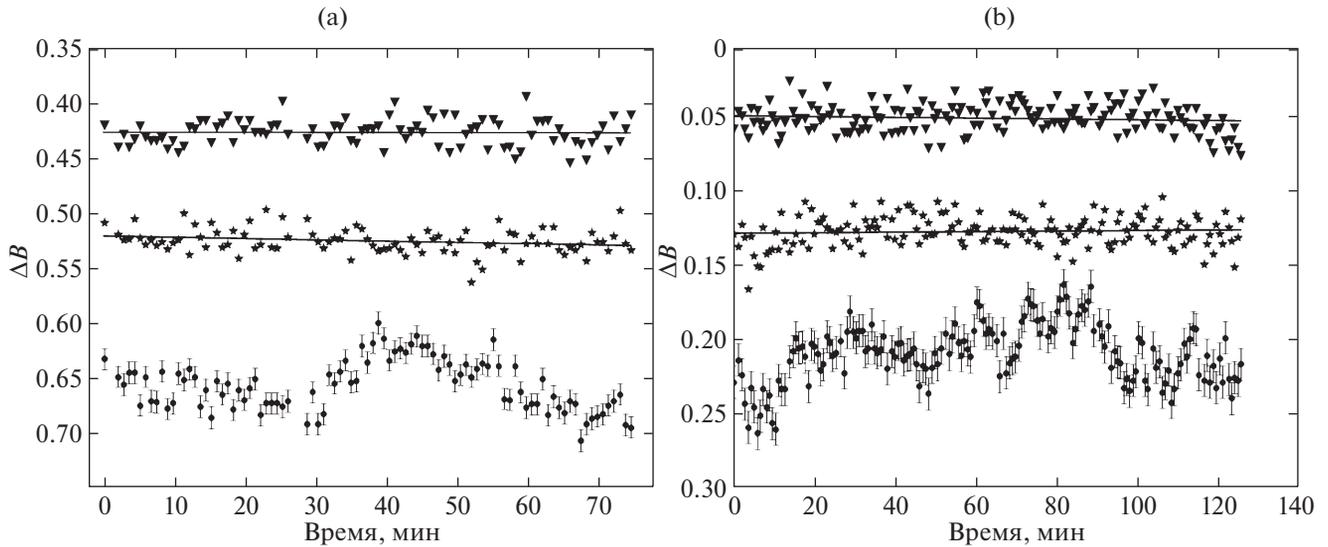


Рис. 1. Кривая блеска CSS 1102 в полосе B (точки) по данным, полученным во время мониторинга: (a) — 1 сентября 2020 г., (b) — 10 июля 2021 г. Звездочками и треугольниками обозначены измерения блеска для звезд сравнения.

исправлено в мае 2021 г.), сильному блендированию линий калибровочной лампы, а главное — отсутствию ярких линий неба (за исключением линии 5577 \AA), по которым можно скорректировать ошибки, возникающие из-за деформаций прибора.

Все спектры были исправлены за межзвездное поглощение. Избытки цвета для CSS 1102 $E_{B-V} = 0.16$ и для HD64332 $E_{B-V} = 0.06$ были взяты из работы Грина и др. (2019).

АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

По данным наблюдений было сделано 285 измерений блеска CSS 1102 с фотометрическими погрешностями $0.01^m - 0.03^m$. Относительно большая погрешность наблюдений связана с малой высотой объекта во время наблюдений даже в верхней кульминации (склонение звезды -21°). Звездные величины стандартов в полосах Rc и Ic были пересчитаны из приведенных в каталоге APASS (Хенден и др., 2009) звездных величин в полосах r' и i' по формулам из работы Джестер и др. (2005). Результаты фотометрии приведены в табл. 1. Видно, что за время между наблюдениями (около 2 мес) CSS 1102 изменила блеск в полосах B, V, Rc примерно на 0.2^m , а в полосе Ic на 0.08^m .

Определение характерного времени фликкер-эффекта по данным мониторинга (соответствующие кривые блеска приведены на рис. 1) проводилось с помощью фурье-анализа и вейвлет-анализа (аппарат последнего был разработан А. Гроссманом и Дж. Морле, 1984). Вейвлет-анализ лучше

подходит для исследования неправильных вариаций блеска, в частности, его применили Заманов и Брух (1998) для определения параметров фликкер-эффекта у симбиотической звезды Т СгВ.

Быстрая переменность блеска имеет небольшую относительную амплитуду и может иметь несколько нестабильных периодов, поэтому при усреднении по всей кривой блеска спектральная плотность фликкер-эффекта мала. Также необходимо учитывать спектр окна, так как наблюдения проводились с экспозицией 40 с, а длина искомого периода составляет от нескольких минут до 1 ч. Таким образом, в спектре появляются ложные пики, усложняющие поиск истинного периода фликкер-эффекта. Для более уверенного выделения периода он сначала определялся с помощью вейвлет-преобразования, а затем уточнялся с помощью дискретного преобразования Фурье.

Кривая блеска за период — гладкая функция, поэтому для поиска периода использовался гладкий базисный вейвлет “Мексиканская шляпа”,

Таблица 1. Блеск CSS 1102 в полосах B, V, Rc, Ic

Полоса	01.09.2020	27.10.2020
B	14.45 ± 0.01	14.22 ± 0.01
V	12.87 ± 0.01	12.65 ± 0.01
Rc	12.03 ± 0.02	11.85 ± 0.01
Ic	10.89 ± 0.03	10.81 ± 0.03

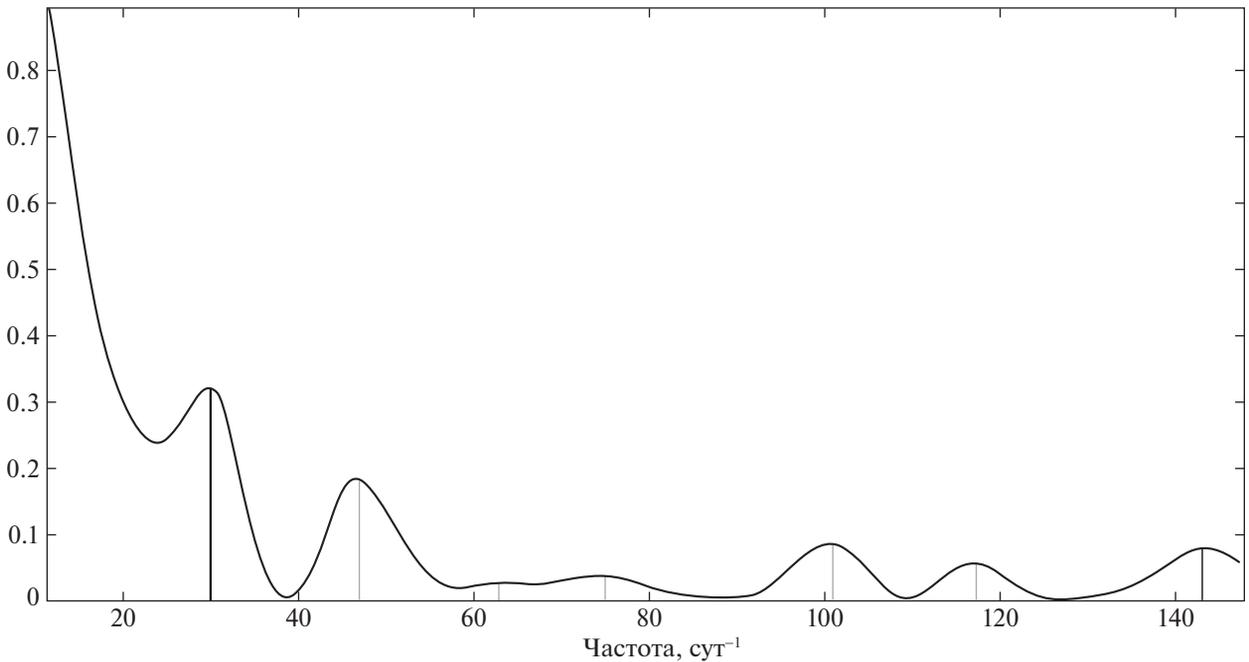


Рис. 2. Спектр мощности кривой блеска CSS 1102 по данным мониторинга 10 июля 2021 г. Черные вертикальные линии — периоды фликкер-эффекта. Серые линии — найденные ложные периоды.

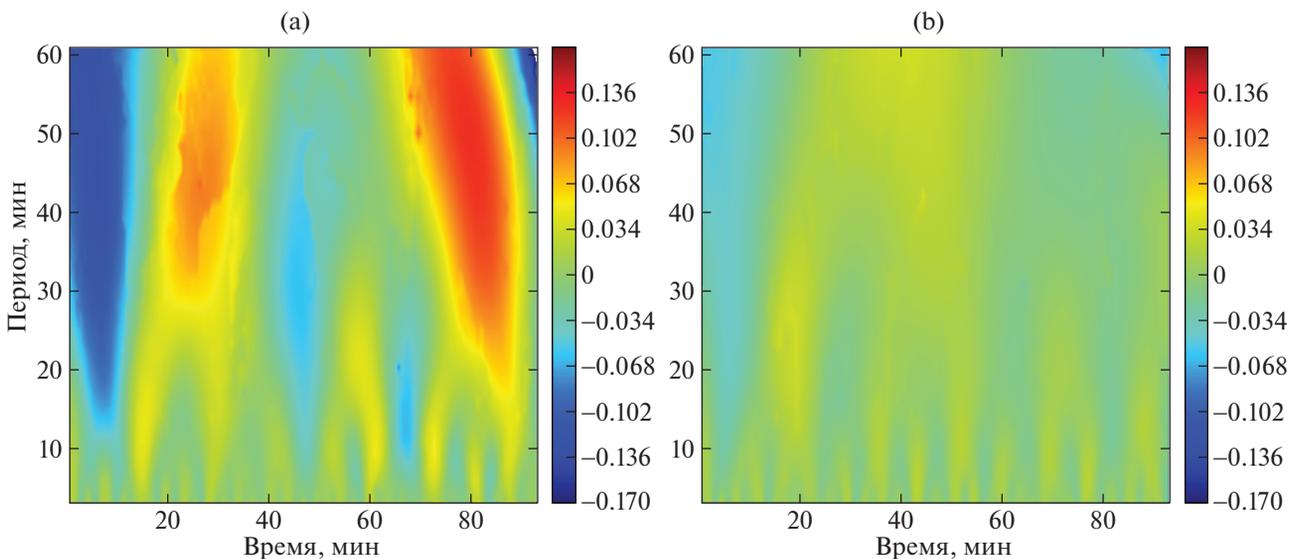


Рис. 3. Коэффициенты вейвлет-преобразования по данным, полученным во время мониторинга 10 июля 2021 г.: (а) — для CSS 1102 (хорошо видно характерное время изменения блеска — около 50 мин и около 10 мин), (б) — для контрольной звезды.

который описывается функцией $\psi(x) = (x^2 - 1)e^{-x^2/2}$. Фурье-анализ (рис. 2) и вейвлет-анализ (рис. 3а) кривой блеска CSS 1102 показали, что 10 июля 2021 г. фликкер-эффект имел два периода: 48 и 10 мин. При этом характерная амплитуда фликкер-эффекта в полосе B составила 0.04^m и 0.02^m соответственно (при точности фотометрии 0.011^m , оцененной по среднеквадра-

тичному отклонению блеска контрольных звезд от среднего значения). На рис. 3б для сравнения показан результат вейвлет-анализа кривой блеска контрольной звезды, из которого следует, что данного периода у нее не наблюдается. По кривой блеска в полосе B 1 сентября 2020 г. у CSS 1102 был обнаружен фликкер-эффект с похожим характерным временем изменения блеска в 45–50 мин.

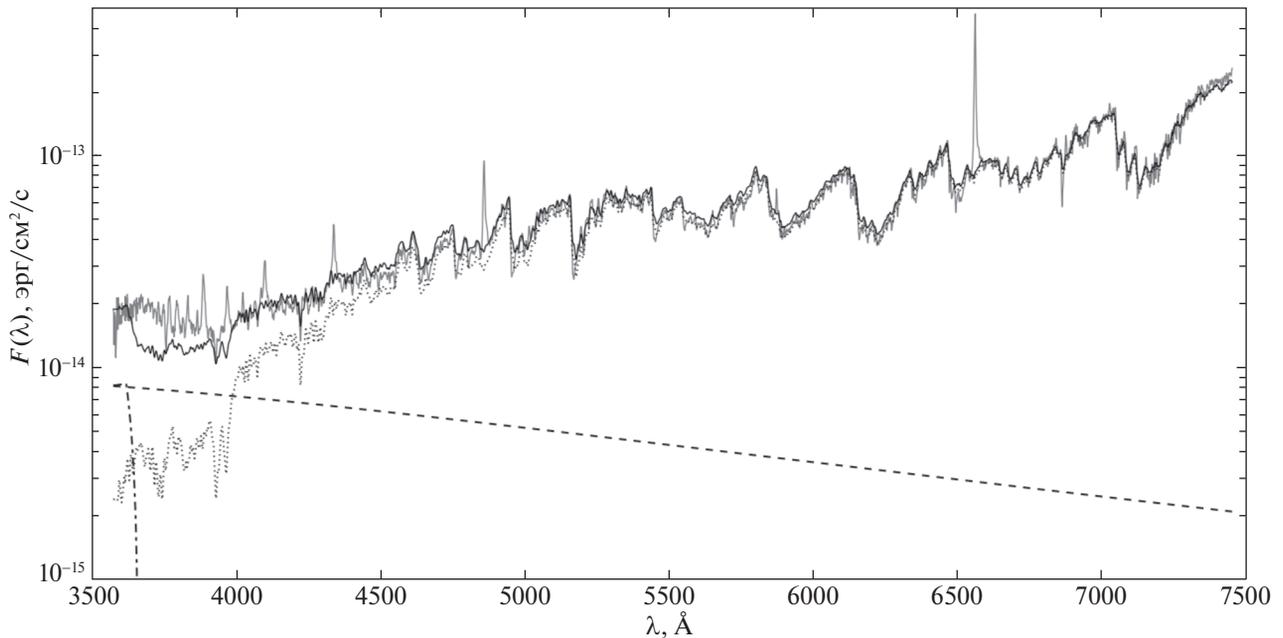


Рис. 4. Исправленный за межзвездное покраснение наблюдаемый (серая линия) и смоделированный (черная линия) спектры CSS 1102 и спектры отдельных компонентов системы: пунктирная линия — холодный компонент (HD64332), штриховая линия — аккреционный диск, штрихпунктирная линия — туманность.

Амплитуда фликкер-эффекта составила 0.04^m (при точности фотометрии 0.010^m , оцененной по контрольным звездам).

АНАЛИЗ СПЕКТРА И МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГИИ

CSS 1102 ранее была известна как одиночная S-звезда (МакКонелл, 1982). Однако наличие в спектре эмиссионных линий и коротковолнового избытка излучения (рис. 4) позволяет предположить, что звезда является симбиотической двойной (подробности см. ниже). Хорошее совпадение спектров CSS 1102 и S-звезды HD64332 на длинах волн $>4500 \text{ \AA}$ позволяет нам предположить, что холодный компонент CSS 1102 относится к циркониевым звездам спектрального класса S4.5/2 (эффективная температура примерно 3400 К). Кроме того, отношение наблюдаемых потоков и хорошо известное расстояние до HD64332 (612 пк, согласно Бейлер-Джонсу и др., 2021) позволяют получить оценку расстояния до исследуемого объекта — 5 кпк. Поэтому в дальнейшем для моделирования спектра холодного компонента CSS 1102 был взят спектр HD64332, нормированный так, чтобы среднеквадратичное отклонение в диапазоне длин волн 6000–6200 \AA было наименьшим, а расстояние до CSS 1102 принималось равным 5 кпк.

В абсорбционном спектре CSS 1102, помимо молекулярных полос ZrO (λ 6345, 6473 и др.),

наблюдаются сильные полосы TiO (λ 5847, 7054 и др.), которые в ранних подклассах S-звезд используются в качестве температурных критериев. Молекулярная полоса YO λ 6132 также хорошо заметна. Такой спектр свидетельствует о том, что красный гигант находится на стадии, когда происходит обогащение его атмосферы элементами s-процесса. Что, в свою очередь, приводит к изменению спектрального класса от первоначального M через промежуточный MS класс к S классу (а в дальнейшем и к углеродной звезде спектрального класса C).

Сравнение распределения энергии в спектрах CSS 1102 и абсолютно черного тела с $T_{\text{eff}} = 3400 \text{ K}$ в ИК-диапазоне (рис. 5) показывает отсутствие ИК-избытка излучения в спектре CSS 1102 и, следовательно, отсутствие околозвездной пылевой оболочки. Поэтому CSS 1102 следует отнести к S-типу (от “stellar”) по классификации ИК-спектров СЗ.

Линейчатый эмиссионный спектр CSS 1102 представляется достаточно бедным. В нем доминируют линии Бальмеровской серии водорода. Измеренные потоки в данных линиях представлены в табл. 2. При измерениях континуумом для $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$ считался спектр HD64332, полученный с щелью $10''$. Ошибки измерения потоков в линиях вызваны неопределенностью в уровне континуума, особенно они велики для слабых линий. Отметим тот факт, что у многих одиночных S-звезд также

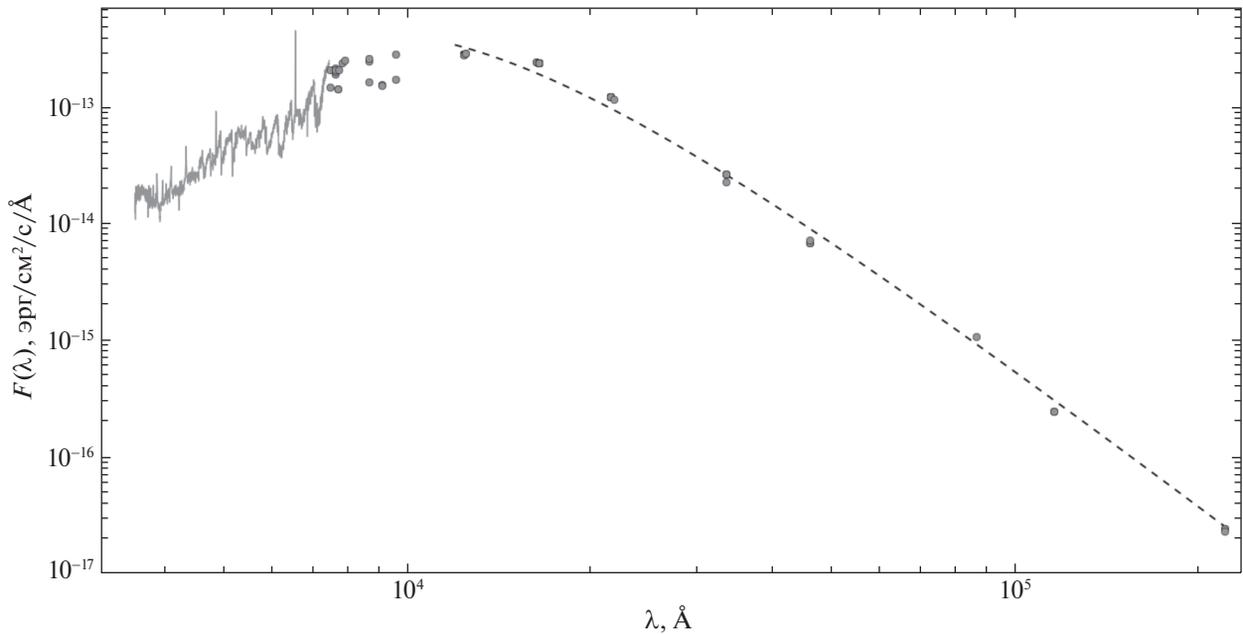


Рис. 5. Исправленный за межзвездное покраснение спектр (сплошная линия) и потоки в ближнем и среднем ИК-диапазонах для CSS 1102 по данным из каталогов VizieR (точки). Штриховой линией показано распределение энергии в спектре абсолютно черного тела с $T_{\text{eff}} = 3400$ К.

наблюдаются эмиссии водорода (особенно, если S-звезда является миридой). Но Бальмеровский декремент в случае CSS 1102 ($H\gamma/H\beta = 0.42 \pm 0.08$, $H\delta/H\beta = 0.29 \pm 0.09$) свидетельствует о том, что линии водорода образуются именно в туманности. Помимо этого в спектре объекта присутствуют линии He I, а также слабые запрещенные линии [Ne III], что подтверждает предположение о симбиотической природе объекта CSS 1102.

Таблица 2. Потоки в эмиссионных линиях в единицах 10^{-14} эрг/(см²с) в спектре CSS 1102, полученном 31.08.2020 г.

Линия	Поток
H α	181 ± 9
He I (5876 Å)	5.1 ± 1.8
H β	31.5 ± 1.0
H γ	14.4 ± 2.2
H δ	8.6 ± 1.9
He I (4026 Å)	2.0 ± 1.5
H ζ	5.3 ± 2.0
[Ne III] (3869 Å)	1.1 ± 0.8

К сожалению, в спектре отсутствуют линии ионов с высокими потенциалами ионизации (например, He II λ 4686), что не позволяет нам определить температуру горячего компонента системы. Мы можем дать лишь грубую оценку $40\,000 \leq T_{\text{hot}} < 55\,000$ К (см. работу Мурсета и Нуссбаумера, 1994, по температурным критериям горячих компонентов СЗ). Отметим, что излучение горячего компонента с указанной температурой не заметно в оптическом диапазоне длин волн и может наблюдаться только в дальнем УФ-диапазоне. Это обычная ситуация для СЗ в спокойном состоянии.

На рис. 6 представлены профили наиболее сильной эмиссионной линии в спектре CSS 1102 — линии H α , полученные 31.08.2020 г. и 28.10.2020 г. Они имеют асимметричный вид: в синем крыле линии присутствует хорошо заметный дополнительный компонент. Несимметричная форма профилей эмиссионных линий часто встречается у симбиотических звезд и отражает сложную структуру туманности. Наблюдаемый профиль хорошо аппроксимируется суммой двух профилей Фойгта с добавкой 31.08.2020 г. третьего слабого компонента в красном крыле. Наблюдается некоторая переменность линии H α : 28.10.2020 г. поток в линии уменьшился примерно на 25% по сравнению с предыдущей датой (табл. 2). Лучевые скорости обоих компонентов при этом в спектрах от 31.08.2020 г. и 28.10.2020 г. с точностью до ошибок измерения (15 км/с, см. раздел “Наблюдения”) совпадают: скорость центрального

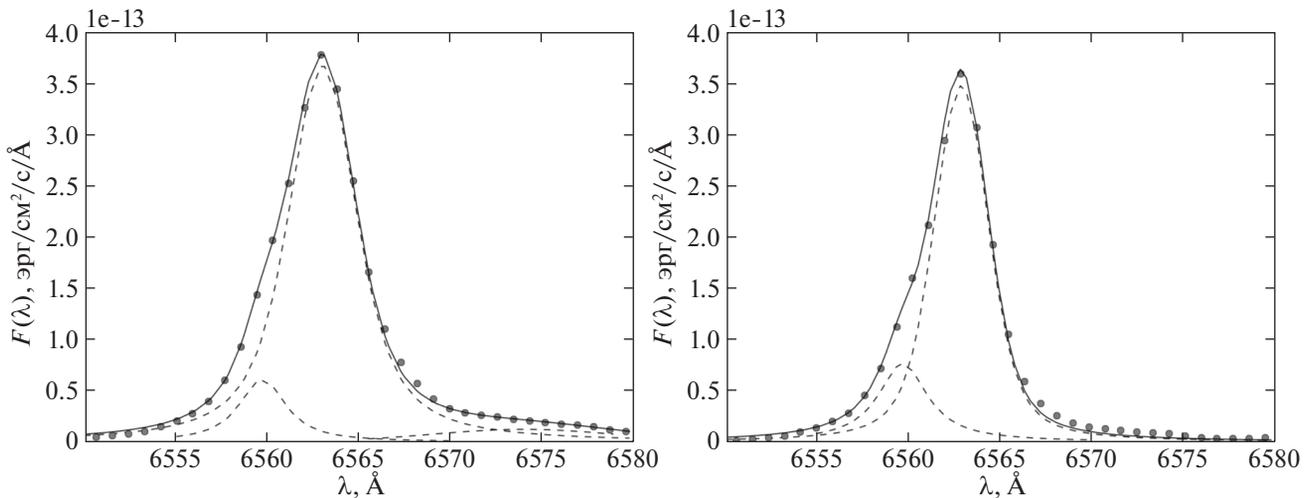


Рис. 6. Профили линии $H\alpha$ в спектрах 31.08.2020 г. (левая панель) и 28.10.2020 г. (правая панель). Уровень непрерывного спектра соответствует нулевому значению потока. Точками представлены наблюдательные данные, сплошная линия — результат аппроксимации отдельными компонентами, представленными профилями Фойгта (штриховые линии).

компонента линии $H\alpha$ 197 и 199 км/с, а голубого компонента — 55 и 50 км/с. Лучевые скорости холодного компонента, определенные по абсорбционному спектру, в эти даты равны 166 и 179 км/с. Получившаяся разность скоростей центрального компонента линии $H\alpha$ и красного гиганта (20–30 км/с) характерна для суммы орбитальных скоростей компонентов симбиотических двойных с периодами в несколько лет (Фекел и др., 2001).

В спокойном состоянии распределение энергии в широком спектральном диапазоне (от УФ до ИК) для большинства симбиотических систем хорошо описывается в рамках стандартной трехкомпонентной модели: холодный компонент, горячий компонент и туманность. Причем в оптическом диапазоне заметно излучение только от холодного компонента и туманности (линии и континуум). Горячий компонент, чей максимум излучения находится в далекой УФ-области, дает пренебрежимо малую добавку. Однако встречаются объекты (например, Т СгВ, RS Oph, СН Суг, Заманов и др., 2016, 2018), у которых даже в промежутках между вспышками в оптическом диапазоне наблюдается дополнительный источник излучения (аккреционный диск).

На рис. 4 приведены спектр CSS 1102 и спектр звезды сравнения HD64332. Видно, что при совпадении спектров в визуальном и красном диапазонах длин волн спектры в синем и УФ-диапазонах существенно отличаются. Учет излучения туманности в непрерывном спектре не позволяет полностью объяснить это различие. Таким образом, в указанном диапазоне заметен избыток излучения. По аналогии с другими СЗ, в спектре которых так же наблюдается такой избыток, можно предположить,

что в системе CSS 1102 вокруг горячего компонента существует аккреционный диск — так называемый теплый компонент. На рис. 4 разными линиями показаны распределения энергии в спектрах различных компонентов: холодного компонента — звезды спектрального класса S4.5/2, туманности с электронной температурой $T_e = 10\,000$ К и мерой эмиссии $1.5 \times 10^{13} \text{ см}^{-5}$ и аккреционного диска.

Модельное распределение энергии в спектре аккреционного диска рассчитывалось по формулам, представленным в работе Тайленда (1977):

$$F_{\text{disk}}(\lambda) = \frac{2hc^2}{\lambda^5 d^2} \sin(i) \int_{R_1}^{R_{\text{disk}}} \frac{2\pi R}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda kT(R)}\right) - 1} dR,$$

$$T(R) = T_0 \left(\frac{R_1}{R}\right)^{0.25} \left[1 - \left(\frac{R_1}{R}\right)^{0.5}\right]^{0.25},$$

где R_1 — радиус горячего компонента, R_{disk} — внешний радиус диска, d — расстояние до системы, i — угол наклона к лучу зрения. Предполагалось, что внутренний радиус аккреционного диска равен радиусу горячего компонента, а внешний радиус много больше радиуса горячего компонента, поэтому верхний предел интегрирования принимался равным $50R_1$ (Татарникова и др., 2009). Модельное распределение энергии в спектре аккреционного диска, представленное на рис. 4, рассчитано при следующих параметрах: расстояние до CSS 1102 составляет $d = 5$ кпк, $R_1 = 0.05 R_\odot$, температура $T_0 = 23\,000$ К, $i = 45^\circ$. Отметим, что модельная кривая не противоречит наблюдениям при значениях параметров из достаточно широких интервалов:

$R_1 = 0.01-0.14 R_\odot$, температура $T_0 = 18\,000-60\,000$ К, $i > 15^\circ$ (величина угла i ограничена снизу, так как у системы наблюдается фликкер-эффект, а значит, видна внутренняя часть диска). Это связано с тем, что излучение аккреционного диска у CSS 1102 заметно лишь в малом интервале длин волн полученных спектров.

При расчете светимости диска считалось, что аккреционный диск геометрически тонкий. Тогда по формуле

$$L = 2 \int_{R_1}^{R_{\text{disk}}} \sigma T(R)^4 2\pi R dR$$

находим светимость диска $L \approx 20-200 L_\odot$ (для приведенного выше диапазона параметров).

Как было сказано ранее, ответственными за быструю переменность блеска системы могут быть горячий компонент или аккреционный диск. В случае CSS 1102 горячий компонент можно исключить из рассмотрения, так как его вклад в суммарный поток в полосе B мал, а амплитуда наблюдаемого фликкер-эффекта составляет как минимум несколько процентов. Кроме того, наличие широких пиков в спектре мощности на рис. 2 указывает на аккреционную природу эффекта.

По спектру, представленному на рис. 4, можно оценить вклад различных компонентов в излучение системы в полосе пропускания фильтра B (3900–4900 Å): аккреционный диск 5.0×10^{-13} эрг/(см² с), туманность — 3.1×10^{-14} эрг/(см² с), холодный компонент — 1.4×10^{-12} эрг/(см² с). Согласно данным фотометрических наблюдений, амплитуда фликкер-эффекта составляла примерно 0.04^m (01.09.2020 г. и 10.07.2021 г.) и примерно 0.02^m (10.07.2021 г.). Следовательно, относительное изменение потока излучения аккреционного диска составляло соответственно 16, 14 и 8%.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе спектров, полученных 31 августа и 28 октября 2020 г. на 2.5-м телескопе КГО со спектрографом TDS, можно сделать вывод, что CSS 1102 является симбиотической звездой. Данные инфракрасных наблюдений, представленные в каталогах VizieR (Оксенбейн и др., 2000), показывают отсутствие ИК-избытка в распределении энергии, что позволяет отнести CSS 1102 к подклассу симбиотических звезд S-типа (“stellar”). При моделировании распределения энергии была получена оценка расстояния до системы 5 кпк и определены параметры компонентов системы: холодный компонент — звезда спектрального класса

S4.5/2 с абсолютной звездной величиной $M_V = -1.5$, туманность с электронной температурой $T_e = 10\,000$ К и мерой эмиссии 1.5×10^{13} см⁻⁵ и аккреционный диск с $T_0 = 18\,000-60\,000$ К, внутренним радиусом $R_1 = 0.01-0.14 R_\odot$ и $i > 15^\circ$ (светимость $L \approx 20-200 L_\odot$).

По фотометрическим наблюдениям в полосах B , V , Rc , Ic 1 сентября и 27 октября 2020 г. были получены оценки блеска CSS 1102 (результаты приведены в табл. 1). За 57 дней блеск звезды изменился в полосах B , V , Rc примерно на 0.2^m , в полосе Ic — на 0.08^m .

По мониторингам в полосе B , проведенным 1 сентября 2020 г. и 10 июля 2021 г., у CSS 1102 был обнаружен фликкер-эффект — редкое явление у симбиотических звезд. Характерная величина изменения блеска 1 сентября 2020 г. $0.043^m \pm 0.010^m$, при характерном времени переменности 37 мин. Фликкер-эффект имел 10 июля 2021 г. два периода: 48 мин ($\Delta B = 0.039^m \pm 0.011^m$) и 10 мин ($\Delta B = 0.022^m \pm 0.011^m$). Исследования спектра показали, что быстрая переменность CSS 1102 может быть связана с наличием аккреционного диска в системе.

Работа выполнена при частичной поддержке междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета “Фундаментальные и прикладные исследования космоса”. Н.А. Масленникова, А.М. Татарников и А.В. Додин благодарят Российский научный фонд (грант № 17-12-01241) за финансовую поддержку настоящей работы (обработка наблюдений, моделирование). Авторы благодарят команду проекта Gaia за возможность использования данных проекта. В данной работе использовалась система доступа к каталогам VizieR, CDS, Страсбург, Франция (DOI: 10.26093/cds/vizier).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейлер-Джонс и др. (C.A.L. Bailer-Jones, J. Rybizki, M. Fouesneau, M. Demleitner, and R. Andrae), *Astron. J.* **161**, 147 (2021).
2. Бердников Л.Н., Белинский А.А., Шатский Н.И., Бурлак М.А., Иконникова Н.П., Мишин Е.О., Черясов Д.В., Жуйко С.В., *Астрон. журн.* **97**, 284 (2020).
3. Боярчук А.А., *Астрон. журн.* **44**, 1016 (1967).
4. Команда Gaia, Браун и др. (Gaia Collaboration, A.G.A. Brown, A. Vallenari, T. Prusti, J.H.J. de Bruijne, C. Babusiaux, C.A.L. Bailer-Jones, M. Biermann, et al.), *Astron. Astrophys.* **616**, A1 (2018).
5. Грин и др. (G.M. Green, E. Schlafly, C. Zucker, J.S. Speagle, and D. Finkbeiner), *Astron. J.* **887**, 27 (2019).
6. Гроссманн, Морле (A. Grossmann and J. Morlet), *SIAM J. Math. Anal.* **15**, 723 (1984).

7. Джестер и др. (S. Jester, D.P. Schneider, G.T. Richards, R.F. Green, M. Schmidt, P.B. Hall, M.A. Strauss, B. Vanden, et al.), *Astron. J.* **130**, 873 (2005).
8. Заманов, Брух (R.K. Zamanov and A. Bruch), *Astron. Astrophys.* **338**, 988 (1998).
9. Заманов и др. (R.K. Zamanov, S. Boeva, G. Latev, J.L. Sokoloski, K.A. Stoyanov, V. Genkov, S.V. Tsvetkova, T. Tomov, et al.), *MNRAS: Lett.* **457**, L10 (2016).
10. Заманов и др. (R.K. Zamanov, S. Boeva, G.Y. Latev, J. Mart, D. Boneva, B. Spassov, Y. Nikolov, M.F. Bode, et al.), *MNRAS* **480**, 1363 (2018).
11. Кандер и др. (A. Kunder, G. Kordopatis, M. Steinmetz, T. Zwitter, P.J. McMillan, L. Casagrande, H. Enke, J. Wojno, et al.), *Astron. J.* **153**, 75 (2017).
12. Кафка (S. Kafka), Observations from the AAVSO International Database, <https://www.aavso.org> (2021).
13. Кинан, Бешар (P.C. Keenan and P.C. Boeshaar), *Astroph. J. Suppl. Ser.* **43**, 379 (1980).
14. Колотилов Е.А., Шенаврин В.И., Шугаров С.Ю., Юдин Б.Ф., *Астрон. журн.* **80**, 845 (2003).
15. Кузинс (A.W.J. Cousins), *Mem. Royal Astron. Soc.* **81**, 25 (1976).
16. МакКонелл (D.J. MacConnell), *Astron. Astroph. Suppl. Ser.* **48**, 355 (1982).
17. Мурсет, Нуссбаумер (U. Murset and H. Nussbaumer), *Astron. Astrophys.* **282**, 586 (1994).
18. Оке (J.B. Oke), *Astron. J.* **99**, 1621 (1990).
19. Оксенбейн и др. (F. Ochsenbein, P. Bauer, and J. Marcout), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **143**, 23 (2000).
20. Потанин С.А., Белинский А.А., Додин А.В., Желтоухов С.Г., Ландер В.Ю., Постнов К.А., Саввин А.Д., Татарников А.М. и др., *Письма в Астрон. журн.* **46**, 894 (2020) [S.A. Potanin et al., *Astron. Lett.* **46**, 837 (2020)].
21. Соколоски и др. (J.L. Sokoloski, L. Bildsten, and W.C.G. Ho), *MNRAS* **326**, 553 (2001).
22. Стивенсон (C.B. Stephenson), *Publications of the Warner & Swasey Observatory* (1984).
23. Тайленда (R. Tytenda), *Astrophys. Space Sci. Lib.* **65**, 57 (1977).
24. Татарникова А.А., Татарников А.М., Есипов В.Ф., Колотилов Е.А., *Письма в Астрон. журн.* **35**, 206 (2009) [A.A. Tatarnikova et al., *Astron. Lett.* **35**, 182 (2009)].
25. Хенден и др. (A.A. Henden, M. Templeton, D. Terrell, T.C. Smith, S. Levine, and D. Welch), *VizieR Online Data Catalog: AAVSO Photometric All Sky Survey (APASS) DR9* (2016).
26. Фекел и др. (F.C. Fekel, K.H. Hinkle, R.R. Joyce, and M.F. Skrutskie), *Astron. J.* **121**, 2 219 (2001).