

УДК 524.338.3-43

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ БЫСТРОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ Т СЕВЕРНОЙ КОРОНЫ

© 2023 Н. А. Масленникова^{1,2*}, А. М. Татарников^{1,2}, А. А. Татарникова¹¹Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия²Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, физический факультет, Москва, 119191 Россия

Поступила в редакцию 17 апреля 2023 года; после доработки 31 мая 2023 года; принята к публикации 1 июня 2023 года

Представлены результаты анализа фотометрического и спектральных мониторингов повторной симбиотической новой Т СгВ, проведенных с помощью спектрографа низкого разрешения TDS 2.5-м телескопа и ПЗС-фотометра 0.6-м телескопа КГО ГАИШ. Показано, что потоки в эмиссионных линиях $H\alpha$, $H\beta$, $He I \lambda 5876$ меняются на 6–16%, а в линии $He II \lambda 4686$ примерно на 60% с характерными временами 20–60 минут. Кривые изменения потоков в линиях по наблюдениям 25 августа 2020 г. имеют форму, похожую на форму кривой блеска Т СгВ в фотометрической полосе B , но с задержкой по времени до 600 с для разных линий. Наблюдаемый спектр аппроксимирован излучением компонент системы со следующими параметрами: красный гигант спектрального класса М4 III, туманность с $T_e = 10^4$ К и мерой эмиссии $4 \times 10^{58} \text{ см}^{-3}$, аккреционный диск с $R_1 = 0.003 R_\odot$, $R_{\text{out}} \approx 1 R_\odot$ (при наклонении $i = 57^\circ$).

Ключевые слова: звезды: двойные: симбиотические — звезды: индивидуальные: Т СгВ — аккреционные диски

1. ВВЕДЕНИЕ

Т СгВ — ближайшая к нам повторная новая, у которой было две вспышки (в 1866 г. и в 1946 г.) с блеском в максимуме приблизительно 2^m . С 2015 года у системы наблюдается фаза очень высокой активности (Munari et al., 2016), похожая на состояние, в котором звезда находилась в 1938 г. перед

вспышкой Новой 1946 г. По оценкам Schaefer (2019), Т СгВ может вспыхнуть как Новая в 2023.6 ± 1 . Т СгВ относится к классу симбиотических звезд. Это объекты, в спектрах которых наблюдаются полосы поглощения, характерные для гигантов поздних спектральных классов, и эмиссионные линии, например [O III] и [Ne III], характерные для планетарных туманностей. Наилучшая модель, описывающая такие спектры, — это двойная система (Berger, 1932; Boyarchuk, 1967), обычно состоящая из красного гиганта позднего спектрального класса и компактного горячего компонента, окруженная ионизованной туманностью (также иногда в модель вводят аккреционный диск).

Холодный компонент Т СгВ — красный гигант спектрального класса М3–М4 (Sanford, 1949), горячий компонент — белый карлик, на который перетекает вещество холодного компонента через аккреционный диск. В спокойном состоянии у Т СгВ наблюдается эллипсоидальная переменность с орбитальным периодом примерно 228 дней, большая амплитуда которой указывает на то, что холодный компонент заполняет свою полость Роша (Shahbaz et al., 1997). Масса белого карлика составляет $1.37 \pm 0.13 M_\odot$ (Stanishev et al., 2004). Она близка к пределу Чандрасекара, поэтому Т СгВ рассматривают в качестве возможного предшественника сверхновой типа SN Ia. В системе не наблюдаются затмения, наклонение орбиты i находится в диапазоне 52° – 62° (Tatarnikova et al., 2013). Расстояние до системы составляет 916 ± 23 пк (Vallenari et al., 2022).

Т СгВ — одна из первых симбиотических звезд, у которых была обнаружена быстрая переменность блеска (Walker, 1957), по аналогии с катаклизмическими переменными получившая название фликкер-эффекта. В мире симбиотических звезд это редкое явление. Согласно последним данным, переменность такого рода наблюдается немногим более чем у десяти объектов. Амплитуды

*E-mail: maslennikova.na16@physics.msu.ru

Таблица 1. Журнал наблюдений

Дата	Прибор	Спектральный диапазон	Щель, угл. сек.	<i>FWHM</i> , угл. сек.	Экспозиция, с
2020/08/25	TDS	<i>B</i> -канал	1	1.8	17 × 100
2020/08/25	TDS	<i>B</i> -канал	1	1.8	31 × 150
2020/08/25	TDS	<i>R</i> -канал	1	1.8	142 × 30
2020/08/25	RC-600	<i>B</i>	—	2.3	352 × 15
2020/09/06	TDS	<i>B</i> -канал	10	2.4	54 × 100
2020/09/06	TDS	<i>R</i> -канал	10	2.4	128 × 30

да фликкер-эффекта у Т СгВ относительно большая — $0^{\text{m}}1-0^{\text{m}}5$ в полосе *U* (в полосе *B* меньше) (Ianna, 1964; Bianchini and Middleditch, 1967; Lawrence et al., 1967; Walker, 1977; Bruch, 1980; Zamanov and Bruch, 1998; Zamanov et al., 2004) с широким спектром мощности по полосе частот, что свидетельствует о связи быстрой переменности с аккреционным диском в системе.

Исследование быстрой переменности блеска в основном проводится с помощью фотометрических мониторингов (см., например, Dobrzycka et al. (1996); Sokolowski et al. (2001)) в коротковолновых полосах, так как в них вклад холодного компонента меньше, чем в более длинноволновых. Исследования изменений в спектрах при фликкер-эффекте были проведены только для нескольких симбиотических звезд: СН Cyg, RS Oph, MWC 560 и Т СгВ. Эти системы имеют наибольшую амплитуду быстрой переменности среди симбиотических звезд, и их фликкер-эффект связан с аккреционным диском, что делает их похожими при фотометрических наблюдениях, но при этом быстрая переменность по-разному проявляется в спектральных наблюдениях. У СН Cyg был зарегистрирован фликкер-эффект в линиях серии Бальмера (Tomov et al., 1996), у RS Oph только в линии He II, а линии бальмеровской серии водорода постоянны (Sokolowski, 2003), у MWC 560 переменность в линиях обнаружена не была (Tomov et al., 1995). Исследовав вариации профиля линии H α при быстрой переменности у Т СгВ, Zamanov et al. (2005) пришли к выводу, что переменность этой линии связана с изменениями, происходящими во внешних частях аккреционного диска, однако не установили, есть ли связь этих изменений с фликкер-эффектом, который регистрируется в фотометрических мониторингах.

Целью данной работы был поиск быстрой переменности потоков в различных эмиссионных линиях и связи изменения потоков с фотометрическим фликкер-эффектом, а также определение характерного времени и амплитуды спектральной переменности.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Спектральные наблюдения Т СгВ проводились в 2020 г. на 2.5-м телескопе КГО ГАИШ с TDS — Транзиентным Двухлучевым Спектрографом (Potanin et al., 2020) — одновременно в двух спектральных каналах: в коротковолновом *B*-канале (диапазон длин волн 3600–5770 Å, спектральное разрешение $R = 1300$) и в длинноволновом *R*-канале (диапазон длин волн 5670–7500 Å, $R = 2500$). Щель в TDS при наблюдении точечных объектов располагается вертикально для минимизации атмосферной дисперсии. В качестве стандартов использовались звезды BD +75°325 (25 августа 2020 г.) и BD +33°2642 (6 сентября 2020 г.), распределение энергии в спектрах которых опубликовано Оке (1990). Они наблюдались на высотах, близких к высоте объекта.

Фотометрические наблюдения Т СгВ были проведены на 60-см телескопе RC-600 Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ (Berdnikov et al., 2020) 25 августа 2020 г. одновременно со спектральными наблюдениями. Журнал наблюдений приведен в таблице 1.

Полученные спектры были обработаны по методике, описанной в работе Potanin et al. (2020). По длине волны спектры калибровались с помощью линейчатого спектра газоразрядной Ne-Kr-Rb-лампы с полым катодом (HCL), поправки на виньетирование и неравномерность ширины щели вычислялись по лампе с непрерывным спектром (спектральное «плоское поле»). Вынос за атмосферу и калибровка по потоку проводились по стандартным звездам. Стандарт наблюдался 25 августа 2020 г. перед мониторингом Т СгВ и сразу после него. При спектrophотометрическом мониторинге 6 сентября 2020 г. стандарт периодически наблюдался в ходе мониторинга, который на это время прерывался. Спектры стандарта приводились к высоте объекта на момент наблюдения каждого кадра. Калиброванные спектры были исправлены за межзвездное покраснение с $E(B - V) = 0.15$ и приведены к барицентру Солнечной системы.

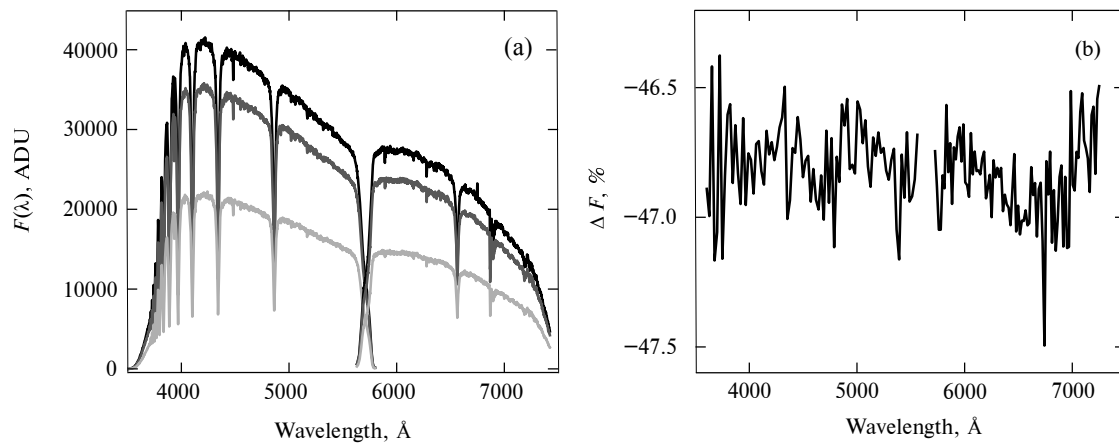


Рис. 1. Спектры HR 4963, полученные при разной облачности (а). Относительные изменения спектров, полученных при минимальном и максимальном поглощении (б).

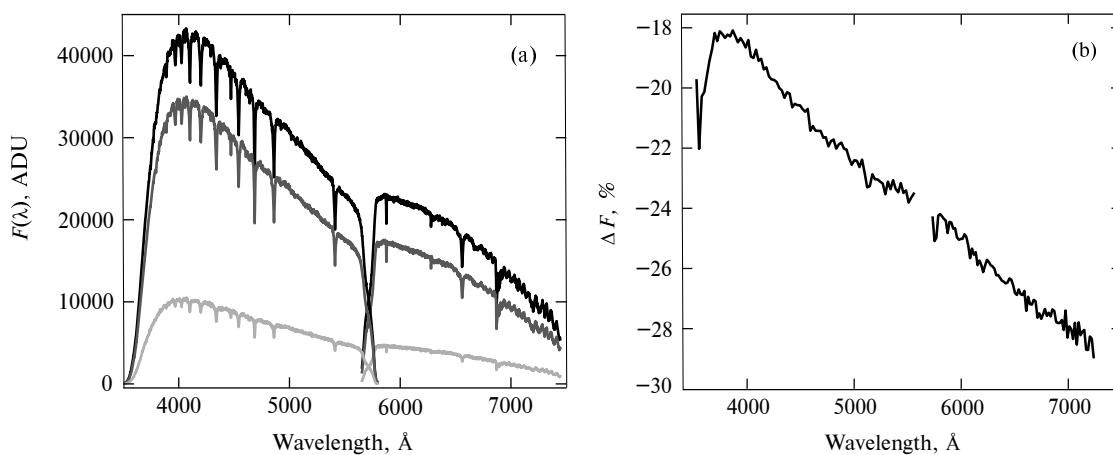


Рис. 2. Спектры BD +75°325 (а), полученные при разном положении объекта в щели (верхняя линия — звезда в центре щели, средняя линия — звезда смещена на 0''5, нижняя линия — центр звезды находился вне щели на расстоянии 1'' от ее центра); на панели (б) — относительные изменения верхнего и среднего спектров. Качество изображения составляло 1''8, ширина щели 1''.

Первичная калибровка фотометрических наблюдений была выполнена стандартным для ПЗС-фотометрии способом, включая учет кадров подложки (bias), темнового тока и плоских полей. Измерение блеска проводилось методом апертурной фотометрии. Точность измерения оценивалась как среднеквадратичное отклонение блеска контрольных звезд, близких по яркости к переменной, от среднего уровня, и она составила $0^{\text{m}}006$.

Для проверки влияния на форму спектра дымки и облачности, а также возможных смещений звезды поперек щели были проведены дополнительные наблюдения стандартных звезд. Как видно на рис. 1, изменения спектра, вызванные облачностью, не зависят от длины волны и даже при ослаблении потока в 1.5 раза они не превышают долей процента. Смещение звезды поперек щели изменяет наклон спектра (рис. 2). При смещении

звезды на 0''5 при качестве изображения 1''8 и ширине щели 1'' наблюдается падение потока приблизительно на 25% и искажается форма спектра. Однако, несмотря на достаточно значительное искажение, можно видеть, что в интервале длин волн 3700–7300 Å оно происходит монотонно и поэтому примерно одинаково влияет на линии и континуум рядом с ними. Для минимизации влияния атмосферной дисперсии щель спектрографа при наблюдениях была ориентирована вертикально (в проекции на небо).

3. СПЕКТРАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ

На рис. 3 представлен исправленный за межзвездное покраснение спектр Т CrB. В нем хорошо видны полосы поглощения TiO и линия Ca I λ 4227.

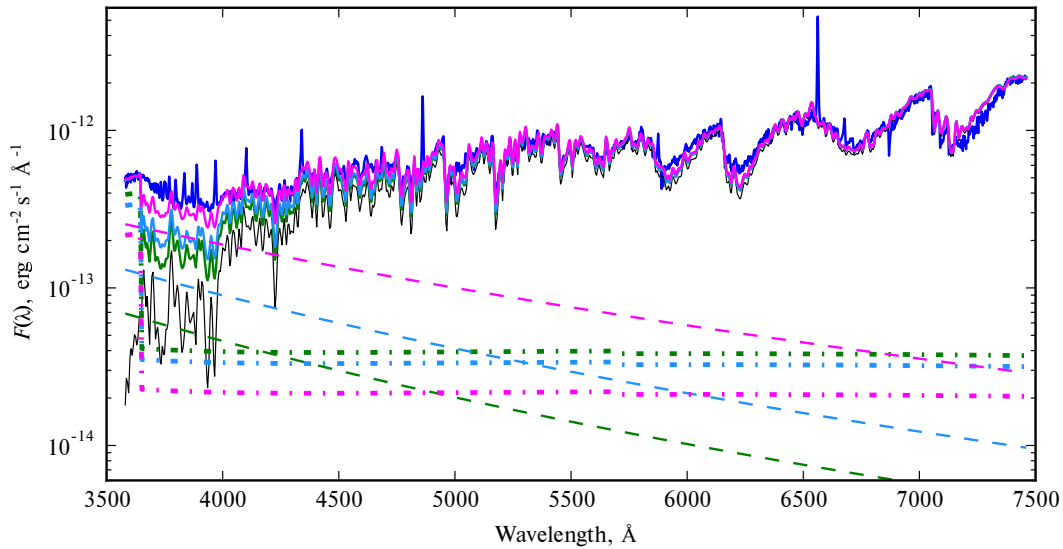


Рис. 3. Исправленный за межзвездное покраснение наблюдаемый (синяя линия) и смоделированные спектры (сплошные линии) Т СгВ и модельные спектры отдельных компонентов системы: черная линия — красный гигант (M4 III), штрихпунктирные линии — сумма излучения туманности и горячего компонента, штриховые линии — аккреционный диск при $i = 57^\circ$, $\dot{M} = 6.6 \times 10^{-8} M_\odot \text{ год}^{-1}$. Разным цветом обозначены модели для различных R_{out} : зеленым — $R_{\text{out}} = 50 R_1$, голубым — $R_{\text{out}} = 100 R_1$, фиолетовым — $R_{\text{out}} = 1 R_\odot$.

При сравнении спектров гигантов M2 III–M6 III из работы Pickles (1998) и красной части спектра Т СгВ получено, что на момент наблюдений спектральный класс холодного компонента системы был M4 III.

В линейчатом эмиссионном спектре присутствуют линии бальмеровской серии водорода, He I ($\lambda 5875.6$, $\lambda 6678.1$), He II ($\lambda 4685.7$), а также слабые запрещенные линии [Ne III] ($\lambda 3869$) и [O III] ($\lambda 4363$, $\lambda 4959$, $\lambda 5007$). Они принадлежат туманности. Обычно спектры симбиотических звезд описывают в рамках стандартной трехкомпонентной модели, включающей в себя горячий компонент, холодный компонент и туманность. Температура горячего компонента Т СгВ составляет $T_{\text{eff}} \approx 10^5$ К (Selvelli et al., 1992), и его излучение практически не проявляет себя в оптическом диапазоне длин волн. Однако хорошо видно, что только вклада холодного компонента и туманности недостаточно для объяснения наблюдаемого распределения энергии в континууме и требуется введение дополнительного источника излучения — аккреционного диска. Распределение энергии в диске рассчитывалось по формулам, представленным в работе Tytenda (1977):

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

$$T(R) = \left(\frac{3GM_1 \dot{M}}{8\pi\sigma R^3} (1 - (R_1/R)^{0.5}) \right)^{0.25},$$

где R_1 — внутренний радиус диска, R_{out} — внешний радиус диска, d — расстояние до системы, i — угол наклона к лучу зрения, M_1 — масса горячего компонента, \dot{M} — темп аккреции на горячий компонент. Внутренний радиус аккреционного диска может быть как равен радиусу горячего компонента, так и значительно превышать его при наличии достаточно сильного магнитного поля (например, как в случае промежуточных полярнов (Revnivtsev et al., 2010), горячие компоненты которых являются белыми карликами). В качестве минимальной оценки радиуса горячего компонента можно взять радиус белого карлика соответствующей массы: в случае Т СгВ масса белого карлика составляет $1.37 \pm 0.13 M_\odot$ (Stanishev et al., 2004). Величина темпа аккреции для состояния 2017 г. приводится в работе Luna et al. (2018) — $\dot{M} \approx 6.6 \times 10^{-8} M_\odot \text{ год}^{-1}$. Таким образом, при фиксации указанных параметров из аппроксимации спектра моделью можно получить грубую оценку внешнего размера аккреционного диска. В результате параметры компонентов системы следующие: красный гигант спектрального класса M4 III, туманность с $T_e = 10^4$ К и мерой эмиссии $4 \times 10^{58} \text{ см}^{-3}$ и аккреционный диск с $R_1 = 0.003 R_\odot$, $R_{\text{out}} \approx 1 R_\odot$ (при наклонении $i = 57^\circ$ — среднее значение из работы Tatarnikova et al. (2013)).

Во время спектрального мониторинга Т СгВ с узкой целью 25 августа 2020 г. на небе присутствовала легкая облачность. Как было показано в

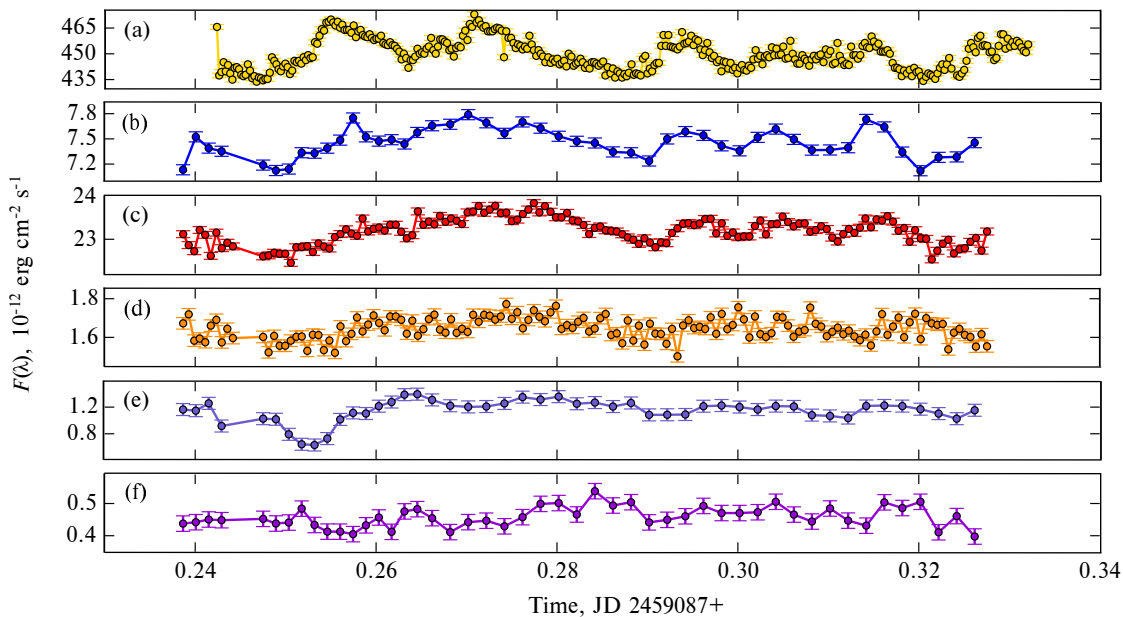


Рис. 4. Кривые изменения потоков в полосе B (а) и в линиях $H\beta$ (b), $H\alpha$ (c), $He\ I\ \lambda\ 5875.6$ (d), $He\ II\ \lambda\ 4685.7$ (e), $[Ne\ III]$ (f) в течение спектрального и фотометрического мониторингов 25 августа 2020 г.

Таблица 2. Потоки в линиях, характерные времена и амплитуды фликкер-эффекта, максимальная разность потоков (ΔF_{\max}) по измерениям 25 августа 2020 года (если наблюдалось несколько периодов, то они указаны через запятую)

Линия	Средний поток, 10^{-12} эрг см^{-2} с^{-1}	Характерное время, мин	Амплитуда, %	ΔF_{\max} , %
$H\alpha$	23.2 ± 0.08	$22 \pm 8, 52 \pm 10$	0.6, 3	6
$He\ I\ (\lambda\ 5875.6)$	1.64 ± 0.03	29 ± 10	4	16
$H\beta$	7.5 ± 0.06	$22 \pm 8, 52 \pm 10$	2, 5	9
$He\ II\ (\lambda\ 4686)$	1.2 ± 0.09	28 ± 10	26	63
Полоса B	450 ± 1.4	$24 \pm 10, 57 \pm 15$	3, 4	9

разделе 2, облака являются практически «серыми»: можно считать, что распределение энергии в спектре Т СгВ при наблюдении через облака не изменяется, меняется только поток. Судя по рис. 3, в красной области спектра можно пренебречь вкладом потенциально переменных источников (горячего компонента, туманности и аккреционного диска). При этом можно считать, что за время мониторинга заатмосферный поток от холодного компонента не изменяется. Тогда для учета изменений, вызванных поглощением в переменной облачности, необходимо все спектры, полученные в R -канале, отнормировать таким образом, чтобы потоки во всех этих спектрах совпадали в диапазоне 7400–7440 Å. В B -канале, где вклад туманности и аккреционного диска велик, нельзя пренебрегать реальным изменением потока от системы в течение мониторинга. Поэтому для учета поглощения в B -канале использовались нормировочные постоянные спек-

тров из R -канала, полученных одновременно с ними.

Для поиска эффекта быстрой переменности мы проанализировали потоки в линиях $H\alpha$, $H\beta$, $He\ I\ \lambda\ 5875.6$, $He\ II\ \lambda\ 4686$ и $[Ne\ III]\ \lambda\ 3869$. При вычислении потока в линии континуум под ней аппроксимировался прямой, проходящей через точки слева и справа от линии. Так как изменения прозрачности атмосферы, качества изображения и другие факторы одинаково действуют на соседние участки спектра, то для учета возможных колебаний сигнала, связанных с земной атмосферой, потоки в линиях делились на поток в континууме, нормированный на среднее значение в течение мониторинга. Полученные графики изменения потоков в линиях представлены на рис. 4. Ошибки потоков считались как отклонение наблюдаемых точек от скользящего среднего. Как это описано в работе Maslennikova et al. (2022), с помощью

вейвлет-анализа были определены характерные времена переменности, по сверткам кривых с которыми определены амплитуды соответствующих колебаний (см. в таблице 2). Надо отметить, что максимальное изменение потока (например, Zamanov et al. (2004) именно так определяют амплитуду фликкер-эффекта) на каждой из кривой превышает указанные нами в таблице 2 амплитуды.

Одновременно со спектральным мониторингом 25 августа 2020 г. проводился фотометрический мониторинг в полосе B (соответствующая кривая показана на верхней панели рис. 4). Как видно из рисунка, наблюдается переменность потока во всех линиях, кроме $[\text{Ne III}]$, изменения в которой носят хаотичный характер, с амплитудой, близкой к погрешности измерений. Изменение потоков в линиях $\text{H}\alpha$ и $\text{H}\beta$ совпадает с фликкер-эффектом, наблюдаемым в полосе B . Корреляция между ними достигает 0.6. Однако только переменности потока в линии $\text{H}\beta$ (и других более слабых линий в синей части спектра) недостаточно для объяснения амплитуды фликкер-эффекта, наблюдаемого в полосе B . Поэтому требуется дополнительный источник переменности блеска в континууме, которым, вероятно, является аккреционный диск.

Графики изменения потоков на рис. 4 в фильтре B и в линиях имеют схожую форму. Однако наблюдается некоторый сдвиг между ними. Это подтверждают и графики зависимости коэффициента корреляции потоков от временного сдвига между кривыми (рис. 5). Для оценки влияния ошибок измерений потоков в линиях на коэффициенты корреляции методом Монте-Карло было сгенерировано 10^6 кривых изменения потоков. Относительно изменений потока в синей части спектра изменения потока в линии $\text{H}\alpha$ опаздывают на 228 ± 29 с, в линии $\text{He I } \lambda 5875.6$ — на 490 ± 165 с, а в линии $\text{He II } \lambda 4686$ — на 570 ± 100 с.

4. СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Спектрофотометрический мониторинг проводился при фотометрической погоде (высокая прозрачность и стабильные изображения). Изменения потока в красной области спектра не превышали 1%, а в области спектра приблизительно $\lambda 4920$, где также еще доминирует излучение холодного компонента, $\sigma_{\text{cont}} = 1.2\%$. Нормировки, потоки в линиях и континууме считались так же, как и при спектральном мониторинге. В спектре T CrB, полученном со щелью $10''$, только линии $\text{H}\alpha$ и $\text{H}\beta$ оказались достаточно яркими для исследования изменения потоков при фликкер-эффекте. Остальные линии слишком слабые — потоки в них определяются со значительными ошибками

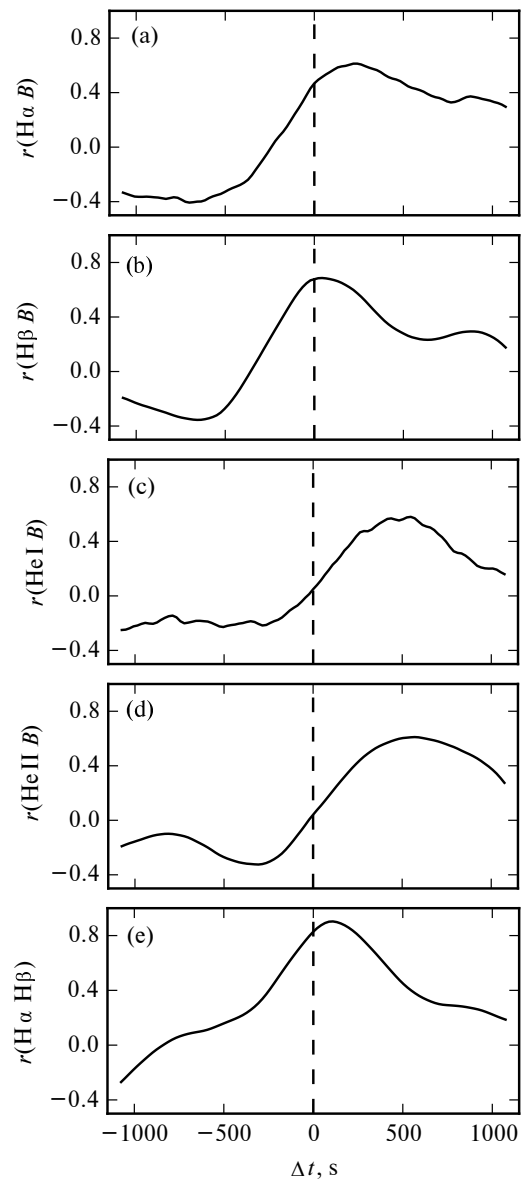


Рис. 5. Коэффициенты корреляции Пирсона в зависимости от временной задержки для наблюдений 25 августа 2020 г.

(здесь сказывается тот факт, что при спектрофотометрических наблюдениях ширина профиля линии определяется не шириной щели, а качеством изображения, которое во время наблюдений было плохим — см. таблицу 1). Однако, благодаря стабильной высокой прозрачности атмосферы, мы смогли, в отличие от спектрального мониторинга, исследовать переменность потока в области спектра около бальмеровского скачка ($3600\text{--}3650 \text{ \AA}$).

Полученные кривые изменения потоков представлены на рис. 6; характерные времена и амплитуды приведены в таблице 3. Как видно, три кривые имеют похожие формы с временным сдви-

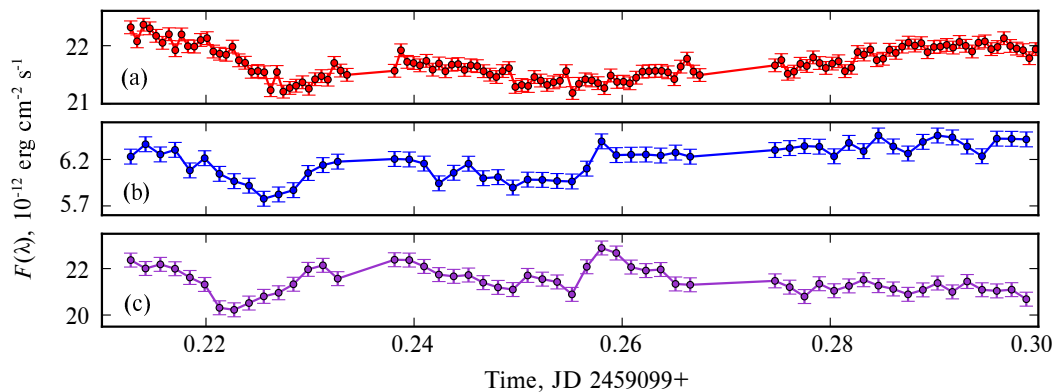


Рис. 6. Кривые изменения потоков в линиях $H\alpha$ (a), $H\beta$ (b) и в диапазоне длин волн 3600–3650 Å (c) в течение спектрофотометрического мониторинга 6 сентября 2020 г.

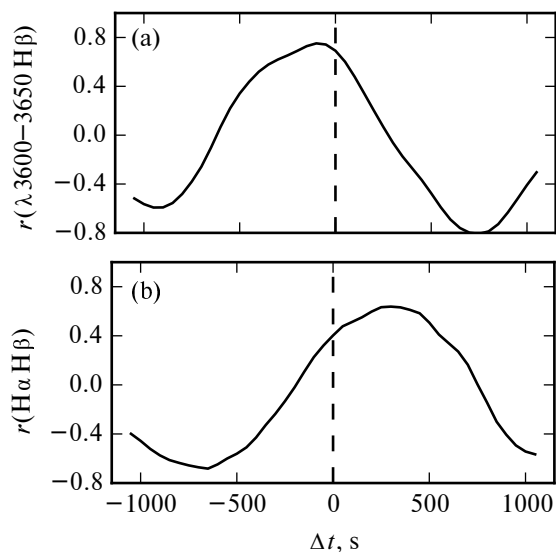


Рис. 7. Коэффициенты корреляции Пирсона в зависимости от временной задержки для наблюдений 6 сентября 2020 г.

гом, возрастающим с увеличением длины волны. На кривой изменения потока в ультрафиолетовой области хорошо заметно кратковременное увеличение потока, отсутствующее на кривой для линии $H\alpha$. Коэффициенты корреляции между кривыми достаточно высоки, и их максимумы (рис. 7) соответствуют сдвигам примерно на -130 ± 120 с (для УФ-континуума) и $+296 \pm 88$ с (для $H\alpha$) относительно изменений потока в $H\beta$.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фликкер-эффект — редкое явление у симбиотических звезд, он был зарегистрирован лишь у 5% известных систем. Представляет интерес не только его открытие у объектов данного класса, но и исследование уже известных систем, демонстрирующих быструю переменность. Этот тип

переменности не всегда наблюдается даже у тех симбиотических звезд, где он был когда-либо зарегистрирован. Его характеристики сильно меняются в зависимости от фазы активности системы.

Для исследования изменений, происходящих в спектре повторной симбиотической новой Т СгВ при быстрой переменности, 25 августа 2020 г. и 6 сентября 2020 г. были проведены соответственно спектральный и спектрофотометрический мониторинг. Одновременно со спектральным мониторингом 25 августа 2020 г. осуществлялся фотометрический мониторинг в полосе B .

При обработке спектральных наблюдений были оценены и учтены эффекты, вносимые атмосферой и ошибками удержания звезды на входной щели спектрографа, которые могли бы привести к обнаружению ложной переменности. Корректность обработки подтверждается отсутствием переменности потока в запрещенной линии $[\text{Ne III}] \lambda 3869$, образующейся во внешних разреженных частях протяженной туманности, переменность которой мы не ожидаем увидеть.

Из анализа потоков в линиях $H\alpha$, $H\beta$, $\text{He I } \lambda 5876$ и $\text{He II } \lambda 4686$ следует, что они меняются на 5–60% (от максимума до минимума, см. таблицы 2 и 3). Вейвлет-анализ показывает, что характерное время изменения потоков для разных линий лежит в диапазоне 20–60 минут, а характерные амплитуды переменности (на этих периодах) составляют примерно 1–25%. Формы кривых изменения потоков в некоторых линиях имеют общий вид с кривой блеска в полосе B (рис. 4). Судя по результатам, представленным на рис. 3 и в таблице 2, одной переменности потоков в линиях недостаточно для объяснения наблюдаемой переменности в полосе B , требуется дополнительный источник, которым является непрерывное излучение аккреционного диска.

Как можно увидеть на рис. 5 и 7, наблюдается временная задержка между кривыми изменения

Таблица 3. Потоки, характерные времена и амплитуды фликкер-эффекта, максимальная разность потоков (ΔF_{\max}), измеренные 6 сентября 2020 года

Линия	Средний поток, 10^{-12} эрг см $^{-2}$ с $^{-1}$	Характерное время, мин	Амплитуда, %	ΔF_{\max} , %
H α	$21.7_{\pm 0.11}$	$34_{\pm 8}$	3	5
H β	$6.2_{\pm 0.05}$	$34_{\pm 8}$	6	11
λ 3600–3650	$21.4_{\pm 0.3}$	$38_{\pm 8}$	7	12

потоков в разных линиях. Этот вывод подтверждается и анализом соответствующих временных рядов модернизированным методом ICCF (Peterson et al., 1998; Окпунский, 1993), применяемым при эхо-анализе многоцветных фотометрических наблюдений активных ядер галактик. Наличие таких задержек может быть связано со сложным строением симбиотической системы, горячий компонент которой имеет аккреционный диск. Поставщиком вещества является холодный компонент, а ионизирующие кванты излучаются горячим компонентом и внутренними областями аккреционного диска. При суммарной массе системы около $2 M_{\odot}$ большая полюсь — 1 а.е., что равно приблизительно 450 световым секундам. Момент наших спектральных наблюдений соответствует фазе 0.28 (по эфемеридам из работы Lines et al. (1988)), то есть компоненты находились почти в картинной плоскости, и обнаруженные задержки с учетом ошибок не противоречат указанным масштабам.

Согласно Zamanov et al. (2005), линии бальмеровской серии водорода Т СгВ имеют сложный многокомпонентный профиль. Они демонстрируют сильную фазовую зависимость. Помимо этого, Zamanov et al. (2005) зарегистрировали быструю переменность эквивалентной ширины линии H α с амплитудой 6–8 % на временах около 20 минут. Причем разные компоненты профиля показывали разную переменность. Обнаруженная нами в 2020 г. переменность потоков в линиях H α и H β наблюдается на схожих временах и имеет близкие амплитуды.

Большая переменность потока в линии He II λ 4686, впервые зарегистрированная нами у Т СгВ, наблюдалась ранее (Sokoloski, 2003) у другой повторной симбиотической новой — RS Oph (поток в линии менялся более чем в четыре раза, характерное время изменений составляло примерно четыре минуты). Большое отличие амплитуд изменения потоков в линиях бальмеровской серии и He II, а также наличие временной задержки может быть связано с различным расстоянием от источника ионизации (белый карлик и внутренние части аккреционного диска) и различной оптической глубиной.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Н. П. Иконниковой (ГАИШ) за проведение фотометрического мониторинга Т СгВ. Авторы выражают признательность рецензентам за внимательное прочтение статьи и ценные замечания. Работа выполнена при поддержке Программы развития Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова (научно-образовательная школа «Фундаментальные и прикладные исследования космоса»). Н. Масленникова благодарит за поддержку Фонд развития теоретической физики и математики «БАЗИС» (проект № 22-2-10-21-1).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. L. N. Berdnikov, A. A. Belinskii, N. I. Shatskii, et al., *Astronomy Reports* **64** (4), 310 (2020).
2. L. Berman, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **44** (261), 318 (1932).
3. A. Bianchini and J. Middleditch, *Inform. Bull. Var. Stars* **1151** (1967).
4. A. A. Boyarchuk, *Sov. Astron.* **44**, 1016 (1967).
5. A. Bruch, *Inform. Bull. Var. Stars* **1805** (1980).
6. D. Dobrzycka, S. J. Kenyon, and A. A. E. Milone, *Astron. J.* **111**, 114 (1996).
7. A. A. Henden, M. Templeton, D. Terrell, et al., *VizieR Online Data Catalog II/336* (2016).
8. P. A. Ianna, *Astrophys. J.* **139**, 780 (1964).
9. G. M. Lawrence, J. P. Ostriker, and J. E. Hesser, *Astrophys. J.* **148**, L161 (1967).
10. H. C. Lines, R. D. Lines, and T. G. McFaul, *Astron. J.* **95**, 1505 (1988).
11. G. J. M. Luna, K. Mukai, J. L. Sokoloski, et al., *Astron. and Astrophys.* **619**, id. A61 (2018).
12. N. A. Maslennikova, A. A. Tatarnikova, A. M. Tatarnikov, et al., *Astronomy Letters* **48** (1), 38 (2022).
13. U. Munari, S. Dallaporta, and G. Cherini, *New Astronomy* **47**, 7 (2016).
14. J. B. Oke, *Astron. J.* **99**, 1621 (1990).

15. V. L. Oknyanskii, *Astronomy Letters* **19** (6), 416 (1993).
16. B. M. Peterson, I. Wanders, K. Horne, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **110** (748), 660 (1998).
17. A. J. Pickles, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **110** (749), 863 (1998).
18. S. A. Potanin, A. A. Belinski, A. V. Dodin, et al., *Astronomy Letters* **46** (12), 836 (2020).
19. M. Revnivtsev, R. Burenin, I. Bikmaev, et al., *Astron. and Astrophys.* **513**, id. A63 (2010).
20. R. F. Sanford, *Astrophys. J.* **109**, 81 (1949).
21. B. E. Schaefer, *Bull. Amer. Astron. Soc.* **51** (4), id. 122.07 (2019).
22. P. L. Selvelli, A. Cassatella, and R. Gilmozzi, *Astrophys. J.* **393**, 289 (1992).
23. T. Shahbaz, M. Somers, B. Yudin, and T. Naylor, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **288** (4), 1027 (1997).
24. J. L. Sokoloski, *ASP Conf. Ser.* **30**, 202 (2003).
25. J. L. Sokoloski, L. Bildsten, and W. C. G. Ho, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **326**, 553 (2001).
26. V. Stanishev, R. Zamanov, N. Tomov, and P. Marziani, *Astron. and Astrophys.* **415** (2), 609 (2004).
27. A. A. Tatarnikova, A. M. Tatarnikov, V. F. Esipov, and E. A. Kolotilov, *Astronomy Letters* **35** (3), 182 (2009).
28. A. A. Tatarnikova, A. M. Tatarnikov, and V. I. Shenavrin, *Proc. IAU Symp.* **281**, 203 (2013).
29. T. Tomov, D. Kolev, U. Munari, and A. Antov, *Monthly Notices of the Royal Astron. Soc.* **278** (2), 542 (1996).
30. T. Tomov, D. Kolev, U. Munari, et al., *Astron. and Astrophys.* **300**, 769 (1995).
31. R. Tylenda *Acta Astronomica*, **27**, 235 (1977).
32. A. Vallenari et al. (Gaia Collab.), arXiv e-prints astro-ph:22208.00211 (2022).
33. A. R. Walker, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **179** (4), 587 (1977).
34. M. F. Walker, *Proc. IAU Symp.* **3**, 46 (1957).
35. R. Zamanov, M. F. Bode, V. Stanishev, and J. Marti, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **350** (4), 1477 (2004).
36. R. Zamanov, A. Gomboc, M. F. Bode, et al., *Publ. Astron. Soc. Pacific* **117** (829), 268 (2005).
37. R. K. Zamanov and A. Bruch, *Astron. and Astrophys.* **338**, 988 (1998).

Rapid Spectral Variability of T Corona Borealis

M. A. Maslennikova^{1,2}, A. M. Tatarnikov^{1,2}, and A. A. Tatarnikova¹

¹Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

²Faculty of Physics, Moscow State University, Moscow, 119191 Russia

The results of the analysis of photometric and spectral monitorings of the recurrent symbiotic nova T CrB, carried out using the low-resolution spectrograph TDS of the 2.5-m telescope and the CCD photometer of the 0.6-m telescope of the CMO SAI, are presented. It is shown that the fluxes in the emission lines H α , H β , He I λ 5876 change by 6–16%, and in the emission line He II λ 4686 by about 60% on timescales of 20–60 minutes. The line flux curves on August 25, 2020 are similar to the *B* light curve of T CrB, but with a time delay of up to 600 s for different lines. The observed spectrum is approximated by the radiation of the system components with the following parameters: a red giant of spectral type M4 III, a nebula with $T_e = 10^4$ K and emission measure of $4 \times 10^{58} \text{ cm}^{-3}$, and the accretion disk with $R_1 = 0.003 R_\odot$, $R_{\text{out}} \approx 1 R_\odot$ (at inclination $i = 57^\circ$).

Keywords: *binaries: symbiotic—stars: individual: T CrB—accretion disks*