

УДК 524.38

Анализ наблюдений карликовой Новой 2010 г. в Пегасе

В.В. Шиманский¹, А.А. Митрофанова¹, Н.В. Борисов², М.М. Габдеев²

¹ Казанский федеральный университет, Казань, Россия
Slava.Shimansky@ksu.ru

² Специальная астрофизическая обсерватория, пос. Нижний Архыз, КЧР, Россия
borisov@sao.ru

Поступила в редакцию 27 декабря 2012 г.

Аннотация. Выполнен анализ фотометрических и спектроскопических наблюдений звезды GSC 02197-00886 в момент максимума вспышки (08.05.2010) и в стадии релаксации (04.08.2010) к спокойному состоянию. В спектрах вспышки доминирует излучение оптически толстого аккреционного диска с горячим пограничным слоем, что соответствует спектрам карликовых Новых типа WZ Sge. В фазе релаксации наблюдается оптически тонкий аккреционный диск с излучением в эмиссионных линиях HI и HeI на фоне абсорбционного спектра белого карлика. Параметры GSC 02197-00886, полученные комбинацией лучевых скоростей компонент с предположением о близости вторичной компоненты к звездам Главной Последовательности, существенно отличаются от найденных для других систем типа WZ Sge. Высказана гипотеза о возбуждении вторичной компоненты в ходе вспышки и ее продолжительной релаксации к состоянию Главной Последовательности.

ANALYSIS OF THE DWARF NOVA 2010 IN PEGASUS OBSERVATIONS, *by V.V. Shimansky, A.A. Mitrofanova, N.V. Borisov, M.M. Gabdeev.* We have analyzed photometric and spectroscopic observations of GSC 02197-00886 at the maximum of outburst (08.05.2010) and near quiescence (04.08.2010). In spectra of the outburst dominates radiation of optically thick accretion disk with hot boundary layer, which corresponds to the spectrum of WZ Sge-Type Dwarf Novae. In the near quiescence spectrum there is radiation of optically thin accretion disk with emission in HI and HeI lines against the background of absorption spectrum of the white dwarf. Parameters of GSC 02197-00886, obtained by combination of radial velocities of the components and Main Sequence tracks for cold star, differ significantly from already found parameters of other WZ Sge-Type systems. The hypothesis was put forward about initiation of the secondary component in the outburst and its prolonged relaxation to the Main Sequence.

Ключевые слова: вспышки Новых, катаклизмические переменные, аккреционные диски, белые карлики

1 Введение

Переменные типа WZ Sge принадлежат к подклассу карликовых Новых звезд из широкого спектра катаклизмических переменных, т. е. аккрецирующих тесных двойных систем на поздних стадиях эволюции, содержащих белые карлики (главные компоненты) и холодные G-M карлики, близкие к Главной Последовательности (вторичные компоненты). У этих переменных наблюдается два вида

вспышек: стандартные вспышки, которые длятся несколько дней и супервспышки, продолжающиеся от нескольких недель до 2–3 месяцев и имеющие много большую амплитуду и блеск в максимуме. По частоте супервспышки оказываются на порядок более редкими, чем обычные вспышки. У систем типа WZ Sge нормальные вспышки, как правило, не обнаруживаются, а супервспышки повторяются после долгого интервала (от 12 до 40 лет) и имеют значительные амплитуды изменений блеска до $\Delta m = 6^m - 9^m$. Во время таких вспышек на кривой блеска регистрируются периодические колебания блеска (называемые “сверхгорбами”) на интервале времени, близком или равном орбитальному периоду. Природа формирования “сверхгорбов” связана с изменением проекции аккреционных дисков на луч зрения при их прецессионном и орбитальном движениях. Ранние “сверхгорбы” наблюдаются в фазе роста блеска системы во время вспышки, обычные – в ее максимуме, и поздние – на фазах средней и поздней релаксации звезды к нормальному состоянию после понижения ее светимости на $\Delta m = 3^m - 6^m$. Кроме того, у подобных систем отмечаются повторные слабые вспышки на $\Delta m = 1^m - 2^m$, природа которых до конца не установлена. Однако в целом считается, что супервспышки карликовых новых типа WZ Sge обусловлены взрывным ростом темпа аккреции вещества на белый карлик и связанного с ним расширения и нагрева аккреционного диска.

Вспышка Новой 2010 г. в Пегасе была зарегистрирована Ай и Ямаока (2010) по снимкам, сделанным 6 мая в $UT = 18^h 30^m$, когда звезда достигла блеска $m \approx 10.8^m$. Ямаока и Итагаки (2010) нашли объект в наблюдениях 1 мая, когда его блеск не превышал $m = 15.0^m$. На удалении в 8" от звезды зарегистрирован неотжествленный рентгеновский источник 1RXS J213807.1+261958 (Хаконсен, Рутледж, 2009), очевидно связанный с открытой переменной. Максимум блеска $m \approx 8.8^m$ звезда достигла 8 мая в $UT \approx 21^h$ (Итагаки и др., 2010). В полученном для нее наборе спектров Товмасын и др. (2010) обнаружили широкие абсорбционные линии H I и He I с узкими эмиссиями и эмиссионные линии He II и CNO с доплеровскими смещениями, изменяющимися в шкале периода, близкого к фотометрическому (82 ± 5 мин.). В итоге данный объект, отождествленный со звездой GSC 02197-00886, классифицирован как карликовая Новая типа WZ Sge. Долговременный мониторинг системы, проведенный в работе Хохол и др. (2012), подтвердил ее классификацию. Ослабление светимости GSC 02197-00886 до уровня $m_V \approx 16.2^m$ продолжалось около 140 дней. В максимуме вспышки амплитуда “сверхгорбов” составляла до $\Delta m_V = 0.2^m$ с уменьшением через 8–9 суток до $\Delta m_V \approx 0.12^m$ и ростом до $\Delta m_V \approx 0.25^m$ через 20–25 суток. После возвращения системы в спокойное состояние ее блеск в основном испытывал иррегулярные колебания до $\Delta m_V \approx 0.2^m$ на фоне слабых изменений в шкале фотометрического периода. Отметим, что в ходе релаксации период “сверхгорбов” GSC 02197-00886 уменьшился от $P = 0.^d05535$ до $P = 0.^d05435$ (Хохол и др., 2012).

В рамках данной работы мы выполнили собственные спектроскопические и фотометрические наблюдения GSC 02197-00886 в момент максимума (08.05.2010) и в фазе поздней релаксации (04.08.2010). Полученные данные позволяют установить физическое состояние аккреционной структуры КП при вспышке и ее дальнейшую эволюцию. Нами найдено, что процесс релаксации привел к полному переходу аккреционного диска в оптически тонкое состояние, т. е. потерю им практически всего вещества. В разделе 2 перечислены выполненные нами наблюдения и их обработка. Раздел 3 и 4 содержат результаты исследования полученных фотометрических и спектроскопических данных. В разделе 5 представлены оценки возможных параметров системы.

2 Наблюдения

2.1 Спектроскопия

Все спектроскопические наблюдения GSC 02197-00886 проведены с применением редуктора светосилы первичного фокуса *SCORPIO* (Афанасьев, Моисеев, 2005) Большого Азимутального Телескопа САО, работающего в режиме спектроскопии с длинной щелью. Применение при наблюдениях гризмы *VPHG1200g* (1200 штрихов/мм) и ПЗС-приемника *EEV 42 – 40 – CCD* (2048 × 2048 пиксела размером 13.5 × 13.5) обеспечивало итоговое спектральное разрешение $\Delta\lambda = 5.0 \text{ \AA}$ в диапазоне $\lambda 4050 - 5750 \text{ \AA}$. Первый ряд спектроскопических данных получен в ночь 8/9 мая 2010 г. (в момент достижения максимума блеска $m \approx 8.8^m$) и включает 2 блока из 25 и 12 спектрограмм.

При повторных наблюдениях, проведенных в ночь 4/5 августа в фазе поздней релаксации системы к спокойному состоянию с уровнем блеска $m \approx 16.0^m$, накоплено 20 спектрограмм в одном блоке. Продолжительность экспозиций в ночь 8/9 мая составляла 3 минуты, в ночь 4/5 августа – 5 минут. В результате в обе ночи имеются блоки данных, охватывающие более одного орбитального периода. Наблюдения 8/9 мая проведены при размере звездных изображений более $d = 2.5''$, в условиях переменной облачности и зенитных расстояниях объекта $z = 45^\circ\text{--}69^\circ$, а 4/5 августа в отличных условиях с размером изображений $d = 2.5''$. Последнее обстоятельство имело важное значение для корректного исключения из спектров GSC 02197-00886 излучения близкого оптического спутника, помещенного нами в щель спектрографа одновременно с изучаемой системой. Итоговое отношение сигнал/шум в большинстве спектрограмм первой ночи составило $S/N = 80\text{--}120$, а второй ночи $S/N \approx 60$. Для проведения калибровок длин волн и потоков излучения объекта одновременно с ним получены спектры стандартов HZ 44 и BD 25^o.2465 из обзора Болина (1996) и Ar–Ne–He-лампы.

Обработка спектрограмм сделана в ручном режиме средствами программного пакета редукции и анализа астрономических ПЗС-данных *MAXIM DL*.

2.2 Фотометрия

Фотометрические наблюдения выполнены в ночи 10/11–12/13 сентября 2010 г. на штатном мультиполосном фотометре телескопа Цейсс-1000 САО с применением ПЗС-матрицы *EEV CCD 42* – 40 азотного охлаждения размером 2048×2048 пикселей и набора широкополосных фильтров, реализующих фотометрическую систему Коузинса. Во все ночи данные получены чередованием светофильтров для полос *B*, *V* и *Rc* (ниже *R*) при хороших климатических условиях с размером изображений звезд $d = 2.0''$ в ночи 10/11, 12/13 и $d = 1.5''$ – 11/12. В результате только в эту ночь имела возможность корректного разделения излучения GSC 02197-00886 и оптического спутника. Продолжительность экспозиций во всех фильтрах составляла 200 секунд, а полное время наблюдений – 3.6 часа. Всего было получено 66 изображений поля объекта (по 22 в фильтрах *B*, *V* и *R*), охватывающих несколько орбитальных периодов, но их временная скважность (около 11 минут) оказалась слишком большой для исследуемой короткопериодической системы.

Фотометрические данные обработаны с применением пакета *MAXIM DL*, реализующего метод апертурной фотометрии. В качестве объектов сравнения выбраны 2 звезды близкой яркости в поле ПЗС-матрицы. Для наблюдений в ночь 11/12 сентября получены отдельные оценки блеска GSC 02197-00886 и ее оптического спутника путем ручного подбора размеров и положений соответствующих апертур для каждого ПЗС-изображения. Для других ночей найдены суммарные значения блеска оптической пары с последующим вычитанием из них вклада блендирующей звезды, оцененного по данным за 11/12 сентября. Анализ оценок блеска нескольких звезд поля показал, что ошибки дифференциальной фотометрии системы составили от $\Delta m_V = 0.^m03$ до $\Delta m_B = 0.^m04$.

3 Анализ кривых блеска

Кривые блеска GSC 02197-00886 в ночи 10/11, 12/13 сентября 2010 г. в зависимости от юлианской даты *HJD* показаны на рис. 1а, а их свертка с фотометрическим периодом $P = 0.^d05450$ (Като и др., 2010) на рис. 1б.

Как видно на рис. 1а в ночь 10/11 произошло кратковременное увеличение яркости GSC 02197-00886, максимальное в полосе В (до $\Delta m_B = 0.3^m$) и незначительное в полосе R (менее $\Delta m_R = 0.05^m$). Анализ ПЗС-изображений в полосе В показал, что возрастание блеска объекта не обусловлено ошибками наблюдений или обработки и носит естественный характер. Физическая природа всплеска светимости остается непонятной. Сильная зависимость его амплитуды от длины волны возможно указывает на возрастание интенсивности излучения в основном в эмиссионных линиях H β и HeI, сосредоточенных в полосах В и V, т. е. на нетепловой характер явления. Подобные вспышки блеска тесных двойных систем, вызванные хромосферной активностью холодных звезд, неоднократно зарегистрированы ранее в оптическом (Блич и др., 2000) и рентгеновском (Пандей,

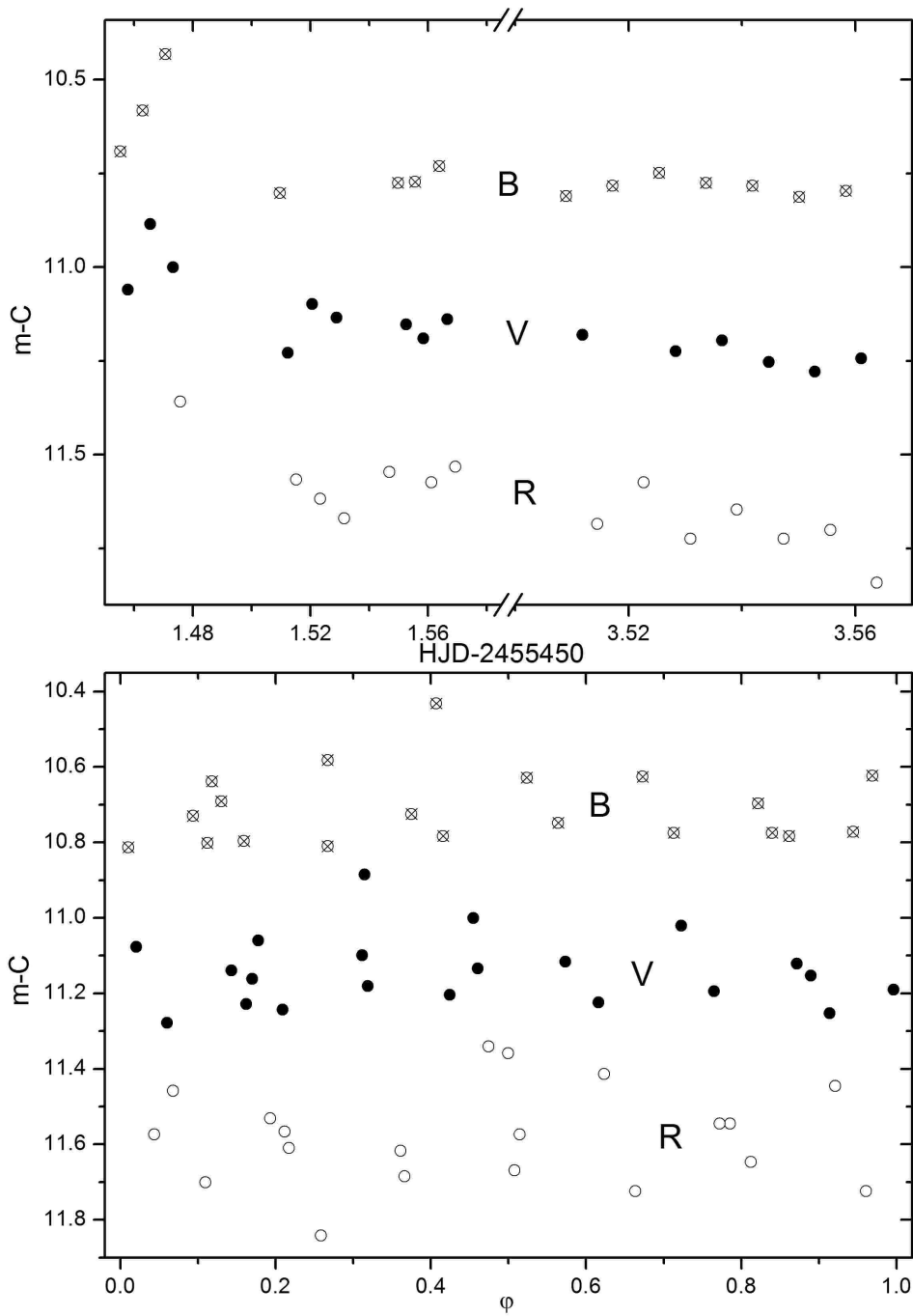


Рис. 1. Кривые блеска GSC 02197-00886 в полосах B , V и R в шкале юлианских дат (а) и фаз орбитального периода (б)

Синх, 2008) диапазонах спектра. Однако, как видно из рис. 1а, яркость GSC 02197-00886 в полосе В возрастала равномерно, что плохо соответствует модели хромосферной вспышки. Поэтому наблюдаемый всплеск светимости может быть обусловлен фликерингом блеска, обычным для дисковой аккреции.

Средние значения блеска GSC 02197-00886 в разные ночи различаются на $\Delta m = 0.07^m$ в полосах В и R. Амплитуда названных вариаций яркости находится на уровне точности единичных измерений в полосе В ($\sigma = 0.04^m$), но может быть реально связана с изменением характеристик объекта на шкале времени порядка суток. Однако малый объем и высокая временная скважность анализируемых фотометрических наблюдений не позволяет сделать окончательных выводов. В пределах каждой ночи изменения яркости носят случайный характер с амплитудой, возрастающей от полосы В ($\Delta m_B = 0.06^m$) к полосе R ($\Delta m_R = 0.15^m$), что в целом соответствует результатам обширного фотометрического мониторинга в работе Хохол и др. (2012).

В орбитальных кривых блеска GSC 02197-00886 на рис. 1b не наблюдается затмений и систематических изменений яркости любой амплитуды до $\Delta m = 0.05^m$. Разброс индивидуальных значений обусловлен как суперпозицией данных 3 ночей с разными средними величинами блеска (см. выше), так и ошибками измерений, обусловленными неточным учетом вклада оптического спутника. Однако возможной причиной большого разброса точек могут быть квазипериодические осцилляции блеска на шкале времени в несколько минут, что существенно меньше скважности наших наблюдений. В работе Хохол и др. (2012) для аналогичного периода наблюдений построена орбитальная кривая блеска с амплитудой около $\Delta m_v = 0.07^m$ и дисперсией индивидуальных значений до $\Delta m_v = 0.35^m$. Эти данные показывают, что вариации светимости GSC 02197-00886 через 100 дней после вспышки носили в основном иррегулярный характер, недоступный для исследования на основе ограниченного фотометрического ряда и непригодный для определения характеристик системы.

4 Анализ спектров

Спектры GSC 02197-00886 в ночи 8/9 мая и 4/5 августа показаны на рис. 2 для разных фаз орбитальных периодов.

В спектрах системы в ночь 8/9 мая наблюдается экстремально мощный голубой континуум с абсорбционными линиями водорода (H_β , H_γ и H_δ), нейтрального гелия ($HeI\lambda 4471 \text{ \AA}$) и ионизованного железа ($FeII\lambda 5569 \text{ \AA}$) с узкими ($\Delta\lambda = 10 \text{ \AA}$) эмиссиями. Эмиссионные и абсорбционные компоненты испытывают несинхронные доплеровские сдвиги в шкале фаз орбитального периода, в результате чего эмиссии смещаются по профилям абсорбционных линий. Интенсивность эмиссий показывает сильный бальмеровский декремент при переходе от H_β к H_δ , что говорит об их формировании в газе с большими эффектами термализации. Кроме того, в спектрах наблюдается широкая ($\Delta\lambda = 10 \text{ \AA}$) и интенсивная абсорбционная деталь с центром на $\lambda = 5025 \text{ \AA}$, физическая природа которой остается неясной. Эмиссионный спектр представлен линиями ионизованного гелия ($HeII\lambda\lambda 4686, 5411 \text{ \AA}$) и боуновской блендой линий легких элементов CNO ($CIII+NIII\lambda 4640 \text{ \AA}$). В целом спектры в фазе вспышки указывают на доминирование в них излучения оптически толстого аккреционного диска с горячим ($T_e \approx 30000 \text{ K}$) пограничным слоем, что характерно для вспышек карликовых Новых типа WZ Sge. Поскольку линии поглощения HI и HeI могут формироваться в плазме с $T_e < 40000 \text{ K}$, т. е. в большей части аккреционного диска, то их доплеровские смещения отражают орбитальное движение как самого диска, так и связанного с ним белого карлика.

В спектрах GSC 02197-00886 в ночь 4/5 августа наблюдается плоский континуум невысокой интенсивности с очень широкими ($\Delta\lambda \approx 100 \text{ \AA}$) абсорбционными профилями линий бальмеровской серии H_β , H_γ и H_δ . Характер непрерывного спектра указывает на доминирование в нем излучения остывающего белого карлика с чисто водородной атмосферой и $T_{eff} \approx 30000 \text{ K}$. Данное излучение не может быть образовано оптически толстым аккреционным диском, т. к. обязательное наличие в нем большого числа атомов гелия приводило бы к появлению в спектрах абсорбционных линий HeI, не найденных в наблюдениях.

Одновременно линии водорода (H_β – H_δ), нейтрального гелия ($HeI\lambda\lambda 4471, 4713, 4921, 5015 \text{ \AA}$) и ионизованного железа ($FeII\lambda 5569 \text{ \AA}$) образуют умеренно широкие ($\Delta\lambda \approx 100 \text{ \AA}$) двухпиковые

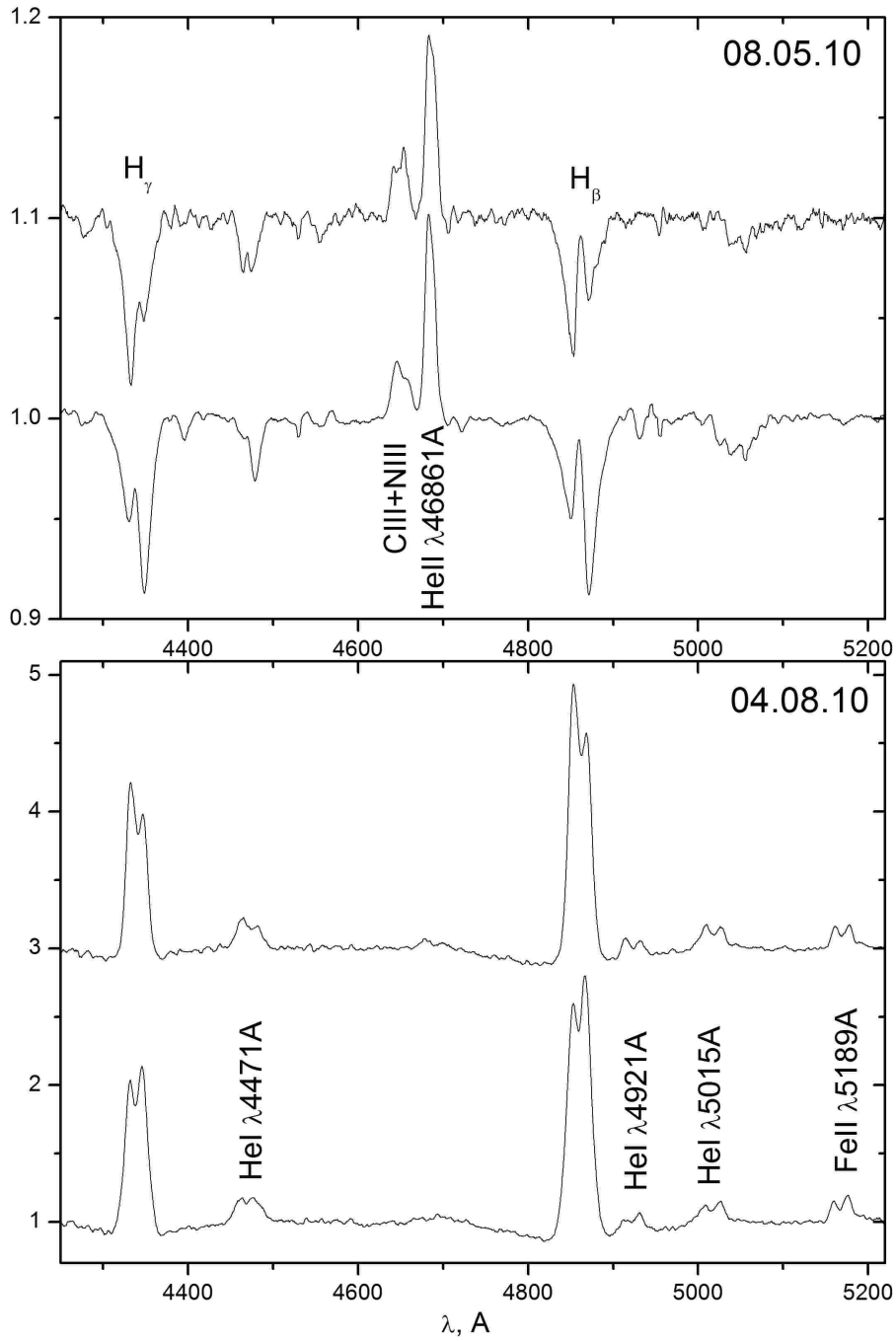


Рис. 2. Спектры GSC 02197-00886 на две эпохи наблюдений. Даты указаны на рисунке

эмиссии с переменным в шкале орбитального периода профилем. Отсутствие в спектрах линий ионизованного гелия указывает на слабость магнитного поля белого карлика, почти не влияющего на характер аккреции в GSC 02197-00886. Наблюдаемые интенсивности линий говорят об их формировании в оптически тонкой и теплой ($T_e = 11000\text{--}13000\text{ K}$) среде с преобладанием водорода, но обогащенной атомами тяжелых элементов. Однако наблюдаемый декремент для линий бальмеровской серии ($I(H_\beta)/I(H_\gamma) \approx 1.7$) оказывается меньше теоретического для оптически тонкой среды с доминированием радиативных процессов. Поэтому можно сделать вывод, что эмиссионный спектр линий GSC 02197-00886 в ночь 4/5 августа формируется в аккреционном диске, оптически тонком во всех неводородных линиях, но имеющем заметную (до $\tau = 0.5$) оптическую толщину в линиях H Π . Переменность по времени эмиссионных профилей этих линий (см. рис. 2b) обусловлена наличием в них двух компонент, доминирующая из которых малоподвижна и излучается непосредственно в аккреционном диске. Вторая компонента оказывается узкой ($\Delta\lambda \approx 10\text{ \AA}$), что говорит о вероятном ее излучении вблизи поверхности вторичной компоненты под действием эффектов флуоресценции от мягкого рентгеновского облучения.

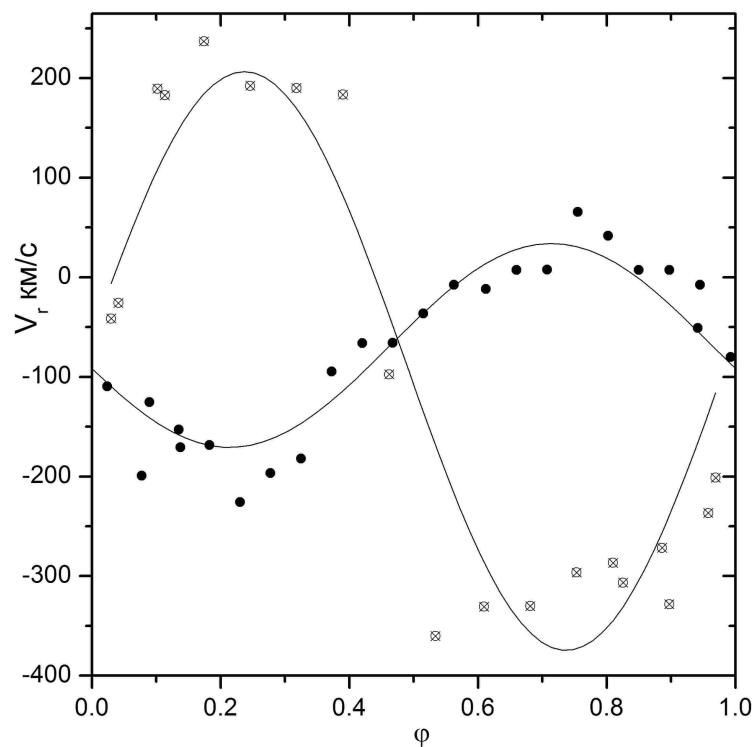


Рис. 3. Кривые лучевых скоростей главной (залитые кружки) и вторичной (кружки с крестом) компонент GSC 02197-00886 и их аппроксимации для кругового движения

Для определения лучевых скоростей главной компоненты мы использовали метод одновременной кросс-корреляции абсорбционных профилей линий H_β , H_γ , H_δ и $HeI\lambda 4471\text{ \AA}$ в спектрах 8/9 мая. Как сказано выше, данные линии формируются в оптически толстом аккреционном диске и изменения их длин волн однозначно связаны с орбитальным движением главной компоненты. При проведении кросс-корреляции были выбраны интервалы, содержащие линии шириной в $\Delta\lambda = 60\text{ \AA}$ с

центрами на их лабораторных длинах волн. Эмиссионные компоненты линий были предварительно исключены из профилей.

Лучевые скорости вторичной компоненты определялись методом Шафтера (1983) по профилям линий H_{β} - H_{δ} и $HeI\lambda\lambda 4471, 4713, 4921, 5015 \text{ \AA}$ в спектрах 4/5 августа. Эти линии частично образуются в малоподвижном аккреционном диске и, в меньшей степени (см. результаты Скидмора и др., 2000), в струе вещества, текущего с поверхности холодной звезды. Метод Шафтера применялся по отдельности для каждой линии с ручным контролем минимизации ошибок при аппроксимации их крыльев, что позволяло получить оценки доплеровских смещений узких эмиссионных компонент линий, связываемых нами с орбитальным движением звезды.

5 Анализ параметров и выводы

Результаты определения значений лучевых скоростей обеих компонент по линии H_{β} даны на рис. 3 вместе с их аппроксимациями в рамках модели кругового движения. В среднем по трем линиям бальмеровской серии мы получили значение амплитуды лучевой скорости главной компоненты в $K_1 = 127.1 \pm 8.4 \text{ км/с}$, а для вторичной компоненты – $K_2 = 316 \pm 16 \text{ км/с}$. Их комбинация позволяет найти отношение масс компонент $q = \frac{M_2}{M_1} = 0.40 \pm 0.02$ и полную функцию масс GSC 02197-00886 $f(m) = 0.50 \pm 0.05$. Для определения всех параметров необходима независимая оценка угла наклона i орбиты, что очень затруднительно с учетом незатменности системы. Поэтому мы применили теоретическую зависимость массы вторичной компоненты от орбитального периода из работы Ховелла и др. (2001), построенную в предположении близости характеристик вторичной компоненты к звездам Главной Последовательности. В результате масса вторичной компоненты составила $M_2 = 0.12M_{\odot}$, а масса главной – $M_1 = 0.29M_{\odot}$, что качественно отличается от ожидаемой массы белых карликов ($M \approx 0.8M_{\odot}$) в карликовых Новых типа WZ Sge (Риттер, Колб, 2011). Заметим, что изменение оценок амплитуды лучевых скоростей холодной звезды K_2 не может обеспечить решение данной проблемы, т. к. ее уменьшение вызывает дальнейшее снижение масс компонент, а рост приведет к превышению $\sin(i)$ единицы. Таким образом мы пришли к выводу, что характеристики холодной звезды на момент наблюдений 4/5 августа не соответствовали звездам Главной Последовательности вследствие сохранения у нее остаточного возбуждения после вспышки. Для проверки данной гипотезы и определения параметров GSC 02197-00886 необходимы дополнительные спектроскопические наблюдения на большом интервале времени после вспышки.

6 Благодарности

Авторы признательны Комитету по тематике больших телескопов (КТБТ) и руководству САО РАН за поддержку программы изучения спектров ТДС. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и правительства Республики Татарстан (коды проектов 09-02-97013-а и 12-02-97006-а).

Литература

- Ай, Ямаока (Yi D.A., Yamaoka H.) // IAU Circ. 2010. № 2273. P. 1
 Афанасьев, Моисеев (Afanas'ev V.L., Moiseev A.V.) // Astron. Lett. 2005. V. 31. P. 194.
 Блич и др. (Bleach J.M., Wood J.H., Catalan M.S., et al.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2000. V. 312. P. 70.
 Болин (Bohlin R.C.) // Astron. J. 1996. V. 111. P. 1743.
 Итагаки и др. (Itagaki K., Kaneko S., Yi D.A., Camilleri P.) // IAU Circ. 2010. № 2274. P. 1
 Като и др. (Kato T., Maehara H., Uemura M., et al.) // Publ. Astron. Soc. Japan. 2010. V. 62. P. 1525.
 Пандей, Синх (Pandey J.C., Singh K.P.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2008. V. 387. P. 1627.
 Риттер, Колб (Ritter H., Kolb U.) // VizieR On-line Data Catalog. 2011.

- Скидмор и др. (Skidmore W., Mason E., Howell S.B., et al.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2000. V. 318. P. 429.
- Товмасын и др. (Tovmassian G., Clark D., Zharikov S.) // *IAU Circ.* 2010. № 2283. P. 1
- Хааконсен, Рутледж (Haakonsen C.B., Rutledge R.E.) // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 2009. V. 184. P. 138.
- Ховелл и др. (Howell S.B., Nelson L.A., Rappaport S.) // *Astrophys. J.* 2001. V. 550. P. 897.
- Хохол и др. (Chochol D., Katysheva N.A., Shugarov S.Yu., et al.) // *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso.* 2012. V. 42. P. 39.
- Шафтер (Shafter A.W.) // *Astrophys. J.* 1983. V. 267. P. 222.
- Ямаока, Итагаки (Yamaoka H., Itagaki K.) // *IAU Circ.* 2010. № 2275. P. 1