

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ С КОМПАКТНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Митрофанова А.А., Соловьева Ю.Н., Тазиева З.Р.

*ФГАОУ ВПО Казанский (Приволжский) федеральный университет,
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18*

e-mail: arishka670a@mail.ru, zulia.tazieva1994@gmail.com, yuliaeos@mail.ru

поступила в редакцию 06 ноября 2014 года

Аннотация

На основе уникальных спектроскопических данных был проведен анализ спектров двух тесных двойных систем, одна из которых является молодой предкатаклизмической переменной (SDSS J212531-010745), а другая – поляром (1RXS J152506.9-032647). В спектрах SDSS J212531-010745 наблюдаются линии HeII $\lambda\lambda 4686, 5411\text{\AA}$ и сложная бленда CIII+NIII $\lambda 4650\text{\AA}$, формирующиеся в атмосфере горячего sdO-субкарлика. В спектрах 1RXS J152506.9-032647 наблюдаются однопиковые эмиссионные линии водорода (HI), нейтрального (HeI) и ионизованного (HeII) гелия и ряда тяжелых элементов в высоких стадиях ионизации. Для исследуемых объектов были построены кривые лучевых скоростей с последующей их аппроксимацией в рамках круговой и эллиптической моделей орбит систем. В результате были подтверждены предварительные классификации объектов и получены значения амплитуд лучевых скоростей.

Ключевые слова: *тесные двойные системы, белый карлик, спектроскопия, лучевая скорость, поляр, предкатаклизмические переменные.*

Введение. Тесные двойные системы представляют собой такие пары звезд, расстояние между которыми сопоставимо с их размерами, при этом существенную роль начинают играть взаимодействия между компонентами.

Предкатаклизмические переменные (ПП) принадлежат к разделенным двойным системам, состоящим из белых карликов или горячих субкарликов низкой светимости и звезд поздних спектральных классов. По эволюционному статусу они занимают промежуточное положение между системами с общими оболочками и катаклизмическими переменными, чем вызывают большой интерес для теории эволюции. Фактором, способствующим расширению исследований ПП, является относительная простота систем и возможность регистрировать излучение обоих компонент, что позволяет определять фундаментальные параметры звезд.

Поляры – это короткопериодические двойные системы, первичная компонента которых – белый карлик с магнитным полем порядка нескольких десятков или сотен Мега-Гаусс, а вторичная компонента – небольшой красный карлик, который находится на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга-Рессела.

SDSS J212531-010745 принадлежит к группе молодых предкатаклизмических переменных. В работе T. Nagel et al. [1] было показано, что главная компонента является белым карликом с параметрами атмосферы $T_{\text{eff}} = 90000\text{K}$ и $\log g < 7.6$. Орбитальный период составляет $P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}.28983$. В наблюдаемых кривых блеска обнаружены синусоидальные колебания с амплитудой $\Delta m_v = 0.^{\text{m}}71$ в шкале орбитального периода, обусловленные действием сильных эффектов отражения. Вариации блеска, связанные с пульсациями белого карлика, не были обнаружены, но химический состав его атмосферы характеризуется аномально высокими избытками гелия и углерода. Поэтому T. Nagel et al. [1] классифицировали SDSS J212531-010745 как ПП со звездой типа PG 1159 (класс горячих белых карликов, обладающих быстрой пульсационной переменностью $P_{\text{phot}} = 3^{\text{m}} - 15^{\text{m}}$). Массы главной и вторичной компонент системы были оценены как $M_1 = 0.6 M_{\odot}$ и $M_2 = 0.4 M_{\odot}$, что предполагает принадлежность холодной звезды к спектральному классу K. Позднее S. Schuh et al. [2] на основе изучения лучевых скоростей компонент оценили массу холодной звезды как $M_2 = 0.46 M_{\odot}$ и определили параметры атмосферы белого карлика $T_{\text{eff}} = 72000\text{K}$ и

$\log g < 7.1$. Однако авторы отметили, что точные параметры обеих компонент могут быть найдены только вместе со значением угла наклона орбиты i при моделировании ее кривых блеска с учетом эффектов отражения. Таким образом окончательно доказано, что SDSS J212531-010745 является молодой предкатаклизмической переменной с сильными эффектами отражения и звездой типа PG 1159 в качестве главной компоненты.

В ходе обзора неба на обсерватории Маунт Леммон Э.Дж. Дрейком был обнаружен объект с большой амплитудой переменности в созвездии Змеи. В наблюдениях 17 мая 2012 года он стал ярче на $\sim 2^m$ по сравнению с опорным снимком 2 апреля 2009 года. Позже было найдено, что это объект $m \sim 19^m$ величины в 2007-2009 гг. продемонстрировал значительные вариации блеска в течение ночи в диапазоне от 16.5^m до 17.7^m во время наблюдений в 2012 г. Полная амплитуда переменности в высоком состоянии составляла как минимум 5.5^m . По данным архива Каталинского обзора неба, в 2009 году объект испытал переход из низкого состояния в высокое с изменением блеска на 2^m . Одновременно было обнаружено, что объект попадает в область локализации рентгеновского источника ROSAT 1RXS J152506.9-032647. Анализ этих данных позволил предположить, что 1RXS J152506.9-032647 является катаклизмической переменной без заметного аккреционного диска из класса полярных или промежуточных полярных, что обусловило начало его интенсивных фотометрических и спектроскопических наблюдений. В данной работе мы представляем результаты исследования этой КП в созвездии Змеи, имеющей глубокие затмения и ассоциируемой с ранее неотожествленным рентгеновским источником 1RXS J152506.9-032647.

Наблюдения объектов. Все спектроскопические наблюдения исследуемых систем были выполнены Борисовым Н.В. и Шиманским В.В. с помощью редуктора светосилы SCORPIO [3], установленном на телескопе БТА САО РАН.

Спектроскопические наблюдения SDSS J212531-010745 проведены в ночи 9-11 августа 2008 года, 27-30 августа 2009 года и 1-4 августа 2010 года. Было накоплено 58 спектрограмм в 16 блоках с равной продолжительностью экспозиций в 300 секунд, при этом соотношение сигнал/шум в единичной спектрограмме составило $S/N=35-65$ в зависимости от яркости объекта. Наблюдения в ночь 27.09.09 проводились в удовлетворительных условиях с размером звездных изображений $\tau = 2.3''$, в остальные ночи – в хороших и отличных условиях с $\tau \approx 1.5''$.

Спектроскопические наблюдения 1RXS J152506.9-032647 были выполнены в ночь 19 апреля 2013 г. Наблюдения выполнены в хороших погодных условиях с размером звездных изображений $1.2''$. Экспозиции имели равную длительность в 300 секунд, а полная продолжительность наблюдений составила около 2 часов. В результате получено 18 спектров, охватывающих более одного орбитального периода 1RXS J152506.9-032647. Уровень накопления сигнала в спектрах обеспечивает отношение сигнал/шум в континууме порядка $S/N=30$.

Для получения калибровок потоков излучения и шкалы длин волн одновременно со спектрами объектов получены спектры стандартов из обзора R.C. Bohlin [4] и Ar-Ne-He-лампы.

Обработка наблюдений. Процесс обработки данных спектроскопических наблюдений SDSS J212531-010745 включал все стандартные процедуры и проводился средствами системы редукции астрономических данных MaxIm DL. Изначально из спектров были вычтены bias, затем спектры делили на плоские поля Flat. Спектры были получены из ПЗС-изображений путём их нарезки. В каждом изображении были нарезаны 2 полосы одинаковой ширины для самого спектра и для фона неба.

Для построения дисперсионной кривой из изображения спектра неоновой лампы, снятого в каждом блоке, были вырезаны полосы с положением и шириной, равными нарезаемому из изображений звезды, в результате чего были сформированы одномерные вектора спектров лампы. В них методом гауссианной и мульти-гауссианной аппроксимации проводилось измерение положений и отождествление имеющихся линий. Лабораторные длины волн

линий были приняты согласно инструкции по работе с данными редуктора светосилы SCORPIO [3].

Все полученные ненормированные спектрограммы были отнормированы одинаковым образом с применением программного пакета Origin Pro 6.1. В качестве точек локального континуума выбирались участки шириной $\Delta\lambda > 10\text{\AA}$, свободные от эмиссионных и абсорбционных линий.

Оптические спектры предкатаклизмической переменной имеют явно композиционный характер. В них наблюдаются линии HeII $\lambda\lambda 4686, 5411\text{\AA}$ и сложная бленда CIII+NIII $\lambda 4650\text{\AA}$, формирующиеся в атмосфере горячего sdO-субкарлика. В спектрах SDSS J212531-010745 аномальное усиление бленды CIII+NIII очевидно вызвано высоким содержанием углерода в этой звезде. Линии Бальмеровской серии водорода H β , H γ , H δ , даже в фазах минимума блеска очень слабы и частично искажены эмиссионными компонентами.

Первичная обработка спектров 1RXS J152506.9-032647 производилась в пакете программ longwid написанной сотрудником CAO РАН В.Л. Афанасьевым в системе программирования IDL. Программа самостоятельно вычитает Bias, исправляет геометрию поля, делит на плоское поле (Flat), убирает космические частицы. Для того чтобы перейти из пикселей в шкалу длин волн строится дисперсионная кривая и проводится линейаризация спектра. Линейаризация происходит с использованием снятого спектра Ar-Ne-He лампы. Используя спектр стандартной звезды и имеющиеся в базах данных калибровочные таблицы ее потоков, находится кривая чувствительности ПЗС-матрицы. Делением накопленных спектров объекта на кривую чувствительности матрицы получаем восстановленные значения его потоков. Завершив все эти операции, программа выдает текстовый файл, содержащий длины волн и соответствующие им потоки излучения в ненормированных спектрах звезды. Процесс нормировки был выполнен вручную с помощью графического пакета цифровой информации Origin 8.5.

В результате деления ненормированных спектров на найденное распределение континуума получались нормированные спектры 1RXS J152506.9-032647.

В спектрах 1RXS J152506.9-032647 наблюдаются одиночные эмиссионные линии водорода (H β), нейтрального (HeI) и ионизованного (HeII) гелия и ряда тяжелых элементов в высоких стадиях ионизации. Одиноковость профилей и умеренная полуширина ($\Delta\lambda \sim 20\text{\AA}$) всех линий в целом соответствует модели спектра поляра. Однако интенсивность линии HeII $\lambda 4686\text{\AA}$ оказывается значительно ниже линии H β и сравнима с линией HeI $\lambda 4471\text{\AA}$, что не характерно для излучения поляров. Поэтому при наиболее вероятной классификации 1RXS J152506.9-032647 как поляра, вариант промежуточного поляра не может быть однозначно отклонен.

Измерение и анализ лучевых скоростей систем. Лучевые скорости систем измерены полуавтоматическим методом кросс-корреляции спектров, реализованном в программном модуле VELOS [5]. Анализ кривых лучевых скоростей проводился в пакете Origin 6.1 с применением скриптов, предполагающих круговую или эллиптическую модели орбиты.

Определение скоростей главной компоненты SDSS J212531-010745 проводилось по абсорбционной линии HeII $\lambda 4686\text{\AA}$ и по ее объединенному интервалу с блендой CIII+NIII $\lambda 4650\text{\AA}$. Последующий анализ результатов показал, что бленда сильно искажена эмиссионными компонентами и не пригодна для измерений. Лучевые скорости вторичной компоненты измерялись по эмиссионным линиям H β , H γ , H δ и CII $\lambda 4267\text{\AA}$, анализируемым по отдельности и совместно. В результате были получены наборы лучевых скоростей обоих компонент. Их анализ показал непригодность ряда значений (для обеих звезд), найденных по линиям с очень низкой интенсивностью в данных фазах. Эти значения были удалены из дальнейшего анализа. Кроме того, измеренные лучевые скорости могут испытывать искажения $\Delta V_r = 50$ км/сек, обусловленные особенностями редуктора светосилы SCORPIO [3]. Поэтому использовались не индивидуальные лучевые скорости двух компонент, а их разности, свободные от подобных искажений. Суммарные значения лучевых скоростей получились равными $K_1 + K_2 = 212 \pm 23$ км/сек (для аппроксимации в рамках круговой модели

орбиты) и $K_1+K_2 = 216 \pm 18$ км/сек (для аппроксимации в рамках эллиптической модели орбиты).

Кривые лучевых скоростей 1RXS J152506.9-032647 были получены по линиям H_β , H_γ , H_δ , HeI, HeII и переведены в шкалу фаз орбитального периода. Все кривые имеют форму близкую к синусоиде, что характерно для объектов движущихся по круговым орбитам.

Анализ параметров аппроксимаций показывает, что амплитуда лучевой скорости 1RXS J152506.9-032647 последовательно возрастает в последовательности линий H_β , H_γ , H_δ , HeI, HeII. Данное явление характерно для канализированной аккреции в полярных, т.к. линии HeI образуются в наиболее холодной и медленной части аккреционной колонны, линии HeI – умеренно горячей, т.е. промежуточной, а линия HeII – наиболее горячей и приближенной к поверхности белого карлика. В результате мы пришли к выводу, что все наблюдаемые эмиссионные линии в подавляющей степени образуются в аккреционной колонне, а изменения лучевых скоростей обусловлены изменением ее проекции на луч зрения.

Полученные амплитуды лучевых скоростей в целом не превышают $K \sim 500$ км/сек, тогда как движения в аккреционной колонне вблизи поверхности белого карлика должны быть намного больше 700 км/сек и могут достигать 1000 км/сек. В результате можно сделать вывод о значительном (более 45°) угле наклона колонны (и соответственно оси магнитного поля белого карлика) к плоскости орбиты 1RXS J152506.9-032647. В результате с учетом значительных пространственных размеров аккреционных колонн (до $0.3 R_{\text{sun}}$) и факта наблюдаемого затмения оценка радиуса вторичной компоненты может быть повышена до $R_2 = 0.2 R_{\text{sun}}$ и более.

Заключение. В данном отчете представлены результаты исследований двух тесных двойных систем, одна из которых является предкатаклизмической переменной, а другая – поляром. Следует отметить, что для проведения этих исследований были выполнены уникальные серии спектроскопических наблюдений на крупнейшем телескопе России – БТА САО РАН. Для всех систем проведены длительные спектроскопические наблюдения, покрывающие практически полный орбитальный период. Для анализа наблюдений использовался новейший метод кросс-корреляции. С помощью этих данных были впервые получены лучевые скорости компонент исследуемых объектов. На основе полученных результатов выяснилось, что в спектрах 1RXS J152506.9-032647 наблюдается набор эмиссионных линий формирующихся в излучении горячей, оптически тонкой плазмы. Анализ кривых лучевых скоростей указывает на доминирование в излучении эмиссионных линий аккреционной колонны со значительным наклоном к плоскости орбиты этой системы. Полученные амплитуды лучевых скоростей совместно с планируемым моделированием кривых блеска систем позволят оценить фундаментальные параметры исследуемых объектов.

Благодарность. Авторы выражают благодарность Борисову Н.В. и Шиманскому В.В. за предоставление уникальных спектроскопических наблюдений, полученных на телескопе БТА САО РАН. Работа выполнена при финансовой поддержке КФУ (тема 0613/06.13.02292.005) и за счет средств субсидии, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности.

Список литературы

- 1) Nagel T., Schuh S., Kusterer D.-J., et al. SDSS J212531.92-010745.9 - the first definite PG 1159 close binary system // *Astron. Astrophys.* 2006. V.448. P.L25-L28.
- 2) Schuh S., Beeck B., Nagel T. Dynamic masses for the close PG1159 binary SDSS J212531.92 - 010745.9 // *arXiv: astro-ph 0812.4860v1*. 2009.
- 3) Афанасьев В.Л., Моисеев А.В. Универсальный редуктор светосилы 6-м телескопа SCORPIO // *Письма в Астрономический Журнал*. 2005. Т.31. №3. С.214-225.
- 4) Bohlin R.C. Spectrophotometric Standards From the Far-UV to the Near-IR on the White Dwarf Flux Scale // *Astron. J.* 1996. V.111. P.1743.

- 5) Шиманский В.В., Борисов Н.В., Сахибуллин Н.А., Шевелева Д.В. МТ Ser - двойной голубой субкарлик // Астрон. Жур. 2008. Т.85. С.537-544.
- 6) Schuh S., Nagel T., Traulsen I., Beeck B. New Light Curves and Spectra of the Close PG 1159 Binary System SDSS J212531.92-010745.9 // ASP Conference Series. 2008. V.391.
- 7) Smith R.C. Cataclysmic variables // arXiv: astro-ph 0701654v1. 2007.
- 8) Blocker T. Stellar evolution of low- and intermediate-mass stars II. Post-AGB evolution // Astron. Astrophys. 1995. V.299. P.755-769.