

УДК 524.338-335

## СПЕКТРАЛЬНЫЕ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЛЯРА 1RXS J152506.9-032647

© 2019 М. М. Габдеев<sup>1\*</sup>, В. В. Шиманский<sup>2</sup>, Н. В. Борисов<sup>1</sup>,  
И. Ф. Бикмаев<sup>2</sup>, А. С. Москвитин<sup>1</sup>, А. И. Колбин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

Поступила в редакцию 29 марта 2018 года; после доработки 8 июля 2019 года; принята к публикации 8 июля 2019 года

Представлены результаты фотометрических и спектральных наблюдений поляра 1RXS J152506.9-032647. Наблюдения проводились на телескопах САО РАН БТА и Цейсс-1000, а также на Российско-Турецком телескопе РТТ-150. Определен орбитальный период системы  $0^{\text{d}}06462793$ . Объект наблюдался в среднем  $\langle R_c \rangle = 17^{\text{m}}8$  в 2013 и 2017 гг. и в высоком состоянии  $\langle R_c \rangle = 16^{\text{m}}8$  в 2016 г. Анализ кривых блеска показал, что аккреция в системе происходит на два магнитных полюса белого карлика. Спектры объекта имели типичный для полярных звезд вид с интенсивными эмиссионными линиями водорода серии Бальмера (H I), нейтрального (He I) и ионизованного (He II) гелия, и более слабыми линиями тяжелых элементов (Fe II), (C II), (C III), (Mg II). Эмиссионные линии водорода и гелия показали двухкомпонентную структуру. Определены параметры системы:  $M_1 = 0.56 \pm 0.04 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 0.133 \pm 0.008 M_{\odot}$ ,  $q = 0.24 \pm 0.001$ ,  $i = 79^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ,  $R_{L2}/R_2 = 1.04$ ,  $A = 0.6 \pm 0.02 R_{\odot}$ .

Ключевые слова: новые, катаклизмические переменные — звезды: фундаментальные параметры

### 1. ВВЕДЕНИЕ

В современной астрофизике полярные классифицируются как полуразделенные тесные двойные системы (ТДС) на поздних стадиях эволюции, содержащие белые карлики (БК) с магнитными полями более 5 МГс. В этих системах альфвенский радиус, определяемый балансом давлений магнитного поля и потока вещества, аккрецирующего на белый карлик, превышает размеры его полости Роша, что приводит к формированию канализированного типа аккреции. Донорами в полярах являются маломассивные звезды, характеристики которых близки к ожидаемым для главной последовательности (ГП). Большинство полярных звезд не показывает заметной вспышечной активности, вследствие чего их относят к классу новоподобных катаклизмических переменных. Сильное магнитное поле белого карлика приводит к канализированному режиму аккреции и полностью синхронизирует вращение компонентов системы с орбитальным периодом. Вследствие этого переменность в шкале орбитального периода неизменна (стабильна) на больших интервалах времени. Ее амплитуда варьируется от  $0^{\text{m}}1$  до  $1^{\text{m}}5$  и обусловлена изменениями

проекции сложной аккреционной колонны на картинную плоскость и ее возможными самозатмениями. Кроме того, у многих полярных звезд наблюдаются глубокие затмения до  $5^{\text{m}}$ , вызванные полным закрытием холодной звездой белого карлика и компактной аккреционной структуры. Одновременно излучение полярных звезд, формирующееся, в основном, в околополюсных областях, оказывается поляризованным до 10% и более, а у части систем круговая поляризация показывает изменение знака, что говорит о наличии двухполюсной аккреции. Важной особенностью полярных звезд является регистрация у них рентгеновского излучения вследствие малой оптической толщины вещества, окружающего зону аккреции на поверхности белого карлика. Данное излучение приводит к появлению эффектов флуоресценции как в веществе, перетекающем со вторичной компоненты, так и на ее поверхности. В результате оптические спектры полярных звезд содержат мощные одиночные эмиссии H I, He I, C III, Fe II и особенно He II, в линиях которого флуоресценция наиболее эффективна.

Для классификации и анализа эволюционного статуса полярных звезд оказывается важной проблема сравнения их фундаментальных характеристик с аналогичными для близких типов катаклиз-

\*E-mail: crucifer.troll@gmail.ru

мических переменных. В наиболее полном каталоге ТДС Риттера и Колба [1] представлены данные о 148 классифицированных полярах, но массы компонент найдены только у 22 объектов. Усредненная масса их главных компонент составляет  $M_1 = 0.73 \pm 0.20 M_\odot$ , вторичных —  $M_2 = 0.23 \pm 0.14 M_\odot$ . Аналогичные усредненные массы компонент 13 классических новых разных подклассов равны  $M_1 = 0.93 \pm 0.25 M_\odot$  и  $M_2 = 0.71 \pm 0.54 M_\odot$ , 63 новоподобных звезд —  $M_1 = 0.73 \pm 0.19 M_\odot$  и  $M_2 = 0.36 \pm 0.25 M_\odot$ . Классические новые несомненно должны содержать более массивные вторичные компоненты, что подтверждается представленной статистикой. Массы главных компонент поляров оказываются меньше на  $0.20 M_\odot$ , чем в классических новых, но полностью соответствуют массам всех новоподобных систем. Однако массы их вторичных компонент в среднем превышают аналогичные значения у поляров на  $0.13 M_\odot$ . Отметим, что во всех трех подклассах ТДС наблюдается значительная дисперсия оценок  $M_2$ , что связано как с реальным различием масс звезд в системах с разным орбитальным периодом, так и со значительными ошибками их определения. Косвенным подтверждением этого факта применительно полярам является их разделение на две изолированные группы по значениям  $M_2$ : для 4 систем оно варьируется в пределах  $M_2 = 0.36-0.50 M_\odot$ , а в остальных не превышает  $M_2 = 0.18 M_\odot$ . Добавим, что имеющиеся оценки масс белых карликов также могут содержать большие ошибки, т.к. у четырех из них массы не превышают  $M_1 = 0.45 M_\odot$ , что на  $0.20 M_\odot$  меньше, чем у всех остальных систем. Обратимся к одной из последних работ по оценке масс белых карликов в новых по характеристикам их вспышек [2]. В упомянутой работе средняя масса белого карлика составляет  $1.06 M_\odot$ , что существенно выше массы, полученной по данным каталога Риттера и Колба.

В итоге построение теории физического состояния и эволюции поляров и других новых звезд требует существенного уточнения и расширения информации об их фундаментальных параметрах, желательного получаемых на основе единой методики. Имеющийся опыт изучения поляров показывает, что наиболее корректные результаты можно получить для объектов с глубокими и, желательно, полными затмениями аккректора. Кроме очевидной возможности точного определения угла наклона орбиты, такие затмения позволяют определять размеры аккреционной структуры и вторичной компоненты, а в некоторых случаях — температуру и физическое состояние последней. Более того, фотометрические наблюдения затмения с малой временной скважностью могут использоваться для анализа формы и структуры аккреционных колонн, что является уникальной информацией.

Ограниченность списка известных поляров с глубокими или полными затмениями делает важной задачу поиска, классификации и комплексного исследования новых объектов данного типа. При решении такой задачи особое внимание необходимо уделять современным фотометрическим обзорам звезд с большой амплитудой переменности, голубым объектам вблизи неотожествленных источников рентгеновского излучения и кандидатам в катаклизмические переменные с сильными линиями He II. Анализ наблюдений одного из таких объектов представлен в данной статье.

### 1.1. 1RXS J152506.9-032647

В ходе обзора неба на обсерватории Маунт Леммон [3] в созвездии Змеи была обнаружена звезда CRTS J152506.9-032655 с большой амплитудой переменности: объект перешел из низкого состояния в высокое с изменением средней величины блеска на  $2^m$ . Во время наблюдений 2012 года были найдены значительные вариации ее блеска в течение ночи в диапазоне от  $16^m.5$  до  $17^m$ . Полная амплитуда переменности в высоком состоянии составляла как минимум  $5^m.5$ . Одновременно было обнаружено, что он попадает в область локализации рентгеновского источника ROSAT 1RXS J152506.9-032647 (далее RX 152506). Анализ этих данных позволил предположить принадлежность RX 152506 к катаклизмическим переменным из класса поляров, что обусловило начало его фотометрических и спектроскопических наблюдений. Результаты фотометрических наблюдений и эфемериды объекта были опубликованы в 2017 г. [4]. Они обсуждаются в разделе 3.1.

## 2. НАБЛЮДЕНИЯ

### 2.1. Фотометрия

Фотометрические наблюдения RX 152506 выполнялись на трех телескопах БТА и Цейсс-1000 САО РАН, и РТТ-150 обсерватории Тюбитак. При первых наблюдениях, проведенных в 2013 году на телескопе Цейсс-1000 в полосе  $R_c$ , использовался штатный фотометр с набором широкополосных фильтров системы Джонсона—Коузинса и ПЗС-приемник EEV 42-40 (2048×2048 пикселей размером  $13.5 \times 13.5$  мкм) с азотным охлаждением. На телескопе БТА, в качестве дублирующей программы, при плохих изображениях объект наблюдался на приборе SCORPIO [5] в полосе  $R_c$  в 2016 и 2017 годах. Летом 2017 года RX 152506 дополнительно наблюдался на телескопе РТТ-150 с прибором TFOSC в фотометрической моде в полосе  $R_c$ .

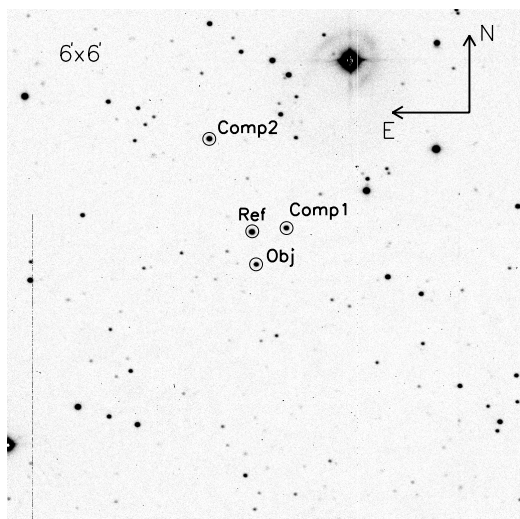


Рис. 1. Изображение окрестностей объекта с отмеченными вторичным стандартом и звездами сравнения.

Таблица 1. Информация об опорных звездах

Ident	$\alpha$ , hh:mm:ss	$\delta$ , dd:mm:ss	$R_c$ , mag
Ref	15:25:07.1	-03:26:25	15.74 $\pm$ 0.01
Comp1	15:25:05.1	-03:26:21	16.57 $\pm$ 0.02
Comp2	15:25:05.0	-03:24:11	16.16 $\pm$ 0.02

Полный журнал наблюдений можно найти на сайте<sup>1</sup>. Там же можно найти таблицы с измерениями блеска системы и лучевых скоростей разных линий, которые мы выкладываем для использования в дальнейшем другими исследователями. На рис. 1 показано поле вокруг RX 152506 с отмеченными опорными звездами. В таблице 1 представлена информация об опорных звездах. Ошибки измерений вне затмения составили: Цейсс-1000 — 0<sup>m</sup>05, РТТ-150 — 0<sup>m</sup>017, БТА 2016 г. — 0<sup>m</sup>015, БТА 2017 г. — 0<sup>m</sup>02.

## 2.2. Спектроскопия

Спектральные наблюдения выполнены на 6-м телескопе БТА САО РАН с применением редуктора светосилы SCORPIO [5], светоприемника ПЗС-матрицы EEV 42-40 (2048 $\times$ 2048) с азотным охлаждением. Использовалась объемная голографическая решетка с 1200 штр/мм (VPHG1200G) и щель шириной 1". Получены спектры в диапазоне  $\lambda\lambda = 3900\text{--}5700 \text{ \AA}$  с разрешением 5.5  $\text{\AA}$ . Наблюдения проводились 21 июля 2012 г. при

плохих погодных условиях и 19 апреля 2013 г. при хорошей прозрачности атмосферы и размере изображения около 1"6. Получено 16 и 18 спектров соответственно, с одинаковыми экспозициями в 300 секунд. Для калибровки по длинам волн использовалась лампа с He-Ne-Ag наполнением, в качестве спектрофотометрического стандарта — звезда BD 33d+4622 [6]. Обработка наблюдений проводилась по стандартным методикам в среде IDL<sup>2</sup>.

## 3. АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

### 3.1. Фотометрия

По результатам фотометрических наблюдений в полосе  $R_c$  был проведен гармонический анализ временных рядов. Использовался метод Лафлера—Кинмана [7], реализованный в программе EFFEST В. П. Горанского<sup>3</sup>. При построении эфемериды RX 152506 за нулевую фазу выбран момент полной фазы затмения:

$$\begin{aligned} \text{HJD} = & 2457899^{\text{d}}4326(\pm 0.0001) \\ & + 0^{\text{d}}06462793(\pm 0.00000003) E. \end{aligned} \quad (1)$$

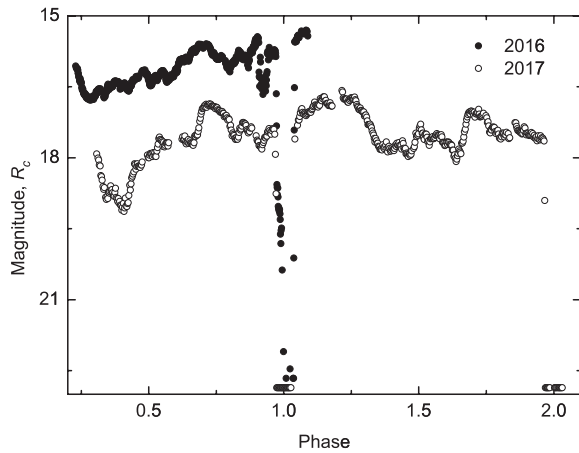
В статье [4] опубликована эфемерида с большей, чем у нас, точностью. Однако указанная авторами оценка точности вызывает сомнения вследствие ограниченности продолжительности их наблюдений 102 сутками. При имеющемся орбитальном периоде такая продолжительность охватывает не более 2000 циклов. С учетом наличия полных затмений точность фиксации фазы составляет около 0.01 периода, что соответствует итоговой ошибке определения периода на уровне 10<sup>-6</sup> суток. Поэтому для построения фазовых кривых блеска мы использовали полученную нами эфемериду (1) (рис. 2).

Объект наблюдался в двух состояниях: высоком (BC) —  $\langle R_c \rangle = 16^{\text{m}}8$  в 2016 г. и среднем (SC) —  $\langle R_c \rangle = 17^{\text{m}}8$  в 2013 и 2017 гг. Кривая блеска в среднем состоянии имеет сложный вид, на ней хорошо просматриваются два максимума: главный на фазе  $\phi = 0.16$  и вторичный в области фазы  $\phi = 0.70$ . Главный максимум на 0<sup>m</sup>1 ярче. Блеск системы между максимумами от периода к периоду может изменяться. Четкого представления причины таких изменений пока нет. При сравнении с другими затменными полярами (FL Cet [8, 9], BS Tri [10, 11], V808 Aug [12–14]) можно предположить, что кривая блеска, обусловленная проекцией

<sup>1</sup><https://www.sao.ru/hq/lon/results.html>

<sup>2</sup><http://www.ittvis.com/idl>

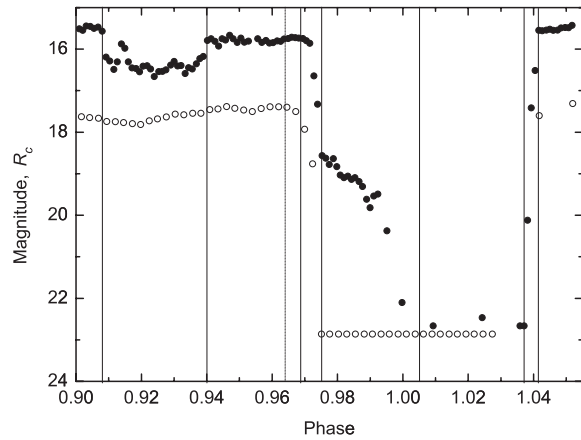
<sup>3</sup><http://www.vgoranskij.net/software/>



**Рис. 2.** Изменение блеска системы в полосе  $R_c$  в апреле 2016 г. и мае 2017 г. по данным БТА. Ошибки измерений не превышают  $0^m.03$ , что меньше размера символов.

аккреционной структуры на картинную плоскость, содержит лишь один максимум. Дополнительные вариации блеска обусловлены самопоглощением оптически толстой аккреционной структурой и затмением ее красным карликом. Однако данная модель не соответствует наблюдаемой кривой блеска в высоком состоянии, где сохраняются оба максимума при существенном уменьшении амплитуды колебаний. В этом состоянии отсутствуют сильные перепады блеска на коротких фазовых интервалах, но появляется «дип», т.е. эффект самозатмения аккреционной структуры, на фазах  $\phi = 0.908\text{--}0.940$ , как у других систем в высоком состоянии (FL Ceti, V808 Aur). В результате мы пришли к выводу, что в системе имеются два равнозначных полюса аккреции. Подтверждение данного вывода можно получить при поляриметрических наблюдениях, либо на основе теоретического моделирования циклотронных гармоник в спектрах RX 152506.

Наблюдения на БТА позволили воспроизвести с малой временной скажностью форму затмения в двух состояниях системы. Как видно на рис. 3, в высоком состоянии вход в затмение происходит ступенчато. На рисунке отмечены начало входа в затмение  $\phi = 0.969$ , в среднем состоянии оно начинается чуть раньше  $\phi = 0.964$ . Первая фаза затмения заканчивается в  $\phi = 0.975$ , в среднем состоянии в этот момент наступает полное затмение. Начало фазы полного затмения имеет небольшую неопределенность в связи с увеличением экспозиции, и расположено вблизи фазы  $\phi = 1.005 \pm 0.003$ . Полное затмение заканчивается в фазе  $\phi = 1.037$  (для нее точки на кривой блеска в среднем состоянии отсутствуют вследствие сбоя в работе матрицы). Выход из затмения происходит в фазе  $\phi = 1.041$ . Как показывают исследования



**Рис. 3.** Кривые блеска вблизи фазы затмения в высоком (ВС) и в среднем (СС) состояниях — заполненные и открытые кружки соответственно. Вертикальными линиями отмечены слева направо: начало «дипа», конец «дипа», начало входа в затмение СС, начало входа в затмение ВС, начало плавного спада блеска ВС и полного затмения СС, начало полного затмения ВС, начало выхода из затмения, выход из затмения.

других объектов, выход из затмения имеет одинаковую форму для всех состояний системы. Поэтому принимая фазу завершения полного затмения для среднего состояния за  $\phi = 1.037$ , получаем продолжительность полного затмения  $\Delta\phi = 0.062$ . Она накладывает ограничения на угол наклона и понадобится для определения параметров системы.

Звездная величина объекта в момент полного затмения в полосе  $R_c$  определялась по усредненным данным телескопов РТТ и БТА. Получились следующие значения:  $22^m.25 \pm 0.15$  — по наблюдениям на РТТ,  $22^m.16 \pm 0.24$  и  $21^m.83 \pm 0.18$  — БТА в 2016 г. и 2017 г. соответственно. Небольшие различия порядка  $0^m.15$  между минимумами могут объясняться тем, что помимо красной звезды вклад в излучение дает оптически тонкая нестабильная оболочка.

Из вышесказанного следует, что в высоком состоянии присутствует дополнительная область излучения в континууме. Стоит отметить, что излучение этой области на 3 звездные величины слабее излучения области вблизи белого карлика, т.е. составляет всего 6.25% от максимального излучения системы. Сравнивая продолжительности «дипа» и фазы предварительного спада блеска при входе в затмение, можно сделать вывод, что они обусловлены вкладом одной и той же структуры. Ее размеры оценены ниже, после определения параметров системы. В среднем состоянии затмение имеет симметричный профиль, а вход и выход из него сравнимы по продолжительности.

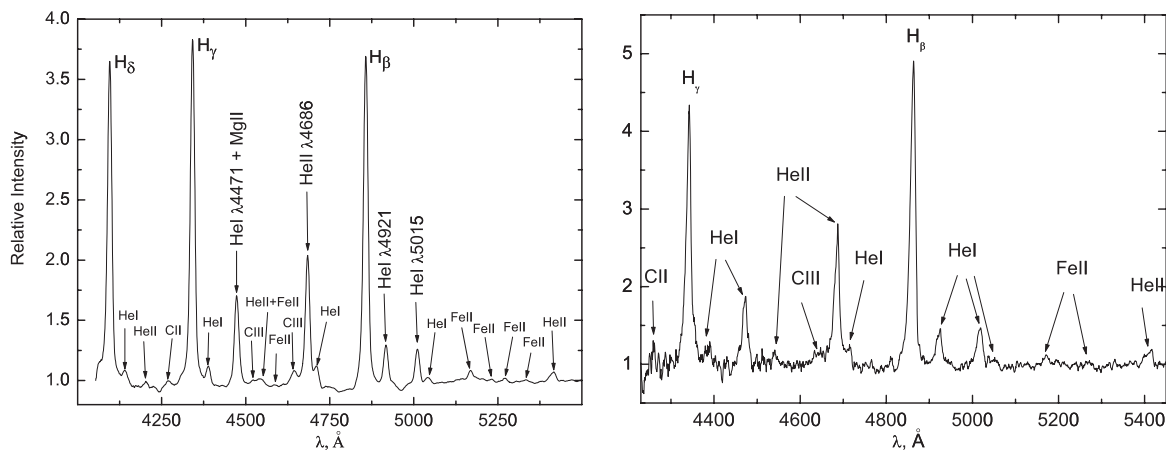


Рис. 4. Суммарный нормированный спектр объекта с отождествленными линиями по результатам наблюдений в апреле 2013 г. (а) и июле 2012 г. (б).

### 3.2. Спектроскопия

В спектрах RX 152506 наблюдаются интенсивные эмиссионные линии бальмеровской серии водорода H I, нейтрального, He I, и ионизованного, He II, гелия, и более слабые линии тяжелых элементов (Fe II, C II, C III, Mg II) (рис. 4). Следует отметить, что интенсивность линии He II  $\lambda 4686 \text{ \AA}$  сравнима с интенсивностью линии H $\beta$ , что свойственно полярам [15, 16].

Важной особенностью спектров являются сложные профили эмиссионных линий, с раздвоением центрального пика в некоторых фазах, и наличием в разных фазах дополнительных компонент в синем и красном крыле (рис. 5). В спектре, близком к затмению, линии имеют большой сдвиг в красную область до  $800 \text{ km s}^{-1}$ , что говорит об их двухкомпонентной структуре. Мы провели моделирование профилей линий двойными гауссианами в предположении, что одна компонента линий высокоамплитудная и менее интенсивная, другая имеет меньшую амплитуду и большую интенсивность. Пользуясь терминологией из статьи [13], будем называть высокоамплитудную составляющую синей компонентой, другую — красной. Результаты измерения длин волн компонент для линий H $\beta$  и He II  $\lambda 4686 \text{ \AA}$  показаны на рисунке 6. Измеренные значения лучевых скоростей аппроксимировались синусоидальной кривой с периодом, фиксированным по данным фотометрических наблюдений. Набор полученных параметров аппроксимации приведен в таблице 2.

Отметим, что точность определения центра гауссиан синей компоненты оказывается ниже ввиду ее малой интенсивности в фазах предшествующих затмению. Большое различие гамма-скорости линии He II  $\lambda 4686 \text{ \AA}$  для красной и синей

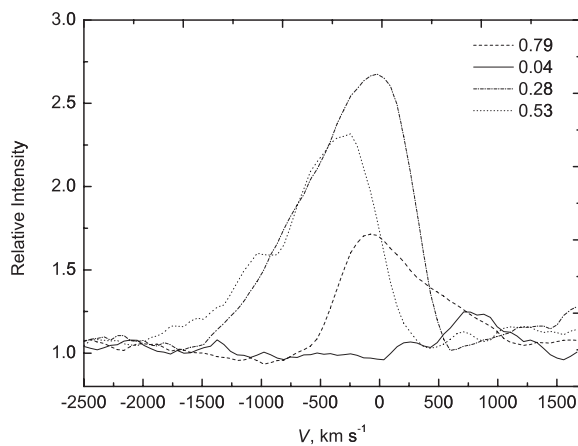


Рис. 5. Формы профилей эмиссионной линии He II  $\lambda 4686 \text{ \AA}$  в зависимости от фазы. Хорошо выражена двухкомпонентная структура.

компоненты связано с исключением при аппроксимации точки в фазе  $\phi = -0.12$  и соответствующим занижением ее значения. В итоге имеем: равные значения полуамплитуд для обеих компонент, отставание по фазе красной компоненты на  $\Delta\phi \sim 0.1$ , различие гамма-скорости на  $200 \text{ km s}^{-1}$ . Более подробно полученные результаты обсуждаются при разборе доплеровских карт в разделе 3.3.

В спектрах фаз, близких к затмению, сильно ослабевает интенсивность красных компонент водородных линий, в линии He II  $\lambda 4686 \text{ \AA}$  они пропадают полностью (см. рис. 5). Отмеченный факт позволяет сделать вывод, что данная компонента формируется в области вблизи точки Лагранжа, закрываемой холодной звездой. Поэтому мы использовали полуамплитуду лучевых скоростей красной компоненты линии для определения параметров системы. Как и в предыдущих работах, мы рассчитали поправку полуамплитуды на центр масс

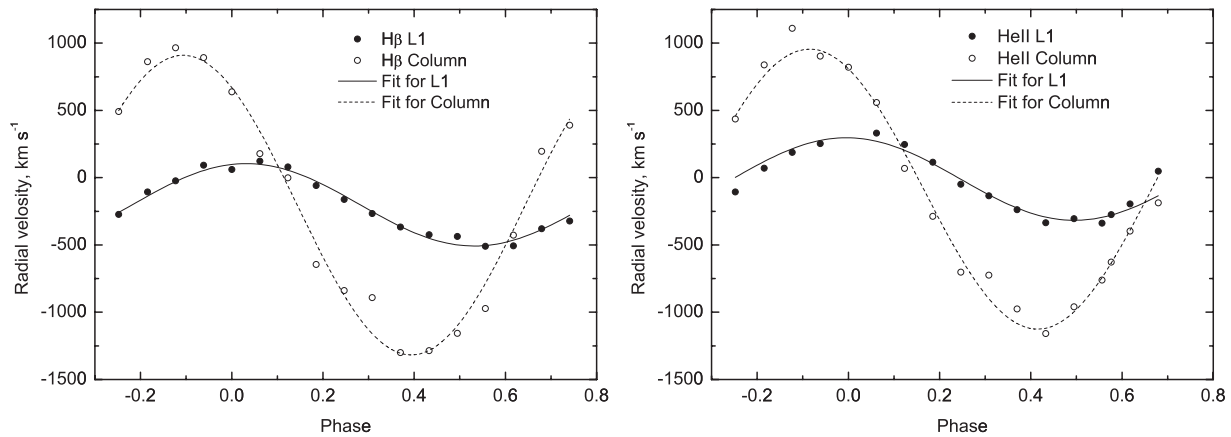


Рис. 6. Кривые лучевых скоростей двух компонент линий  $H\beta$  и  $He II \lambda 4686 \text{ \AA}$  и их аппроксимация синусоидальной функцией, (a) и (b) соответственно.

Таблица 2. Параметры кривых лучевых скоростей двух компонент эмиссионных линий  $H\beta$  и  $He II \lambda 4686 \text{ \AA}$

Line	Red			Blue		
	$X_0$ , phase	$A$ , $\text{km s}^{-1}$	$V_\gamma$ , $\text{km s}^{-1}$	$X_0$ , phase	$A$ , $\text{km s}^{-1}$	$V_\gamma$ , $\text{km s}^{-1}$
$H\beta$	$0.78 \pm 0.005$	$306 \pm 12$	$-201 \pm 8$	$0.64 \pm .005$	$1113 \pm 42$	$-203 \pm 29$
$He II \lambda 4686 \text{ \AA}$	$0.75 \pm 0.01$	$306 \pm 25$	$-10 \pm 17$	$0.66 \pm .005$	$1040 \pm 37$	$-85 \pm 25$

красного карлика  $\Delta K_2 = 68 \text{ km s}^{-1}$ , с применением метода численного моделирования его спектра, подробно описанного в работе [13]. В итоге полуамплитуда лучевых скоростей вторичной компоненты составила  $K_2 = 374 \text{ km s}^{-1}$ . С учетом функции масс  $F(M_1) = 0.36$ , определенной по формуле

$$F(M_1) = 10385 \times 10^{-11} (1 - e^2)^{3/2} K_2^3 P_o, \quad (2)$$

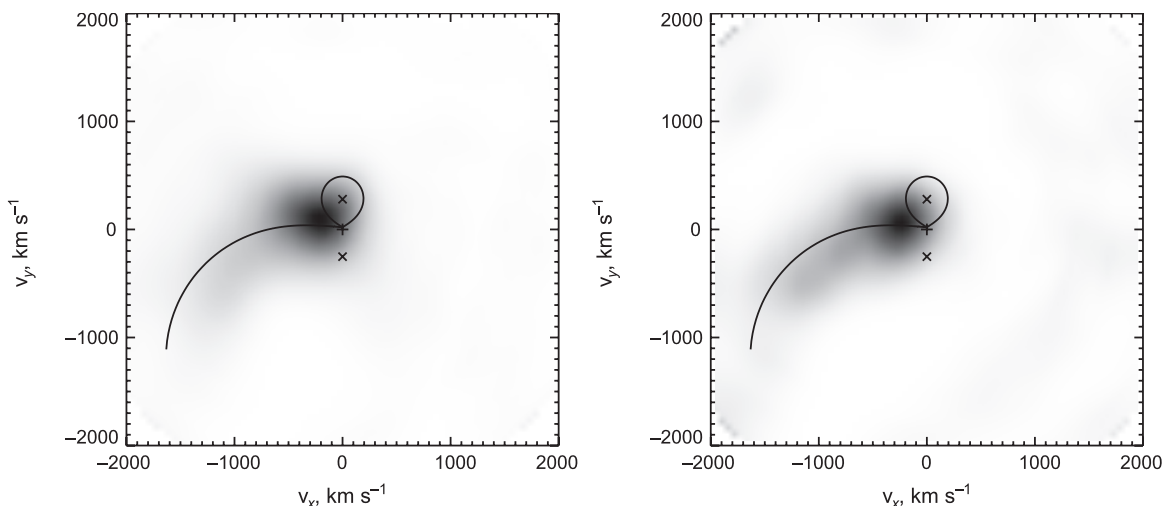
где  $e$  — эксцентриситет орбиты, приравненный 0,  $P_o$  — орбитальный период,  $K_2$  — полуамплитуда лучевых скоростей центра масс вторичного компонента, для заданного угла наклона  $i$  варьировалось отношение масс  $q$  с получением оценок масс компонент, размеров большой полуоси и полости Роша вторичной компоненты. Для найденных значений  $M_2$  мы определяли радиус красного карлика  $R_2$  с использованием эволюционных треков звезд ГП [17]. Учитывая, что радиус полости Роша должен быть заключен в диапазоне  $1.04R_2 < R_{L2} < 1.09R_2$ , мы вычисляли значения  $R_{L2}$  для разных соотношений масс компонентов  $q$  по формуле Игглтона [18]

$$R_{L2} = \frac{0.49q^{2/3}}{0.6q^{2/3} + \ln(1 + q^{1/3})}, \quad 0 < q < \infty,$$

и сравнивали их с полученными ранее радиусами красного карлика  $R_2$ . Значения  $q$ , для которых выполнялось условие  $1.04R_2 < R_{L2} < 1.09R_2$ , накладывались на зависимости угла наклона

системы  $i$  от отношения масс Хорна [19] с учетом найденной нами продолжительности затмения  $\Delta\phi = 0.062$ . В итоге переопределялось новое значение угла наклона системы, с которым расчеты выполнялись заново до схождения итерационного процесса. В результате был получен следующий набор параметров:  $M_1 = 0.56 \pm 0.04M_\odot$ ,  $M_2 = 0.133 \pm 0.008M_\odot$ ,  $R_{L2} = 0.16 \pm 0.01R_\odot$ ,  $R_{L2}/R_2 = 1.04$ ,  $q = 0.24 \pm 0.001$ ,  $i = 79^\circ \pm 1^\circ$ ,  $A = 0.6 \pm 0.02R_\odot$ .

Для оценки размеров областей излучения континуума в системе представляет интерес продолжительность выхода из затмения, которое накладывает ограничения на размер основной области излучения континуума. Зная скорость движения красного карлика по орбите и продолжительность выхода из затмения  $\Delta\phi = 0.004$ , оцениваем размер излучающей области  $K_2\Delta\phi P_o \sim 8300 \text{ km}$ . Вторая область локализована в струе перетекающего вещества, эта область оптически толстая, излучающая в континууме. Влияние этой области мы видим дважды: во время «дипа» происходит самозатмение аккрецирующей структуры, во время затмения в ВС эта область излучает в континууме и постепенно затмевается красным карликом, и мы наблюдаем ступеньку, по продолжительности сравнимую с «дипом». Стоит отметить, что длительность входа и выхода «дипа» равны продолжительности выхода из затмения. Продолжительность «дипа» —  $\Delta\phi = 0.034$ , следовательно, полная протяженность



**Рис. 7.** Доплеровские карты, построенные по линиям  $H\beta$  (а) и  $He\ II\ 4686\ \text{\AA}$  (б). На картах отмечены: «x» — центры масс белого и красного карликов, «+» — центр масс двойной системы, а также полость Роша вторичного компонента и траектория падения вещества с кеплеровскими скоростями.

излучающей области в струе перетекающего вещества вдоль орбиты белого карлика составляет примерно 71 000 км.

### 3.3. Доплеровское картирование

Доплеровские карты построены при помощи пакета программ Шпруита 'Дортар', реализующих метод минимизации энтропии [20]. Отметим, что доплеровские карты восстанавливаются в плоскости скоростей, где ось  $X$  направлена от белого карлика к красному, а ось  $Y$  — вдоль движения красного карлика по орбите. Найденные параметры системы использовались для схематического изображения компонентов системы на доплеровских картах. Результаты картирования с использованием линий  $H\beta$  и  $He\ II\ 4686\ \text{\AA}$  показаны на рис. 7.

Доплеровские карты показывают яркую область вблизи точки Лагранжа и идущую от нее струю вещества, перетекающего в полость Роша белого карлика с нарастающей скоростью. На всех построенных картах отсутствуют любые следы дисковой структуры, что подтверждает принадлежность  $RX\ 152506$  к классу полярных. В области вблизи точки  $L1$  формируются красные компоненты линий, в перетекающей струе — синяя. Значительный вклад струи мы наблюдали в полярных  $V808\ Aur$  [13], в момент перехода в высокое состояние, и  $BS\ Tri$  [11], со вторым максимумом, но менее интенсивным, чем в исследуемом объекте (см. рисунок 6 в работе [11]). Поэтому мы предполагаем, что вклад струи становится значительным при активности обоих полюсов белого карлика. Подтвердить данную гипотезу можно в результате

теоретического восстановления структуры аккреции системы с применением трехмерных магнито-гидродинамических моделей [21].

## 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведены исследования объекта  $RX\ 152506$  на основе спектральных и фотометрических данных. Все наблюдаемые особенности объекта подтверждают, что он является поляром. По фотометрическим данным определен орбитальный период системы  $P_o = 0^d06462793(3)$ . Анализ кривых блеска в высоком и среднем состоянии показал, что в системе аккреция происходит на два полюса. Определена продолжительность затмения системы и звездная величина в полосе  $R_c = 22.08 \pm 0.24$  в момент полного затмения. Сделана оценка размеров двух излучающих областей: примерно 8300 км — основной источник непрерывного излучения вблизи белого карлика и около 71 000 км — область излучения континуума в струе перетекающего вещества. Спектры объекта имеют вид, характерный для катаклизмических переменных с канализированной аккрецией вещества. Профили эмиссионных линий имеют сложную структуру. Мы выделили две компоненты линий, высокоамплитудную и низкоамплитудную, и определили их лучевые скорости в течение орбитального периода. Показано, что низкоамплитудная компонента формируется вблизи точки Лагранжа, поэтому ее полуамплитуда использовалась для определения параметров системы ( $M_1 = 0.56 \pm 0.04M_\odot$ ,  $M_2 = 0.133 \pm 0.008M_\odot$ ,  $q = 0.24 \pm 0.001$ ,  $i = 79^\circ \pm 1^\circ$ ,  $A = 0.6 \pm 0.02R_\odot$ ,  $R_{L2} = 0.16 \pm 0.01R_\odot$ ,  $R_{L2}/R_2 = 1.04$ ). Полученная масса белого карлика оказалась довольно

**Таблица 3.** Массы белых карликов в системах типа поляра

Object	$M_1, M_{\odot}$	Ref.
USNO-A2.00825-18396733	$0.75 \pm 0.03$	[22]
BS Tri	$0.75 \pm 0.02$	[11]
V808 Aur	$0.86 \pm 0.08$	[13]
CRTS CSS 130604 J 215427+155714	$0.83 \pm 0.10$	[23]

низкой по сравнению как с массами, найденными нами в предыдущих работах (см. таблицу 3), так и с массами, представленными в каталоге Риттера и Колба (см. Введение). Возможно, именно малая масса белого карлика приводит к наблюдаемой активности двух его магнитных полюсов. Для дальнейшего исследования объекта планируется проведение новых наблюдений, а также моделирование его оптического излучения.

### ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (РНФ 14-50-00043) и Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ 18-42-160003-а). Часть работы сделана при поддержке гранта РФФИ 16-32-60039.

### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. H. Ritter and U. Kolb, *Astron. and Astrophys.* **404**, 301 (2003).
2. M. M. Shara, D. Prialnik, Y. Hillman, and A. Kovetz, *Astrophys. J.* **860**, 110 (2018).

3. A. J. Drake, S. G. Djorgovski, A. Mahabal, et al., *Astrophys. J.* **696**, 870 (2009).
4. L. K. Hardy, M. J. McAllister, V. S. Dhillon, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **465**, 4968 (2017).
5. V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev, *Astronomy Letters* **31**, 194 (2005).
6. R. C. Bohlin, in *American Astronomical Society Meeting Abstracts #188* (1996), *Bulletin of the American Astronomical Society*, **28**, 910.
7. J. Lafler and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965).
8. G. D. Schmidt, P. Szkody, L. Homer, et al., *Astrophys. J.* **620**, 422 (2005).
9. N. Katysheva and S. Shugarov, *Memorie della Società Astronomica Italiana* **83**, 670 (2012).
10. D. V. Denisenko, M. N. Pavlinsky, R. A. Sunyaev, et al., *Astronomy Letters* **32**, 252 (2006).
11. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, et al., *Astronomy Letters* **41**, 646 (2015).
12. A. D. Schwöpe, F. Mackebrandt, B. D. Thinius, et al., *Astronomische Nachrichten* **336**, 115 (2015).
13. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, et al., *Astrophysical Bulletin* **71**, 101 (2016).
14. H. Worpel, A. D. Schwöpe, T. Granzer, et al., *Astron. and Astrophys.* **592**, A114 (2016).
15. N. F. Voikhanskaya, *Sov. Astron. Letters* **13**, 250 (1987).
16. J. Patterson, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **106**, 209 (1994).
17. L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **141**, 371 (2000).
18. P. P. Eggleton, *Astrophys. J.* **268**, 368 (1983).
19. K. Horne, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **213**, 129 (1985).
20. H. C. Spruit, arXiv:astro-ph/9806141 (1998).
21. A. G. Zhilkin, D. V. Bisikalo, and P. A. Mason, *Astronomy Reports* **56**, 257 (2012).
22. M. M. Gabdeev, N. V. Borisov, V. V. Shimansky, and O. I. Spiridonova, *Astronomy Reports* **59**, 213 (2015).
23. N. V. Borisov, M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, et al., *Astrophysical Bulletin* **72**, 184 (2017).

## Spectroscopic and Photometric Study of the Polar 1RXS J152506.9-032647

**M. M. Gabdeev, V. V. Shimansky, N. V. Borisov, I. F. Bikmaev, A. S. Moskvitin, and A. I. Kolbin**

We present the photometric and spectroscopic observations of the polar 1RXS J152506.9-032647. The observations were carried out at the 6-m and Zeiss-1000 telescopes of the SAO RAS, and at the 1.5-m Russian-Turkish telescope RTT150. The determined orbital period of the system is  $0^d06462793$ . The object was observed in the intermediate  $\langle R_c \rangle = 17^m8$  in 2013 and 2017 and high states  $\langle R_c \rangle = 16^m8$  in 2016. The light curve analysis showed that the accretion in the system occurs towards two magnetic poles of the white dwarf. The spectra of the object was typical of polars with strong hydrogen emissions of the Balmer series (H I), of neutral (He I), and ionized (He II) helium, and weaker lines of heavier elements (Fe II, C II, C III, and Mg II). Hydrogen and helium emission lines showed a two-component structure. We determined the parameters of the system:  $M_1 = 0.56 \pm 0.04 M_{\odot}$ ,  $M_2 = 0.133 \pm 0.008 M_{\odot}$ ,  $q = 0.24 \pm 0.001$ ,  $i = 79^{\circ} \pm 1^{\circ}$ ,  $R_{L2} = 0.16 \pm 0.01 R_{\odot}$ ,  $R_{L2}/R_2 = 1.04$ , and  $A = 0.6 \pm 0.02 R_{\odot}$ .

Keywords: *novae, cataclysmic variables—stars: fundamental parameters*