

СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛЯРА BS Tri

© 2015 г. Н. В. Борисов¹, М. М. Габдеев^{1*},
В. В. Шиманский², Н. А. Катышева³, С. Ю. Шугаров^{3,4}

¹Специальная астрофизическая обсерватория РАН, пос. Нижний Архыз

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань

³Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова

⁴Астрономический институт Словацкой АН, Татранская Ломница, Словакия

Поступила в редакцию 25.06.2015 г.

Выполнен анализ спектров катаклизмической переменной BS Tri, полученных в сентябре 2011 г. и августе 2012 г. на 6-м телескопе БТА САО РАН. Спектры объекта показывают плоский континуум с наложением сильных эмиссионных линий водорода серии Бальмера, нейтрального и ионизованного гелия. Анализ профилей линий показал, что они состоят из нескольких компонент, которые формируются в аккреционной структуре и на облученной поверхности красного карлика. Измеренные лучевые скорости одной из компонент линии, формирующейся в пятне на поверхности красного карлика, позволили оценить параметры системы $M_1 = 0.75 \pm 0.02 M_\odot$, $M_2 = 0.16 \pm 0.01 M_\odot$, $q = 0.21 \pm 0.02$, $R_l = 0.18 \pm 0.02 R_\odot$. Доплеровские карты, построенные по эмиссионным линиям, показали отсутствие дисковой аккреции, что определяет систему как поляр.

Ключевые слова: CV типа AM Her, BS Tri.

DOI: 10.7868/S0320010815110029

ВВЕДЕНИЕ

Звезды типа AM Her (поляры) — подкласс катаклизмических переменных, в которых аккреция вещества с заполняющего свою полость Роша красного карлика идет на сильно замагниченный белый карлик. Высокая напряженность магнитного поля синхронизирует вращение компонент и предотвращает формирование аккреционного диска, т.е. вещество аккрецирует по магнитным силовым линиям на один или оба полюса белого карлика. В месте соударения струи аккрецирующего вещества с поверхностью белого карлика формируется горячее пятно — источник рентгеновского излучения. Рентгеновское излучение нагревает как струи аккрецирующего вещества, так и поверхность красного карлика, где образуется область переизлучения. Оптическое излучение полярных звезд сильно поляризовано. Более подробно описание физики полярных звезд мы дали в первой статье цикла Габдеев и др. (2015).

Яркий рентгеновский источник RX J0209.4+2832 (BS Tri) был обнаружен Швопе и др. (1993) и впоследствии добавлен в каталог катаклизмических переменных Доунса и др. (1997). Первые

оптические наблюдения BS Tri провели Чианг-Хуа Ву и др. (1999) на 2.16-м телескопе Пекинской астрономической обсерватории. В полученном с экспозицией 3000 с. единичном спектре были обнаружены сильные эмиссионные линии водорода серии Бальмера и нейтрального гелия, а так же линия ионизованного гелия HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$. Несмотря на наличие данной линии, объект не был отождествлен как магнитная катаклизмическая переменная.

Последующие фотометрические наблюдения (Денисенко и др., 2005, 2006; Родригез и др., 2005) показали, что система является короткопериодической переменной с орбитальным периодом $P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}06685$ (96.26 мин) и имеет глубокие затмения порядка 4.5^m звездных величин и продолжительностью около 6 мин. В работе Денисенко и др. (2005) вид кривой блеска объяснен изменениями геометрии аккреционного диска, и только в работе Родригез и др. (2005) впервые сказано о магнитной природе объекта.

В данной статье мы представляем результаты спектральных наблюдений объекта BS Tri. Во втором разделе описаны наблюдения и обработка данных. В третьем разделе проведен анализ спектров. Четвертый раздел посвящен оценке параметров

* Электронный адрес: crucifer.troll@gmail.com

Таблица 1. Журнал наблюдений BS Trі

JD 2400000+	Спектральный диапазон или фильтр	Разрешение, Å/px	Интервалы фаз	Количество изображений	Размер изоб- ражений, arcsec
55826	4000–7300 Å	5.2	0.45–0.64, 0.71–1.63	18	1.0
55826	V	—	0.39	1	1.0
56166	4000–7300 Å	2.6	0.5–2.44	31	1.2
56166	V	—	0.45–0.48	2	1.2

системы, пятый — доплеровским картам. В заключение подведены итоги работы.

НАБЛЮДЕНИЯ

Спектроскопические наблюдения BS Trі выполнены 21.09.2011 и 26.08.2012 на 6-м телескопе БТА САО РАН прибором SCORPIO-2 в режиме спектроскопии с длинной щелью и ПЗС-приемником E2V 42-90 (4600 × 2048 пикселей) (Афанасьев, Моисеев, 2011). Осенью 2011 г. объект наблюдали с голографической решеткой VRHG1200@540 и щелью $w_{\text{slit}} = 1''$. Было получено 18 спектров с равными экспозициями в 300 с в диапазоне $\lambda = 4000\text{--}7300$ Å, покрывающих 1.2 периода системы. Обнаружив раздвоение пиков эмиссионных линий, мы запланировали следующие наблюдения, которые состоялись в августе 2012 г. В них использовалась щель $w_{\text{slit}} = 0.5''$, что позволило получить спектры в диапазоне $\lambda = 4000\text{--}7300$ Å с итоговым разрешением $\Delta\lambda = 2.6$ Å. При хороших погодных условиях с размером звездных изображений $d = 1.2''$ было накоплено 31 спектральное изображение с одинаковой длиной экспозиций в 300 с. Наблюдения продолжались в течение 3 ч, которые покрыли неполных два орбитальных периода системы. В обоих случаях для последующей калибровки длин волн и потоков излучения были сняты спектры He–Ne–Ar лампы и спектро-фотометрического стандарта G191B2B (Бохлин, 1996).

Фотометрические наблюдения выполнены на Южной станции МГУ 26.09.2011. Использовался телескоп Цейсс-600 с ПЗС-камерой AP-47p; чип охлаждался до температуры -26°C . Наблюдения проводились в полосе V с экспозициями 120 с. Для последующей обработки были получены снимки плоского поля, темнового тока и электронного минимума. Оценка блеска системы в ночи наблюдений проводилась по кадрам отождествления в по-

лосе V, полученным на БТА прибором SCORPIO-2. Привязка осуществлялась к опорным звездам из работы Денисенко и др. (2006).

Спектральные данные обработаны по стандартной методике в среде IDL, а фотометрические — с помощью программы Maxim DL. Журнал наблюдений представлен в табл. 1.

АНАЛИЗ СПЕКТРОВ

Наблюдаемые спектры BS Trі имеют плоский континуум с наложенными на него сильными эмиссионными линиями балмеровской серии водорода H α , H β , H γ , H δ , нейтрального HeI λ 4026, 4388, 4471, 4921, 5015, 5876, 6678, 7065 Å и ионизованного HeII λ 4541, 4686, 5411 Å гелия, ионизованного железа FeII λ 5169 Å и боуэновской блендой CIII–NIII λ 4640 – 4650 Å (рис. 1a). Сравнивая с водородными, высокая интенсивность линии HeII λ 4686 Å обычно характерна для систем с канализированной аккрецией, что косвенно указывает на принадлежность BS Trі к классу поляров. Интенсивности и профили всех линий существенно меняются в зависимости от фазы орбитального периода.

Орбитальный период системы был переопределен по нашим фотометрическим наблюдениям 2005–2012 гг. Методы и особенности определения будут представлены в отдельной работе, здесь мы используем только новую эфемериду:

$$HJD = 2453666.542(\pm 0.002) + \\ + 0.0668810424(\pm 0.0000000002)E,$$

где нулевая фаза соответствует моменту центра затмения.

На рис. 2 и 3 показаны изменения профилей линий H α , H β , HeII λ 4686 Å, HeI λ 5876 Å с фазой орбитального периода ϕ для спектров 2011 и 2012 гг. соответственно. Очевидно, что каждая

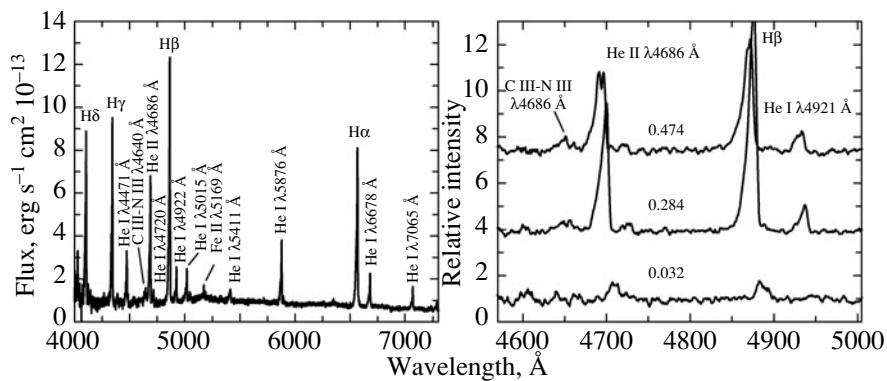


Рис. 1. Спектр BS Tr в фазе максимума блеска с отождествленными линиями (а). Три состояния профилей линий снизу вверх: профиль со смещением в красную сторону, с однопиковым профилем и двухпиковым профилем (б).

линия проходит через три основных состояния: с однопиковым профилем, двухпиковым профилем и профилем со смещением в красную сторону (рис. 2б). Последний наблюдается в фазе, близкой к нулю, и сопровождается заметным ослаблением интенсивности линий. В диапазоне фаз $\phi = 0.6–1.2$ все линии имеют однопиковые профили с широкой подложкой до $\Delta V_r = 700$ км/сек, а их доплеровские смещения изменяются наиболее быстро. В фазах $\phi = 0.2–0.6$ линии разделяются на две компоненты с достаточно медленным изменением доплеровских смещений.

Сравнение интенсивностей линий в спектрах 2011 и 2012 гг. показало, что произошло изменение их характеристик. Линия He II $\lambda 4686$ Å стала более интенсивной (рис. 4), а интенсивность линии H β практически не изменилась (рис. 5). Данный эффект можно объяснить переменностью блеска при увеличении темпа аккреции, что приводит к повышению температуры горячего пятна на поверхности белого карлика и более эффективной ионизации гелия. Однако оценка, сделанная по кадрам отождествления объекта, полученным в те же ночи, показала, что блеск системы не изменился (рис. 6). Все точки фотометрических наблюдений лежат на плато в диапазоне фаз $\phi = 0.35–0.48$ и не отличаются от среднего значения блеска. Дальнейший анализ выявил различие интенсивностей других эмиссионных линий в спектрах 2011 и 2012 гг. В частности, изменился балмеровский декремент, линия H α стала значительно слабее (рис. 7), а H γ осталась на прежнем уровне. Линии нейтрального гелия в длинноволновой части спектра также ослабли, пропадая полностью на некоторых фазах (рис. 8–10).

На рис. 11 показаны кривые лучевых скоростей четырех эмиссионных линий H α , H β , He II $\lambda 4686$ Å, He I $\lambda 5876$ Å, измеренных

методом кросс-корреляции по однопиковому профилю в спектрах 2011 г. Кривые имеют схожие синусоидальные формы, амплитуда для всех линий различается несущественно и равняется ~ 450 км/с. Кривые лучевых скоростей 2012 г. по тем же линиям имеют схожие формы, но меньшую амплитуду. Более подробный разбор особенностей кривой лучевых скоростей на примере линии He II $\lambda 4686$ Å по данным за 2012 г. мы приводим ниже.

На рис. 12 показаны значения лучевых скоростей, измеренных методом кросс-корреляции по однопиковому профилю линии He II $\lambda 4686$ Å (кружки), красной (треугольники) и синей (квадраты) компонентам двухпикового профиля в фазах раздвоения линий, а также аппроксимация синусоидой значений, полученных для фаз $\phi = 0.6–1.2$ и $\phi = 1.6–2.2$ (сплошная линия). Значения лучевых скоростей представлены в табл. 2. Выбор линии He II $\lambda 4686$ Å обусловлен наиболее четким и продолжительным разделением ее профиля на две компоненты, а также возможным присутствием в линиях водорода блендирующих линий He II.

Основной областью излучения в полярах является аккреционная структура, в которой формируется непрерывный спектр и однопиковая компонента линий с широкой подложкой, наблюдаемая на фазах $\phi = 0.6–1.2$. Лучевые скорости в газе, движущемся в струе, определяются мгновенной проекцией оси магнитного поля белого карлика на луч зрения. Синхронизация вращения белого карлика в поляре с его орбитальным движением приводит к синусоидальным изменениям лучевых скоростей, что хорошо видно на рис. 11 и 12. Отметим, что достижение кривой лучевых скоростей максимальных значений вблизи фазы $\phi = 0$ указывает на ориентацию струи аккрецирующего

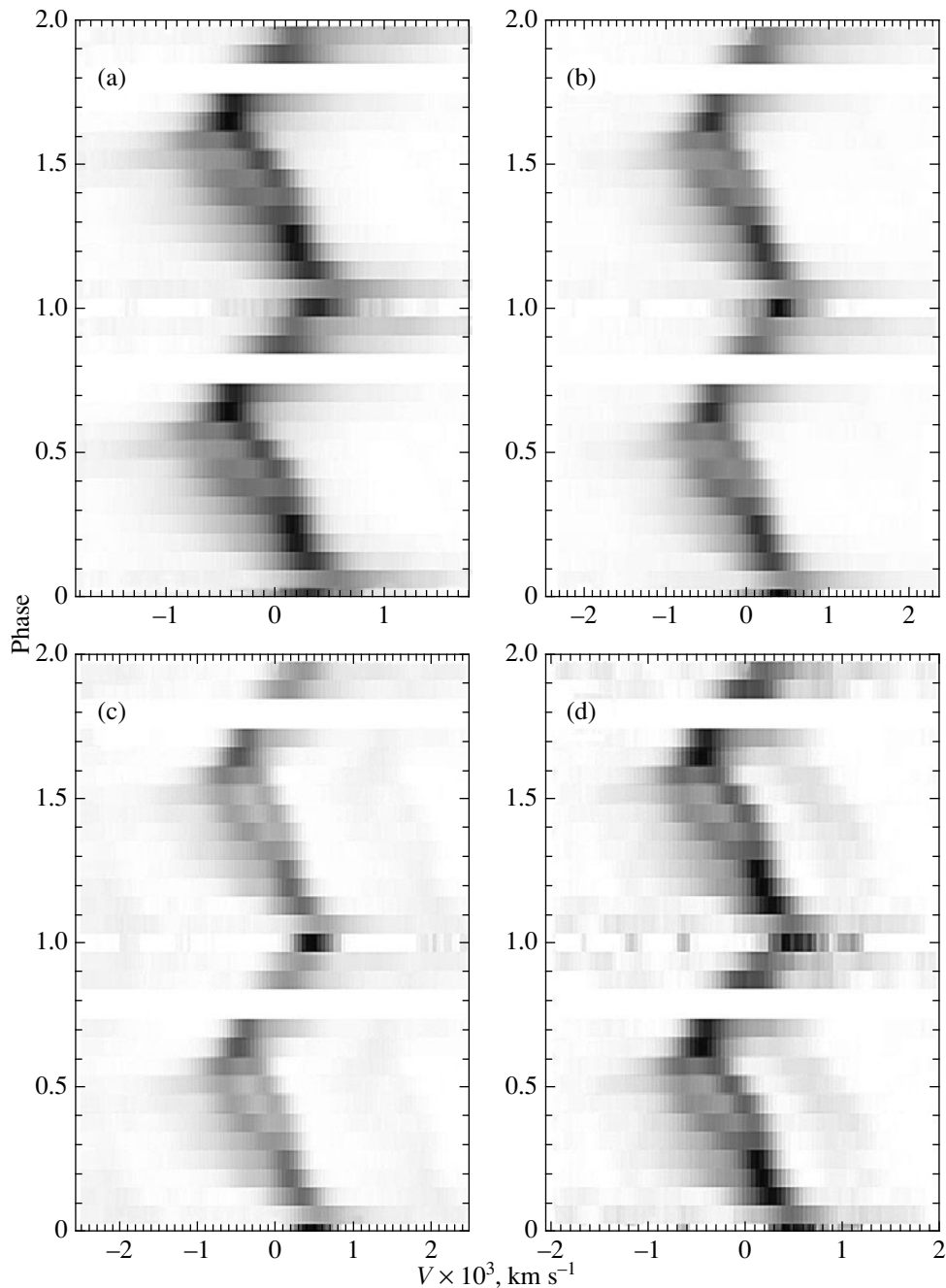


Рис. 2. Изменение профилей линий $H\alpha$ (a), $H\beta$ (b), $HeII\ 4686\ \text{\AA}$ (c), $HeI\ 5876\ \text{\AA}$ (d) на протяжении периода в спектрах 2011 г.

вещества от вторичной компоненты к белому карлику, т.е. направление оси его магнитного поля в значительной степени совпадает с направлением большой полуоси системы. Геометрия BS Tr1 такова, что при затмении струи аккрецирующего вещества на фазах, близких к $\phi = 0$, остается видимой ее небольшая часть вблизи поверхности белого карлика. Вещество, падающее в этой области на

белый карлик, обладает наибольшей скоростью, что проявляется в виде скачка на кривой лучевых скоростей (см. рис. 3 и 12).

Начиная с фазы $\phi = 1.2$, заметный вклад в оптический спектр системы вносит часть поверхности второго компонента, разогреваемая рентгеновским излучением горячего пятна. Формирующееся в атмосфере красного карлика инверсное распределе-

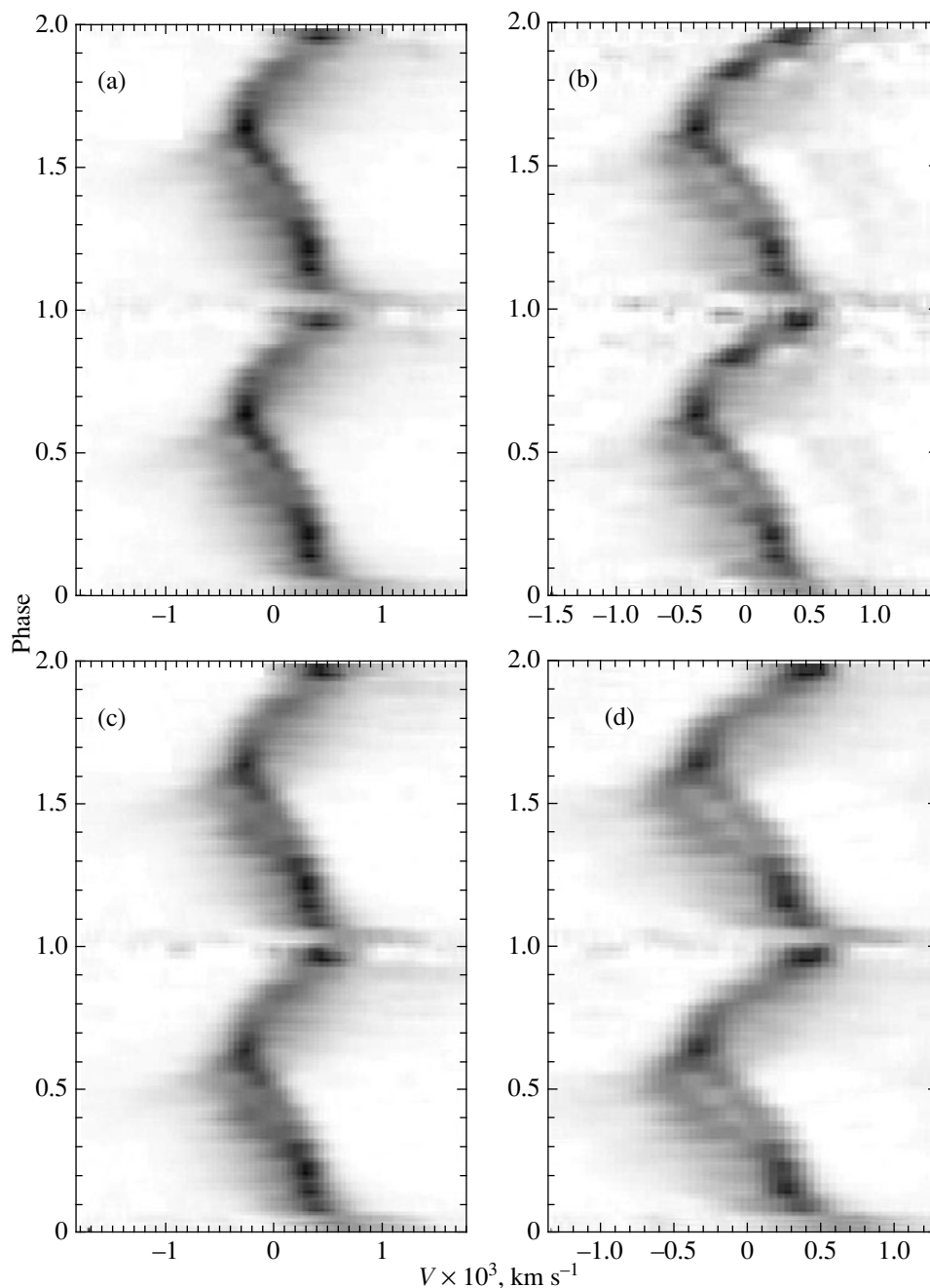


Рис. 3. Изменение профилей линий $H\alpha$ (a), $H\beta$ (b), $HeII\ 4686\ \text{\AA}$ (c), $HeI\ 5876\ \text{\AA}$ (d) на протяжении периода в спектрах 2012 г.

ние температуры приводит к появлению в его спектре эмиссионных линий, которые складываются с линиями струи аккрецирующего вещества. В результате кривая лучевых скоростей, определенных по суперпозиции излучений двух областей, начинает отклоняться от синусоиды в сторону больших значений. В диапазоне фаз $\phi = 0.3\text{--}0.6$ разделение компонент линий становится наиболее существен-

ным и допускает отдельное измерение лучевых скоростей излучающих областей, представленных на рис. 12 (треугольники и квадраты). На рисунке видно, что лучевые скорости, полученные по синей компоненте, хорошо ложатся на аппроксимацию синусоидой лучевых скоростей линий, сформированных в струе аккрецирующего вещества, за исключением значения на фазе $\phi = 0.5$. Отклонение

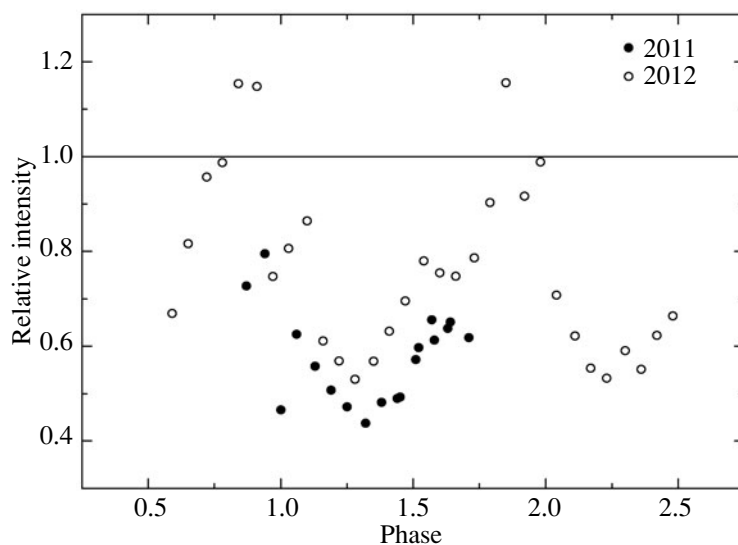


Рис. 4. Отношение эквивалентных ширин линий $\text{He II } 4686 \text{ \AA}/\text{H}\beta$ в зависимости от фазы.

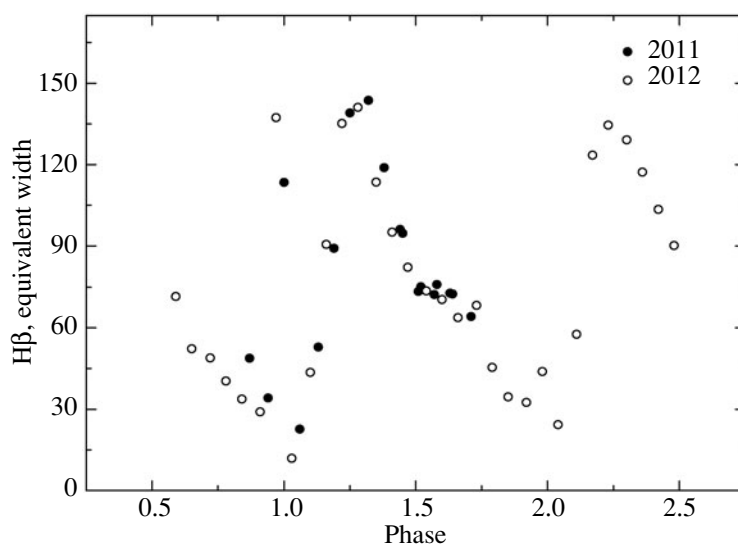


Рис. 5. Изменение эквивалентной ширины линии $\text{H}\beta$ в зависимости от фазы.

данной точки также объясняется частичным затмением струи аккрецирующего вещества, но только белым карликом. Величина отклонения не настолько большая, как на фазе $\phi = 0$, так как область наибольшей скорости движения газа остается за лимбом белого карлика. Оптимальные условия наблюдений красной компоненты линий достигаются в фазах $\phi = 0.3-0.5$, когда облучаемая поверхность холодной звезды повернута к наблюдателю, а ее лучевая скорость максимально отлична от

скорости струи аккрецирующего вещества. Таким образом, лучевые скорости, измеренные по красной компоненте, соответствуют движению холодной звезды и могут быть использованы для определения параметров системы (см. ниже).

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ

Как отмечено выше, линия $\text{He II } 4686 \text{ \AA}$ допускает наиболее аккуратное измерение лучевых

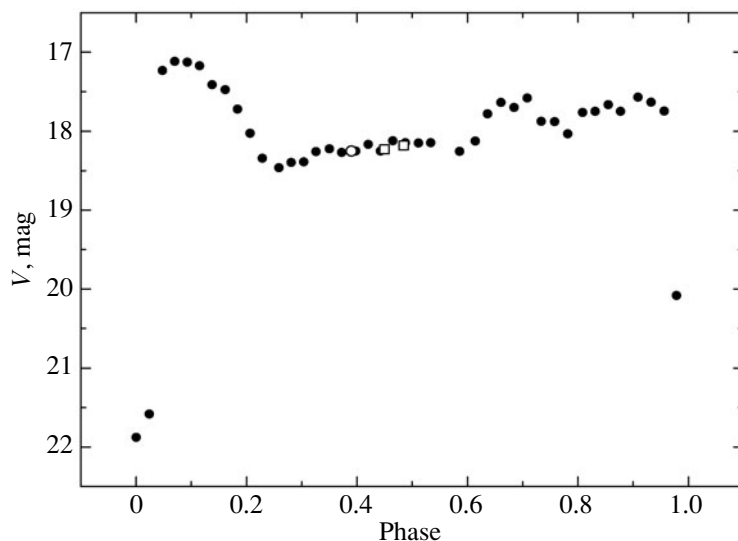


Рис. 6. Кривая блеска в полосе V , полученная 26.09.2011 (заполненные кружки). Полые кружки — оценка блеска в момент спектральных наблюдений 21.09.2011, полые квадраты — 26.08.2012.

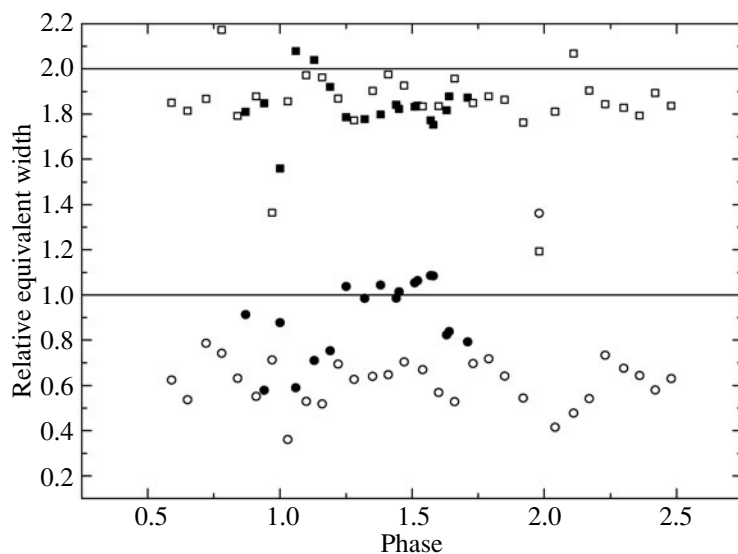


Рис. 7. Бальмеровский декремент в зависимости от фазы: $H\alpha$ — кружки, $H\gamma$ — квадраты. К значениям для линии $H\gamma$ прибавлена единица. Заполненные значки — данные 2011 г., полые — 2012 г.

скоростей красной и синей компонент. Поэтому мы использовали ее для определения лучевых скоростей горячего пятна на поверхности красного карлика (красная компонента линии), формируемого под действием эффектов отражения. Поскольку они охватывают небольшую часть орбитального периода системы, их аппроксимация даже в рамках модели круговой орбиты допускает большие неопределенности. Поэтому мы провели данную

аппроксимацию со значениями гамма-скорости и момента нулевой фазы, предварительно установленными из анализа кривой лучевых скоростей синей компоненты линии для полного орбитального периода. Найденная в результате полуамплитуда лучевой скорости горячего пятна составила $K_h = 364 \pm 10$ км/с.

Абубекеров и др. (2006) показали, что в системах с эффектами отражения лучевые скорости

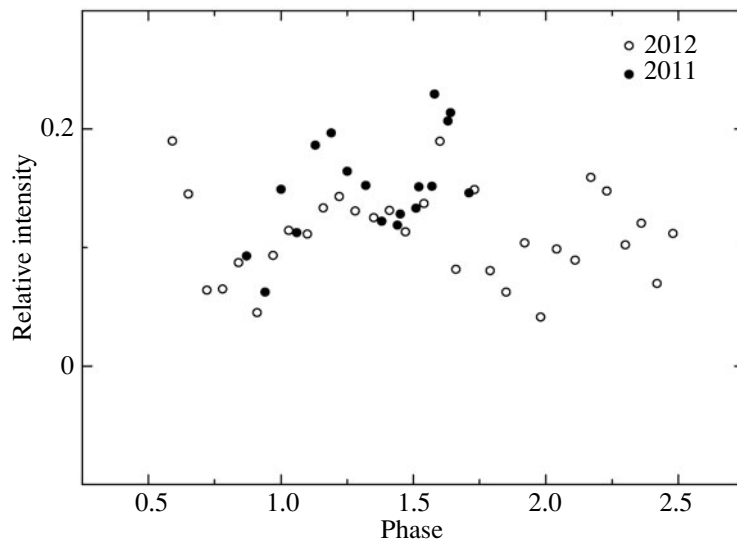


Рис. 8. Отношение эквивалентных ширин линий HeI 4921 Å/HeII 4686 Å в зависимости от фазы.

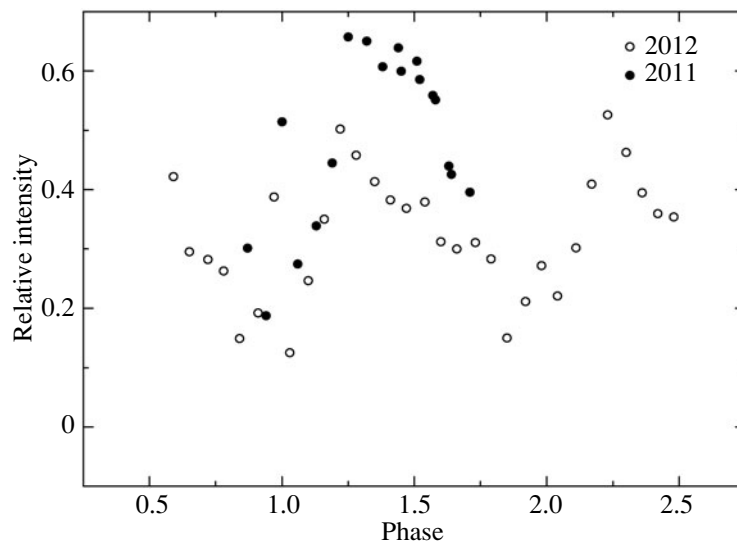


Рис. 9. Отношение эквивалентных ширин линий HeI 5876 Å/HeII 4686 Å в зависимости от фазы.

горячего пятна на поверхности звезды K_h и ее центра масс K_2 отличаются вследствие ее вращения. Оценку поправки скорости ΔK_2 , обусловленной вращением, мы определили из теоретических спектров BS Tri, рассчитанных программным комплексом SPECTR (Шиманский и др., 2003) для итогового набора ее параметров (см. ниже) с учетом эффектов отражения и несферичности компонент. При расчете теоретических спектров использовались отклонения от ЛТР для HI, HeI, HeII, предварительно вычисленные комплексом NONLTE (Са-

хибуллин, 1983) для набора моделей атмосфер на поверхности красного карлика. Учитывая синхронное вращение красной компоненты по модельным спектрам методом кросс-корреляции рассчитывались лучевые скорости эмиссионных линий. В результате поправка лучевой скорости оказалась равна $\Delta K_2 = 54$ км/с, а скорость центра масс второго компонента $-K_2 = 418 \pm 10$ км/с. Соответствующая ей функция масс главного компонента с учетом известного орбитального периода составила $f(M_1) = 0.51 \pm 0.03 M_\odot$.

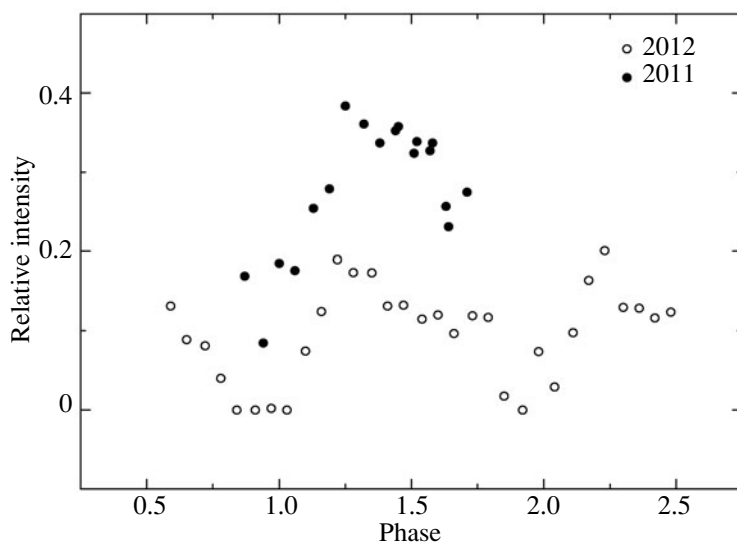


Рис. 10. Отношение эквивалентных ширин линий He I $\lambda 6678 \text{ \AA}$ /He II $\lambda 4686 \text{ \AA}$ в зависимости от фазы.

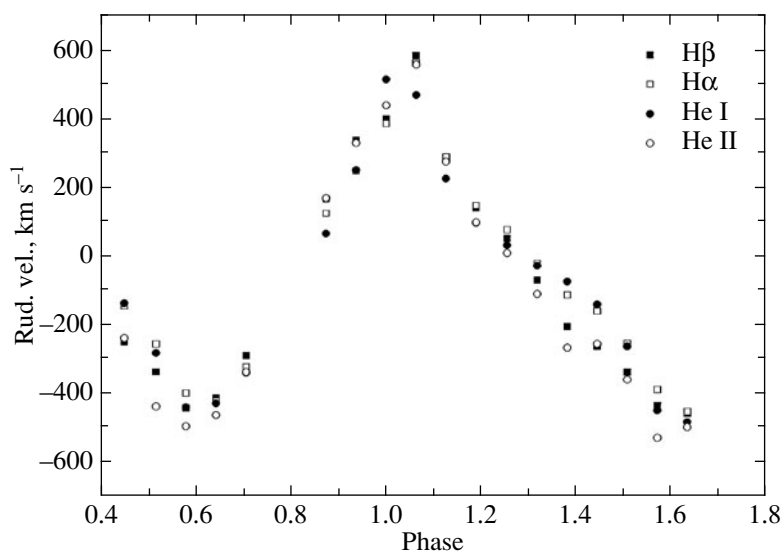


Рис. 11. Кривые лучевых скоростей эмиссионных линий H α , H β , He II $\lambda 4686 \text{ \AA}$, He I $\lambda 5876 \text{ \AA}$ по спектрам 2011 г.

Наличие глубокого затмения указывает близость угла наклона i орбиты BS Tr к 90° , что позволяет без потери точности считать $\sin i = 1$. Тогда, задавая массу главного компонента M_1 , по известной функции масс можно вычислить отношение масс $q = M_1/M_2$, массу вторичного компонента M_2 и большую полуось орбиты A . Зная отношение масс и большую полуось, с применением формулы, предложенной Игглтоном (1983), можно определить радиус полости Роша вторичного компонента

R_{L2} :

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

Найденный радиус мы сравнивали с его физическим радиусом R_2 , получаемым по эволюционным трекам маломассивных звезд Главной Последовательности, построенными Жирарди и др. (2000), для вычисленной массы M_2 . Результаты расчетов для набора значений M_1 представлены в табл. 3.

Предполагая, что радиус полости Роша заключен в диапазоне значений $1.05R_2 < R_{L2} < 1.09R_2$, можно получить оценку массы белого карлика $M_1 = 0.75 \pm 0.02 M_\odot$. Соответствующая ей масса вторичного компонента равна $M_2 = 0.16 \pm 0.01 M_\odot$, а ее радиус $R_2 = 0.18 \pm 0.02 R_\odot$. Для сравнения мы приводим массу красного карлика найденного по полуэмперическим зависимостям из работы Книгге 2006 $M_2 = 0.10\text{--}0.11 M_\odot$. Что значительно меньше значения найденного напрямую из наблюдений.

ДОПЛЕРОВСКИЕ КАРТЫ

Для анализа структуры аккреционных потоков и излучающих областей в BS Tr1 мы построили набор ее доплеровских карт с использованием четырех линий: $H\alpha$, $H\beta$, HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$, HeI $\lambda 5876 \text{ \AA}$ (см. рис. 13 и 14). Доплеровские картирование выполнено нами с использованием программы Дортар, написанной Шпруитом (1998), реализующей метод минимизации энтропии. На полученных картах, помимо наблюдаемых областей излучения, нанесены в координатах скоростей положение полости Роша вторичного компонента, внутренняя точка Лагранжа, центр масс системы и белого карлика и струя аккрецирующего вещества, падающая на его поверхность. Ось X направлена от белого карлика к красному, ось Y совпадает с направлением мгновенной скорости движения красного карлика.

Очевидно, что у BS Tr1 выделяются две области излучения всех эмиссионных линий: первая расположена на поверхности вторичного компонента и имеет скорость $V_x \sim 300 \text{ км/с}$, а вторая связана со струей аккрецирующего вещества, переносимой вещество с красного на белый карлик. Четкая ориентация этой области вдоль теоретического направления струи аккрецирующего вещества, вероятно, указывает на сильное магнитное поле белого карлика, которое параллельно большой полуоси системы. Аналогичный вывод можно сделать из факта полного отсутствия на всех картах BS Tr1 даже слабой структуры аккреционного диска или газовой оболочки. Таким образом, доплеровские карты подтверждают сделанный выше вывод о принадлежности данной системы к классу полярных.

Область излучения линий водорода $H\alpha$, $H\beta$, имеющих наибольшую оптическую толщину и более низкую температуру формирования, наблюдается почти как единое целое и простирается вдоль струи аккрецирующего вещества. В 2012 г. происходит заметное смещение области формирования эмиссионных линий в сторону поверхности вторичного компонента. Излучение линии HeI $\lambda 5876 \text{ \AA}$ с много меньшей оптической толщиной происходит, главным образом, вблизи поверхности красного карлика. По данным 2011 г. наиболее горячая

Таблица 2. Лучевые скорости BS Tr1, измеренные методом кросс-корреляции по однопиковому профилю линии HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$, синей и красной компонентам двухпикового профиля в фазах раздвоения линий

HJD 2456116+	Фаза периода	Лучевая скорость, метод кросс- корреляции	Лучевая скорость, синяя и красная компоненты
.44354	0.586	−328	—
.44800	0.653	−329	—
.45222	0.716	−221	—
.45644	0.779	−68	—
.46067	0.843	189	—
.46490	0.906	312	—
.46912	0.969	392	—
.47334	1.032	827	—
.47756	1.095	344	—
.48178	1.158	225	—
.48600	1.221	165	—
.49022	1.284	78	—
.49444	1.348	−38	—
.49866	1.411	−91	110, −350
.50288	1.474	−188	−12, −396
.50710	1.537	−303	−136, −487
.51133	1.600	−327	—
.51555	1.663	−262	—
.51977	1.727	−80	—
.52399	1.790	102	—
.52821	1.853	205	—
.53243	1.916	360	—
.53665	1.979	399	—
.54087	2.042	652	—
.54509	2.105	303	—
.54932	2.169	194	—
.55354	2.232	159	—
.55777	2.295	97	—
.56199	2.358	8	190, −188
.56621	2.421	−95	103, −275
.57042	2.484	−248	−25, −479

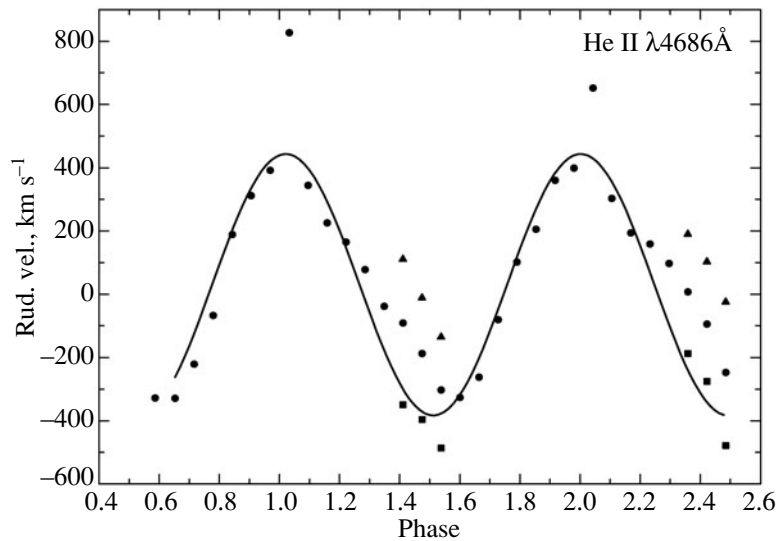


Рис. 12. Кривая лучевых скоростей линии HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ (кружки), лучевые скорости красной компоненты (треугольники), лучевые скорости синей компоненты (квадраты), аппроксимация синусоидой (сплошная линия). Пояснение см. в тексте.

линия HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ простирается вдоль струи до значений скоростей более 500 км/с . В 2012 г. выделяется область излучения на поверхности вторичной компоненты, что может быть обусловлено его большим прогревом мягким рентгеновским излучением.

В целом, анализ доплеровских карт позволяет сделать вывод об излучении достаточно мягкого рентгеновского потока со значительной ультрафиолетовой компонентой, обеспечивающей флуоресценцию не только в линиях HeII, но и линиях HI и HeI.

Таблица 3. Параметры компонент системы BS Tri для заданного значения масс M_1 при функции масс $f(M_1) = 0.51$

$M_1/M_\odot$	q	$M_2/M_\odot$	$R_{L2}/R_\odot$	$R_2/R_\odot$	R_{L2}/R_2
0.73	0.200	0.146	0.185	0.193	1.125
0.74	0.208	0.154	0.188	0.172	1.090
0.75	0.216	0.162	0.190	0.180	1.057
0.76	0.224	0.171	0.193	0.188	1.025

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены спектральные наблюдения катаклизмической переменной BS Tri. Их исследование показало, что спектры имеют плоский континуум с наложенными на него сильными эмиссионными линиями водорода и нейтрального гелия, боуэновской бленды и сравнимой по интенсивности с водородными линиями HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$. Профили линий имеют сложную структуру, испытывающую правильную переменность в шкале фаз орбитального периода системы. Анализ этой структуры выявил наличие в ней двух компонент, имеющих различные значения лучевых скоростей и связанных с облучаемой поверхностью вторичного компонента и потоком вещества, перетекающего с него на белый карлик. Сравнение блеска системы, интенсивностей эмиссионных линий и их лучевых скоростей в 2011 и 2012 гг. показало, что при неизменном блеске системы формирование всех линий сместилось в области с меньшей скоростью. Изменился бальмеровский декремент, со значительным ослаблением линии H α . Линии HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ усилились с одновременным ослаблением линий HeI. Таким образом, баланс HeI/HeII сместился в сторону более высокой стадии ионизации. Использование спектров достаточно высокого разрешения и значительное разделение компонент линии HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ в интервале фаз $\varphi = 0.2 - 0.6$ позволило нам получить набор лучевых скоростей вторичного компонента. На их основе с применением эволюционных треков звезд Главной Последовательности был найден набор динамических

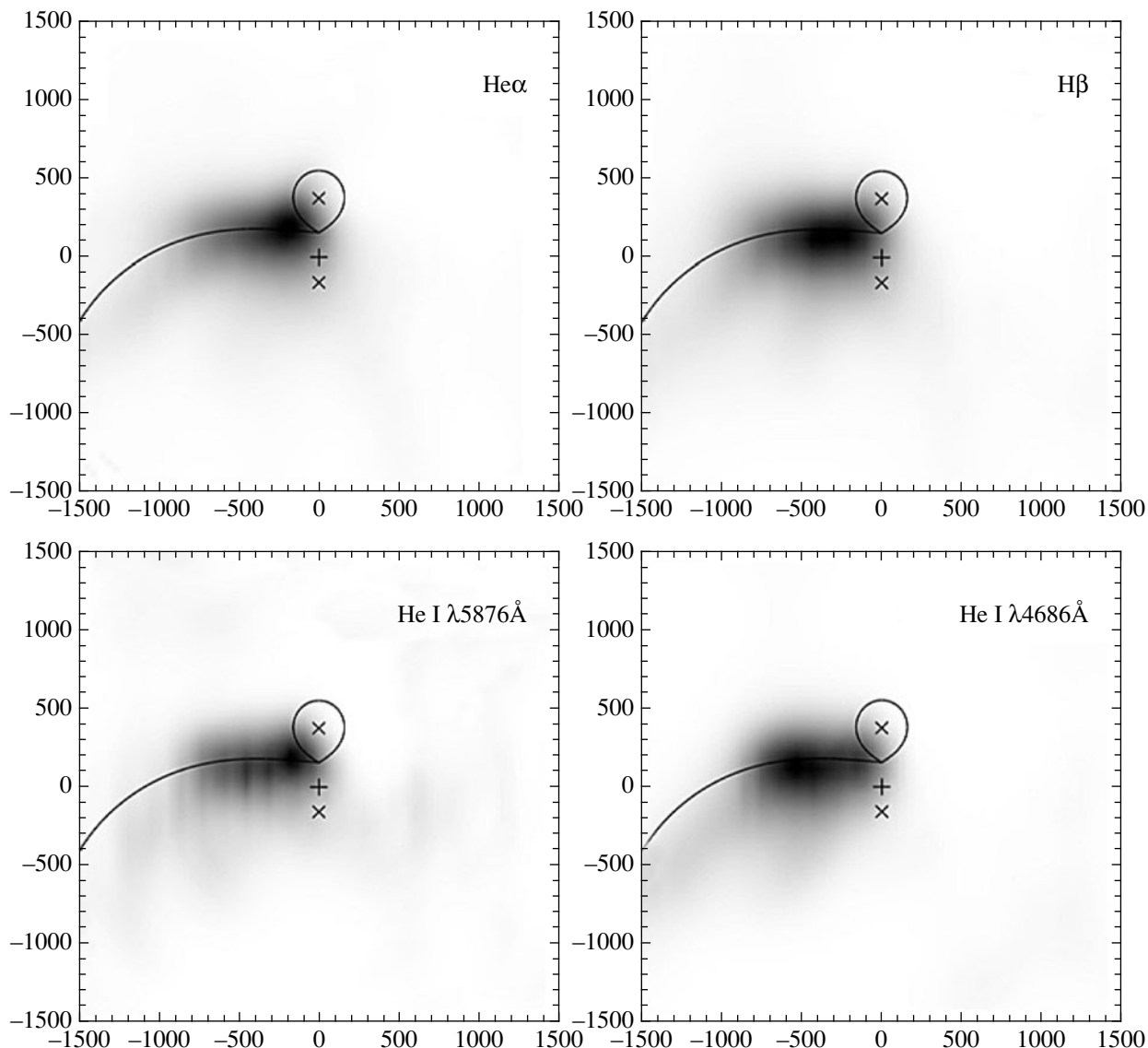


Рис. 13. Доплеровские карты, построенные по линиям $\text{He}\alpha$, $\text{H}\beta$, $\text{HeII } \lambda 4686 \text{ \AA}$, $\text{HeI} \lambda 5876 \text{ \AA}$ по спектрам 2011 г.

параметров BS Tri: $M_1 = 0.75 \pm 0.02 M_\odot$, $M_2 = 0.16 \pm 0.01 M_\odot$, $R_1 = 0.18 \pm 0.02 R_\odot$, $A = 0.74 \pm 0.05 R_\odot$. Для сравнения мы отобрали полярные компоненты из каталога Риттера, Колба (2014). В полученной выборке массы вторичного компонента не превышали $0.2 M_\odot$, а отношение M_1/M_2 варьировалось от 3.2 до 9.4, что коррелирует с найденными нами значениями.

Доплеровские карты, построенные по линиям $\text{He}\alpha$, $\text{H}\beta$, $\text{HeII } \lambda 4686 \text{ \AA}$, $\text{HeI } \lambda 5876 \text{ \AA}$, не показывают наличия даже слабой дисковой аккреционной структуры, подтверждая принадлежность BS Tri к классу полярных звезд. Окончательное подтверждение такой классификации должно быть сделано на

основе поляризметрических наблюдений объекта. Из результатов доплеровского картирования следует, что основные области образования эмиссионных линий в спектрах связаны с действием эффектов флуоресценции на поверхности вторичного компонента и излучения плазмы в оптически тонких частях струи аккрецирующего вещества. В обоих случаях степень поляризации излучения в линиях может быть достаточно большой, что делает перспективными спектрополяриметрические наблюдения объекта.

Авторы благодарят Комитет по Тематике Больших телескопов САО РАН (КТБТ) за поддержку программы изучения спектров ТДС. Наблюдения на 6-м телескопе БТА проводятся при

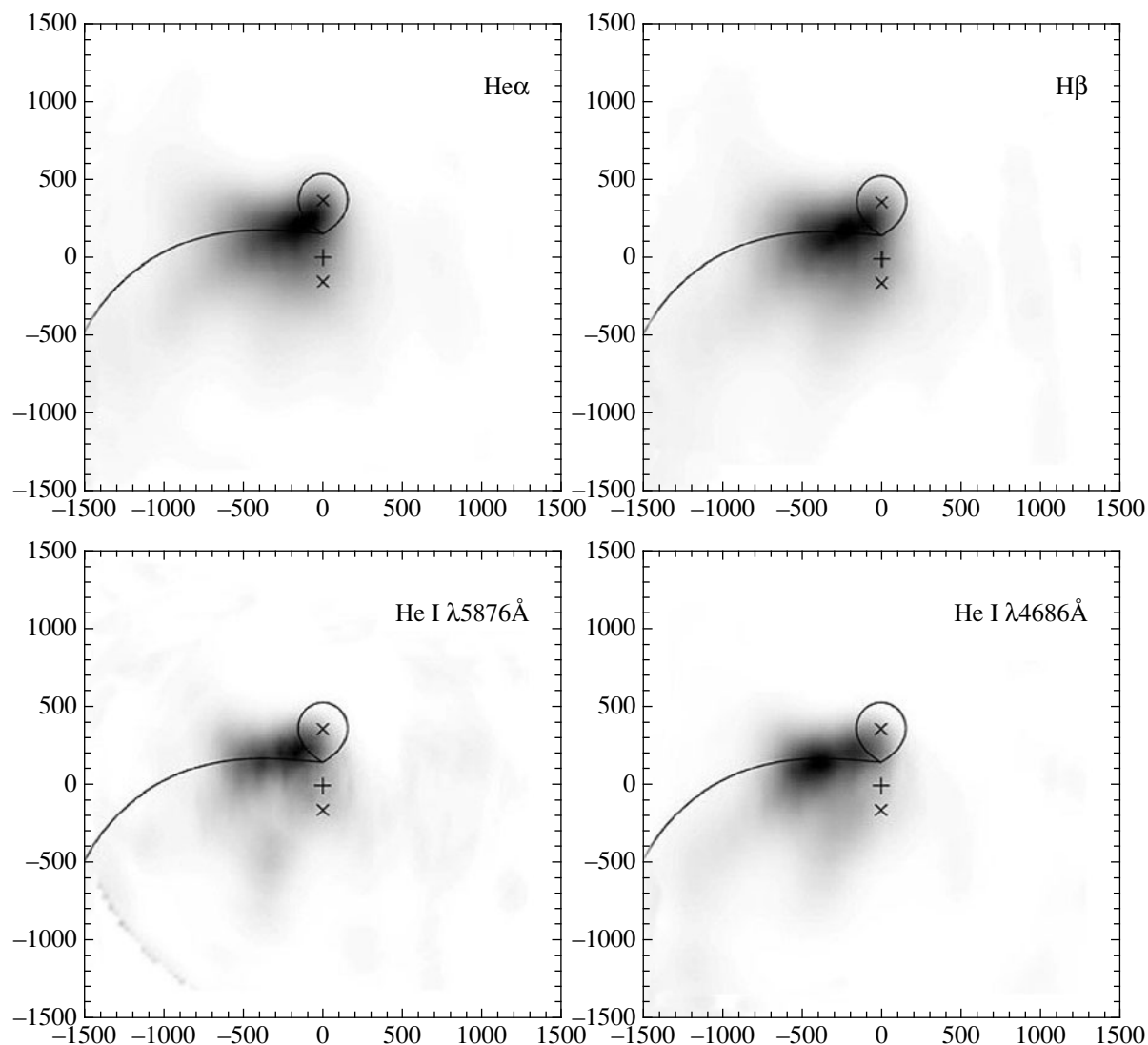


Рис. 14. Доплеровские карты, построенные по линиям $\text{He}\alpha$, $\text{H}\beta$, $\text{HeI } \lambda 4686 \text{ \AA}$, $\text{HeI } \lambda 5876 \text{ \AA}$ по спектрам 2012 г.

финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение №14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004). Благодарим А.В. Моисеева за предоставление программы обработки спектров. Работа выполнена при совместном финансировании Российского фонда фундаментальных исследований (гранты 12-02-00195, 15-42-02573, 15-02-06178) НШ-1675.2014.2 и гранта VEGA 2/0002/13.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абубекеров М.К., Антохина Э.А., Черепашук А.М., Шиманский В.В., Астрон. журн. **83**, 609 (2006) [M.K. Abubekеров, E.A. Antokhina, A.M. Cherepashchuk, V.V. Shimanskii, Astron. Rep. **83**, 609 (2006)].
2. Афанасьев, Моисеев (V.L. Afanasiev and A.V. Moiseev), Baltic Astron. **20**, 363 (2011).
3. Бохлин (R.C. Bohlin), Bull. Am. Astron. Soc. **28**, 910 (1996). Габдеев М.М., Борисов Н.В., Шиманский В.В., Спиридонова О.И., Астрон. журн. **92**, 244 (2015) [M.M. Gabdeev, N.V. Borisov, V.V. Shimansky, O.I. Spiridonova, Astron. Rep. **59**, 213 (2015)].
4. Денисенко и др. (D.V. Denisenko, R.A. Sunyaev, Z. Aslan, and I. Khamitov), Astron. Telegram 652 (2005).
5. Денисенко Д.В., Павлинский М.Н., Сюняев Р.А., Аслан З., Хамитов И., Пармаксизоглу М., Письма в Астрон. журн. **32**, 252 (2006) [D.V. Denisenko, M.N. Pavlinsky, R.A. Sunyaev, Z. Aslan, I. Khamitov, M. Parmaksizoglu, Astron. Lett. **32**, 252 (2006)].

6. Доунс и др. (R. Downes, R.F. Webbink, and M.M. Shara), *Publ. Astron. Soc. Pacific*. **109**, 345 (1997).
7. Жирарди и др. (L. Girardi, A. Bressan, G. Bertelli, and C. Chiosi), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **141**, 371 (2000).
8. Игглтон (P.P. Eggleton), *Astrophys. J.* **268**, 368 (1983). Книгге (C. Knigge), *MNRAS* **373**, 484 (2006).
9. Риттер, Колб (H. Ritter and U. Kolb), <http://www.mpa-garching.mpg.de/RKcat/> (2014).
10. Родригез и др. (P. Rodriguez-Gil, J. Casares, C. Zurita, M.A.P. Torres, D. Steeghs, and R.I. Hynes), *Astron. Telegram* 666 (2005).
11. Сахибуллин Н.А., *Тр. Казанск. гор. астрон. обсерв.* **48**, 9 (1983).
12. Чианг-Хуа Ву и др. (J.-H. Wu, Y. Chen, X.-T. He, X.-Z. Zhang, and W. Voges), *Chinese J. Astron. Astrophys.* **1**, 57 (2001).
13. Швопе и др. (A.D. Schwope, H.-C. Thomas, and K. Beuermann), *Am. Instit. Phys.* **10**, 313 (1993).
14. Шиманский В.В., Борисов Н.В., Шиманская Н.Н., *Астрон. журн.* **80**, 712 (2003) [V.V. Shimansky, N.V. Borisov, N.N. Shimanskaya, *Astron. Rep.* **47**, 763 (2003)].
15. Шпруит (H.C. Spruit), eprint arXiv:astro-ph/9806141 (1998).