

УДК 524.38

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ 1RXS J180834.7+101041

Д.Г. Якин, В.Ф. Сулейманов, Н.В. Борисов, И.Ф. Бикмаев

Аннотация

В статье кратко представлены результаты фотометрических и спектроскопических исследований новой затменной катаклизмической переменной звезды 1RXS J180834.7+101041. В спектре системы обнаружены двухпиковые эмиссионные линии водорода и гелия. Доплеровские карты, построенные по водородным линиям, показывают неоднородное распределение эмиссионного излучения в диске, близкое к наблюдаемому в IP Peg. Это позволяет предположить, что объект может быть катаклизмической переменной с приливными волнами плотности в диске. Массы компонент ($M_{WD} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$ и $M_{RD} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$) и наклон системы ($i = 78^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$) определены на основе известных соотношений параметров для катаклизмических переменных звезд.

Ключевые слова: катаклизмические переменные, затменные звезды, 1RXS J180834.7+101041.

Введение

Объект 1RXS J180834.7+101041 = USNO-B1 1001-0317189 ($\alpha_{2000} = 18^{\text{h}}08^{\text{m}}35^{\text{s}}.8$, $\delta_{2000} = +10^{\circ}10'30''.2$), сокращенно 1RXS J1808, впервые обнаружен орбитальной обсерваторией ROSAT как рентгеновский источник и затем идентифицирован как затменная тесная двойная система с аккрецирующим белым карликом (катаклизмическая переменная) с яркостью $16^{\text{m}}-17^{\text{m}}$ [1]. Денисенко и др. [1] определили период обращения двойной ($0.{}^{\text{d}}070037(1)$) и обнаружили переменность излучения с амплитудой $\sim 1^{\text{m}}$ на временах нескольких недель, что дало основания классифицировать систему как поляр. Но в спектре системы (см. [2]) была обнаружена двухпиковая структура эмиссионных линий водорода и гелия, что говорит о наличии аккреционного диска вокруг белого карлика и противоречит природе поляр.

В настоящей работе на основе анализа новых спектрометрических и фотометрических наблюдений определены параметры системы, а также уточнена ее классификация и исследовано распределение яркости по аккреционному диску в ряде эмиссионных линий.

1. Наблюдения

Фотометрические наблюдения 1RXS J1808 выполнялись в ночи с 1 на 2 и 12 на 13 августа 2008 г. на 1.5-м российско-турецком телескопе (RTT-150) в Национальной обсерватории TUBITAK (Турция). Была использована термоэлектрически охлажденная CCD-камера ANDOR (модель DW436, 2048×2048 пикселей и размером пикселя 13.5×13.5 мкм) при температуре -60°C , расположенная в каскагренновском фокусе телескопа. Наблюдения проводилось в g' - и V -полосах с временем единичной экспозиции 25 с и 20 с соответственно. Полное время наблюдений составило около 6 ч. Фотометрическая калибровка проводилась по звездам-стандартам Ландольта.

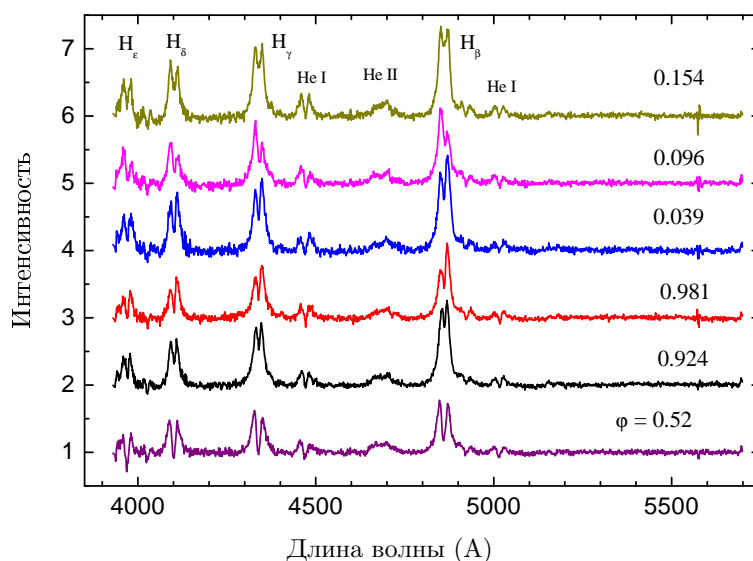


Рис. 1. Нормированные спектры 1RXS J1808, соответствующие различным орбитальным фазам (числа у кривых)

Спектроскопические наблюдения 1RXS J1808 выполнялись на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН с применением редуктора светосилы первичного фокуса SCORPIO [3] в режиме спектроскопии с длинной щелью и приемника EEV CCD 42-40 (2068 × 2048 пикселя размером 13.5 × 13.5 мкм), установленных в первичном фокусе. Для получения спектров применялась призма VPHG1200g (1200 штрихов/мм), обеспечивающая спектральное разрешение $\Delta\lambda = 5.0 \text{ \AA}$ в рабочем интервале длин волн $\Delta\lambda 3950\text{--}5700 \text{ \AA}$. Наблюдения проводились в ночь с 9 на 10 августа 2008 г. в отличных климатических условиях. Всего получено 16 спектрограмм с одинаковой продолжительностью экспозиции 300 с. Среднее отношение сигнал/шум составило $S/N = 55\text{--}65$. Для проведения калибровки длин волн одновременно получены спектры Ar–Ne–He-лампы. Обработка спектрограмм была выполнена по стандартной схеме средствами обработки астрономических данных Scorpio2K в среде IDL. Примеры спектров приведены на рис. 1. Линии водорода и нейтрального гелия имеют двухпиковую структуру, и относительная яркость пиков изменяется в ходе затмения.

2. Доплеровская томография

Доплеровское картирование системы была выполнено с использованием компьютерной программы дорнар, созданной Х. Шпруитом [4]. Были построены карты распределения яркости в пространстве скоростей системы в линиях $H\beta$, $H\gamma$, $H\delta$, He I $\lambda 4471$, He II $\lambda 4686$, He I $\lambda 5015$. Полученные карты представлены на рис. 2. Распределение яркости во всех трех линиях водорода имеет схожую структуру с двумя яркими пятнами разной интенсивности. Более яркое пятно с $V_x \approx -600 \text{ км/с}$ и $V_y \approx 400 \text{ км/с}$ находится вблизи места встречи струи аккрецируемого вещества и аккреционного диска. Второе пятно более протяженное и находится в противоположной стороне диска относительно белого карлика. В картах по линиям нейтрального гелия яркие пятна выражены намного слабее, а в карте соответствующей линии ионизованного гелия они вовсе отсутствуют. Это свидетельствует об относительно невысокой температуре (порядка 7000–9000 К) в области формирования

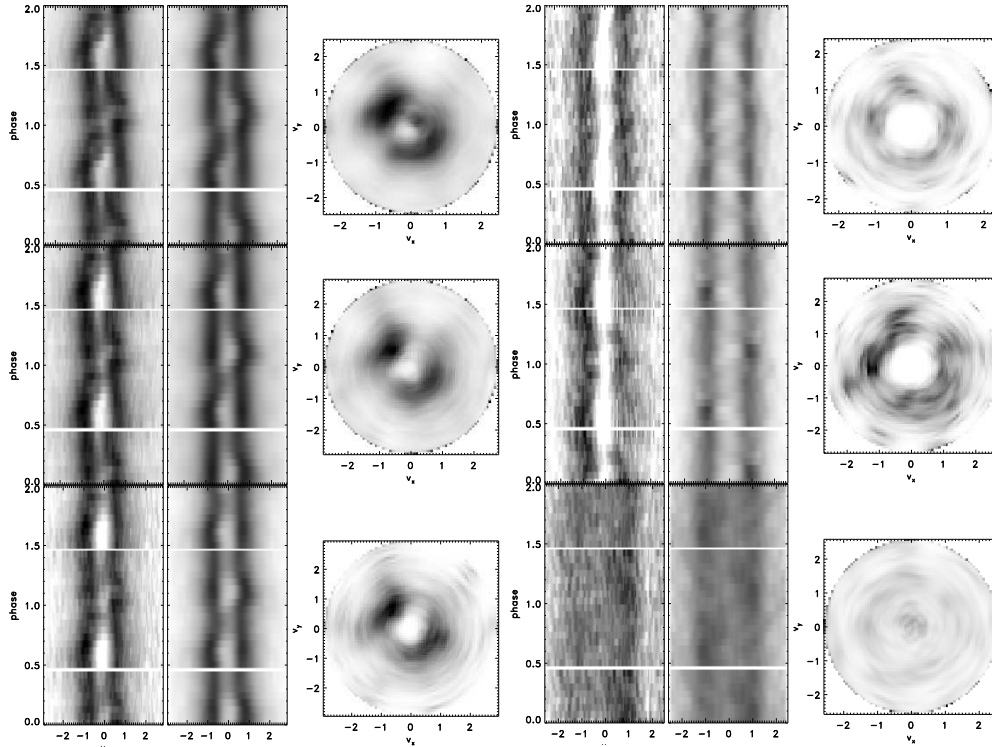


Рис. 2. Доплеровские карты 1RXS J1808. Слева направо: изменения профиля линии в зависимости от фазы, изменения восстановленного с доплеровской карты профиля линии, доплеровская карта. Сверху вниз по линиям: слева: H_β , H_γ , H_δ ; справа: $He\ I \lambda 5015$, $He\ I \lambda 4471$, $He\ II \lambda 4686$

эмиссий. Полученные доплеровские карты очень похожи на карты распределения яркости IP Reg в спокойном состоянии [5], где два ярких пятна интерпретируются как 2-рукавные спиральные волны плотности.

Трехмерное гидродинамическое моделирование аккреционных дисков, выполненное Бисикало и др. [6], предсказывает существование возмущения плотности в диске, вращающегося вокруг белого карлика с периодом $\approx 0.1 - 0.2 P_{orb}$ и способного вызывать колебания яркости системы с тем же периодом. Второе пятно, видимое на доплеровских картах системы, можно связать с этим возмущением плотности.

3. Анализ кривых лучевых скоростей

Значения лучевых скоростей для ряда линий были получены методом Шафтера [7]. Полученные кривые лучевых скоростей для водородных линий H_β , H_γ , H_δ приведены на рис. 3. Нулевая фаза соответствует затмению. Основные параметры кривых лучевых скоростей по линиям H_β , H_γ и H_δ получены путем аппроксимации их синусоидами. Амплитуды равны соответственно: $K_1 = 71 \pm 14$, 69 ± 38 и 100 ± 25 км/с. Скорости центра масс $\gamma = -97$, -122 и -48 км/с соответственно с такими же ошибками, как и для амплитуд. Точки вблизи затмения при аппроксимации синусоидой не учитывались.

Во всех случаях на нулевую фазу приходится максимальная скорость, а не скорость центра масс, как это должно быть для орбитального движения. Поэтому мы считаем, что кривая лучевых скоростей не описывает орбитальное движение белого карлика, а скорее, отражает лучевую скорость ярких пятен в диске, где эти

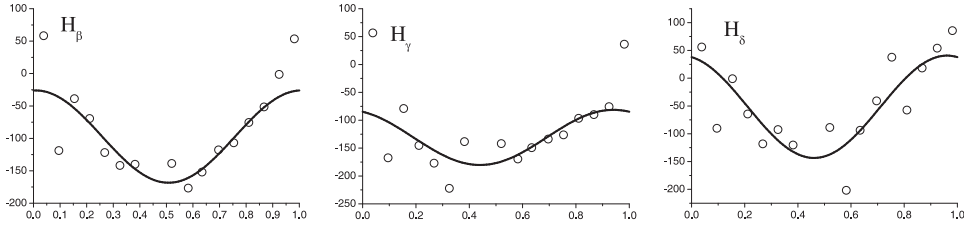


Рис. 3. Кривые лучевых скоростей 1RXS J1808, полученные по линиям H_β , H_γ , H_δ

линии и образуются. Значения лучевых скоростей определенные по линиям гелия носят случайный характер и не пригодны для анализа периодичности.

4. Определение параметров системы

Для катаклизмических переменных с малым орбитальным периодом ($P_{\text{orb}} < 2^{\text{h}}$) существует достаточно точная полуэмпирическая зависимость между массой вторичного компонента и периодом системы. Для 1RXS J1808 зависимости масса – период дают $M_{\text{RD}} \approx 0.12 M_\odot$ (см. [8]) и $M_{\text{RD}} \approx 0.16 M_\odot$ (см. [9]). Поэтому можно принять значение массы как $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_\odot$.

Продолжительность затмения связана с углом наклона i системы и отношением масс $q = M_{\text{RD}}/M_{\text{WD}}$ (см. [10]). Для нашего объекта наблюдаемая продолжительность затмения примерно составляет $\Delta\varphi = 0.03$, что позволяет получить связь между i и q , представленную на рис. 4, а.

Для вычисления параметров использовалась также зависимость между i и q , основанная на предположении, что расстояние между пиками двугорбых эмиссионных линий $\Delta\lambda$ соответствует удвоенной проекции кеплеровской скорости на внешнем крае диска на луч зрения

$$V_{\text{out}} \sin i = \frac{\Delta\lambda}{2\lambda} c = \sqrt{\frac{GM_{\text{RD}}}{qR_{\text{out}}}} \sin i. \quad (1)$$

Внешний радиус диска ограничен приливным взаимодействием вторичной звезды [11], и он примерно равен 0.8 эффективного радиуса полости Роша $R_{\text{L,WD}}$ [12]). Использовалось расстояние между пиками линии H_β в фазе $\varphi \sim 0.5$, что соответствует скорости на краю диска $V_{\text{out}} \sin i = 700 \pm 50$ км/с. Используя соотношения (1), была вычислена область допустимых значений на зависимости $i - q$ (рис. 4, а) По ней были определены параметры i и q . В итоге получаем: $M_{\text{WD}} = 0.8 \pm 0.22 M_\odot$, $i = 78^\circ \pm 1.5^\circ$ для $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_\odot$, $V_{\text{out}} \sin i = 700 \pm 50$ км/с и $R_{\text{out}} = 0.80 \pm 0.05 R_{\text{L,WD}}$. Интересно, что для данных параметров системы рассчитанное значение орбитальной скорости белого карлика составляет $K_1 \approx 70$ км/с, что очень хорошо соответствует величине K_1 , полученной из кривой лучевых скоростей (см. рис. 3).

5. Моделирование кривых блеска

Кривая блеска исследуемой системы в R полосе (рис. 5, а) показывает квазипериодические колебания яркости с периодом ≈ 0.01331 ($\approx 0.19 P_{\text{orb}}$), что подтверждается анализом спектра мощности, рассчитанного с помощью программы EFFEST (В. Горанский, ГАИШ, Москва). В кривой блеска в V-полосе (рис. 5, б) соответствующие колебания яркости не наблюдаются, скорее всего, из-за худшего качества наблюдательных данных, но найдено значительное изменение глубин соседних затмений.

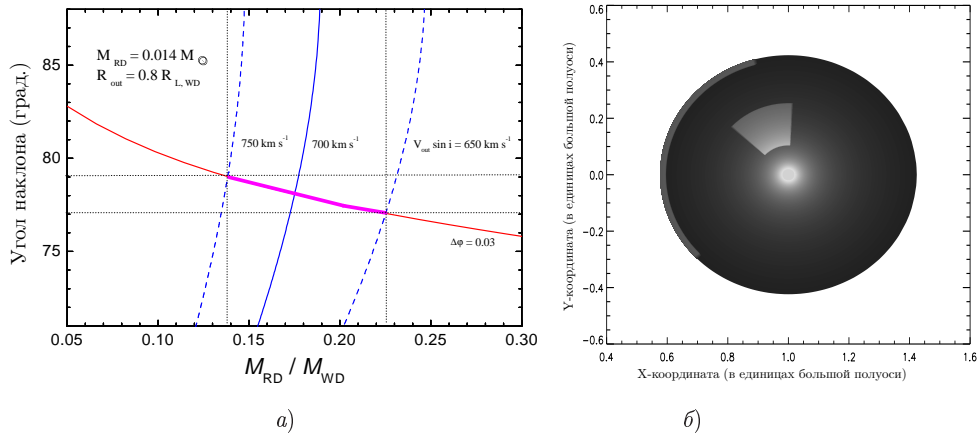


Рис. 4. *а)* Соотношения между отношением масс q и углом наклона системы i для времени затмения $\Delta\varphi = 0.03$ при разных скоростях внешнего края диска, при массе вторичного компонента $M_{RD} = 0.14 M_{\odot}$. *б)* Модель аккреционного диска с двумя пятнами. Красный карлик слева ($X < 0.4$). Яркость областей диска соответствует температуре. Пятно от струи вторичного компонента изображено схематично (в модели оно занимает боковую часть диска) с искусственно завышенной яркостью для наглядности. Второе пятно вращается вокруг центра диска и, следовательно, может занимать разное угловое положение

Нами было произведено моделирование данных кривых блеска в R- и V-полосах с помощью модифицированной программы Magnitude, описанной в [13]. Модель включала в себя вторичный компонент – аккреционный диск с ярким внешним пятном от струи вторичного компонента, и пятном, обращаемым вокруг белого карлика с периодом $\approx 0.154 P_{\text{orb}}$ и соответствующем волне плотности (см. разд. 2). Суть моделирования заключается в разбиении поверхности объектов на элементарные площадки и в расчете для каждой площадки интенсивности излучения в приближении черного тела, условия видимости и возможности затмения. Для вычисления полного потока системы суммируется излучение всех видимых в данную фазу площадок. В модели использовались найденные выше параметры системы. Наилучшая аппроксимация достигается при темпе аккреции $\dot{M} = 6.3 \cdot 10^{15}$ г/с, яркостной температуре пятен $T_1 = 5200$ К и $T_2 = 13000$ К и их положении, показанном на рис. 4, *а*.

Результаты моделирования представлены на рис. 5. Предложенная модель способна объяснить разную глубину соседних затмений в V-полосе и описать часть квазипериодических колебаний в R-полосе. Видимо, в реальности диск имеет более сложную и меняющуюся со временем структуру. Например, по наблюдениям в V-полосе горячее пятно в разные моменты времени имеет явно разную интенсивность, а в наблюдениях в R-полосе после фазы 1.3 квазипериодические колебания блеска (а значит, и волна плотности) вообще исчезают. Необходимы дальнейшие высокоточные фотометрические и спектральные наблюдения для уточнения модели данной системы.

6. Выводы

В настоящей работе показано, что 1RXS J1808 – это катаклизмическая переменная с неоднородным распределением яркости в диске, массой компонент $M_{WD} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$, $M_{RD} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$ и углом наклона системы $i = 78^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$. Доплеровское картографирование и моделирование кривых блеска показало наличие

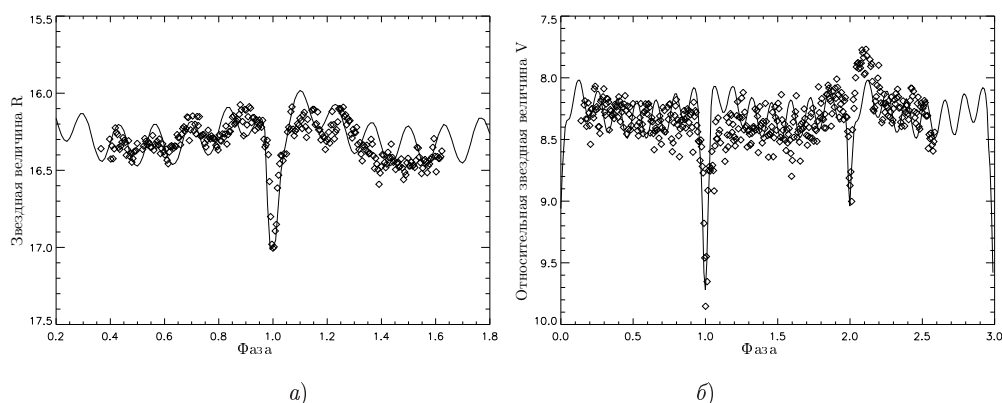


Рис. 5. Наблюдаемые и модельные кривые блеска в R- (слева) и V- (справа) полосах.

в аккреционном диске как минимум двух пятен: пятно в месте удара струи о диск и пятно, соответствующее волне плотности и вращающееся вокруг белого карлика с периодом $\approx 0.154P_{\text{orb}}$.

Вероятнее всего, данная система – звезда типа SU UMa в спокойном состоянии, и требуются дальнейшие фотометрические и спектроскопические наблюдения для подтверждения этого вывода.

Авторы искренне благодарны Комитету по тематике больших телескопов САО РАН за многолетнюю поддержку наших программ изучения спектров ТДС, а также выражают признательность ТЮБИТАК, ИКИ и КФУ за поддержку в использовании RTT150 (российско-турецкий 1.5-м телескоп в Анталии).

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-02-97013_р-Поволжье-а).

Summary

D. G. Yakin, V. F. Suleimanov, N. V. Borisov, I. F. Bikmaev. Research of the New Cataclysmic Variable 1RXS J180834.7+101041.

Results of photometric and spectroscopic investigations of the recently discovered cataclysmic variable star 1RXS J180834.7+101041 are presented. Emission spectra of the system show broad double peaked hydrogen and helium emission lines. Doppler maps for the hydrogen lines demonstrate strongly non-uniform emissivity distribution in the disc, similar to that found in IP Peg. It means that the system is a new cataclysmic variable with a spiral density wave in the disc. Masses of the components ($M_{\text{WD}} = 0.8 \pm 0.22 M_{\odot}$ and $M_{\text{RD}} = 0.14 \pm 0.02 M_{\odot}$), and the orbit inclination ($i = 78^{\circ} \pm 1.5^{\circ}$) were estimated using the various well-known relations for the cataclysmic variables.

Key words: cataclysmic variables, eclipsing stars, 1RXS J180834.7+101041.

Литература

1. *Denisenko D.V., Kryachko T.V., Satovskiy B.L.* New cataclysmic variable 1RXS J180834.7+101041 // The Astronomer's Telegram. – 2008. – No 1640. – URL: <http://www.astronomerstelegram.org/?read=1640>, свободный.
2. *Bikmaev I.F., Sakhibullin N.A.* RTT150 classification of the new cataclysmic variable 1RXS J180834.7+101041 // The Astronomer's Telegram. – 2008. – No 1648. – URL: <http://www.astronomerstelegram.org/?read=1648>, свободный.

3. *Afanasiev V.L., Moiseev A.V.* The SCORPIO Universal Focal Reducer of the 6-m Telescope // *Astron. Lett.* – 2005. – V. 31, No 3. – P. 194–204.
4. *Spruit H.C.* Fast maximum entropy Doppler mapping // *Astrophysics (astro-ph): arXiv:astro-ph/9806141v1.* – 1998. – URL: <http://fr.arxiv.org/abs/astro-ph/9806141>.
5. *Neustroev V.V., Borisov N.V., Barwig H., Bobinger A., Mantel K.H., Simic D., Wolf S.* IP Pegasi: Investigation of the accretion disk structure. Searching evidences for spiral shocks in the quiescent accretion disk // *Astron. Astrophys.* – 2002. – V. 393, No 1. – P. 239–250.
6. *Biskalo D.V., Boyarchuk A.A., Kilpio A.A., Kuznetsov O.A.* A possible manifestation of spiral shock waves in the accretion disks of cataclysmic variables // *Astron. Rep.* – 2001. – V. 45, No 9. – P. 676–685.
7. *Shafter A.W.* Radial velocity studies of cataclysmic binaries. I – KR Aurigae // *Astrophys. J.* – 1983. – V. 267. – P. 222–231.
8. *Knigge C.* The donor stars of cataclysmic variables // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 2006. – V. 373. – P. 484–502.
9. *Howell S.B., Nelson L.A., Rappaport S.* An Exploration of the Paradigm for the 2–3 Hour Period Gap in Cataclysmic Variables // *Astrophys. J.* – 2001. – V. 550, No 2. – P. 897–918.
10. *Horne K.* Images of accretion discs. I – The eclipse mapping method // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1985. – V. 213. – P. 129–141.
11. *Paczynski B.* A model of accretion disks in close binaries // *Astrophys. J.* – 1977. – V. 216, No 1. – P. 822–826.
12. *Eggleton P.P.* Approximations to the radii of Roche lobes // *Astrophys. J.* – 1983. – V. 268, No 1. – P. 368–369.
13. *Шиманский В.В., Борисов Н.В., Сахибуллин Н.А., Ступалов М.С., Сулейманов В.Ф.* Эволюционный статус UX CVn // *Астрон. журн.* – 2002. – Т. 79. – С. 726–737.

Поступила в редакцию
27.12.10

Якин Дмитрий Гаврилович – младший научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: screplay@mail.ru

Сулейманов Валерий Фиалович – доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета, научный сотрудник Института астрономии и астрофизики Университета г. Тюбингена, Германия.

E-mail: suleimanov@astro.uni-tuebingen.de

Борисов Николай Владимирович – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник Специальной астрофизической обсерватории РАН.

E-mail: borisov@sao.ru

Бикмаев Ильфан Фяритович – доктор физико-математических наук, профессор кафедры астрономии и космической геодезии Казанского (Приволжского) федерального университета.

E-mail: ibikmaev@yandex.ru