

УДК 524.338:520.84

WD 1437-008 — КАТАКЛИЗМИЧЕСКАЯ ПЕРЕМЕННАЯ?

© 2011 В. В. Шиманский¹, Д. Н. Нуртдинова¹, Н. В. Борисов², О. И. Спиридонова²

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 4 мая 2011 г.; принята в печать 3 августа 2011 г.

Выполнены комплексные наблюдения кандидата в тесные двойные системы WD 1437-008. Показано, что форма и амплитуда наблюдаемых изменений блеска не соответствуют гипотезе о действии эффектов отражения, а фотометрический период системы $P_{\text{phot}} = 0.^d2775$ не совпадает со спектральным $P_{\text{sp}} = 0.^d272060$. В результате WD 1437-008 предварительно классифицирована как катаклизмическая переменная с малым углом наклона орбиты.

Ключевые слова: *звезды — переменные и пекулярные*

1. ВВЕДЕНИЕ

Выполненные на рубеже столетия работы по созданию, наполнению и анализу Слоановского цифрового обзора неба (Sloan Digital Sky Survey — SDSS) обеспечили существенный прогресс в развитии целого ряда направлений современной астрофизики и, в частности, астрофизики тесных двойных систем (ТДС) на поздних стадиях эволюции. В процессе этих работ накоплены фотометрические и спектроскопические данные о миллионах объектов до 20^m , значительная доля которых принадлежит двойным звездам. Их предварительный анализ [1] позволил к настоящему времени обнаружить 636 пар, состоящих из звезд главной последовательности (ГП) поздних спектральных классов и остывающих белых карликов или горячих субкарликов. Отметим, что в наиболее полном каталоге Риттера и Колба за 2003 г. [2] значилось только 794 ТДС всех классов. Таким образом, использование материалов, накопленных в SDSS, позволяет заметно количественно, а в ряде случаев и качественно, расширить объем информации о системах разных типов: Новых, повторных и карликовых Новых, новоподобных, предкатаклизмических переменных, двойных выродившихся объектах и т.д.

В рамках проводимых нами исследований тесных двойных систем рассмотрены характеристики ряда их подклассов [3], содержащих крайне ограниченное число членов, не обеспечивающее статистическую достоверность результатов. В этих условиях пополнение этих подклассов выполняется путем изучения кандидатов в ТДС из каталогов RXTE, HQS, SDSS и ряда других. Описываемая в статье система WD 1437-008 (SDSS J143947.63-010606.8) являлась одним из таких кандидатов и

исследована нами вместе с рядом предкатаклизмических переменных промежуточного возраста. Первоначально этот объект был открыт как белый карлик в работе Берга и др. [4], но при анализе данных обзора SDSS [5] переклассифицирован в спектроскопическую двойную систему, содержащую звезду класса М. Спектры WD 1437-008, опубликованные Сильвестри и др. [6], показывают композиционный характер с тонкими эмиссионными линиями H β и HeI на фоне стандартного спектра белого карлика. В наиболее полном на данный момент обзоре объектов SDSS [1] указано, что спектры могут быть описаны суммой излучений белого карлика с $T_{\text{eff}} = 65000$ К, $\log g = 7.5$ и холодного гиганта с $T_{\text{eff}} = 3600$ К, $\log g = 3.0$. Отметим, что представленный набор параметров предполагает существенно большее (в 2.2 раза) расстояние до белого карлика по сравнению с М-звездой. В целом наблюдаемые характеристики WD 1437-008 указывали на ее вероятную принадлежность к ТДС класса предкатаклизмических переменных, что обусловило начало ее детальных исследований.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

2.1. Спектроскопия

Набор спектров умеренного разрешения WD 1437-008 получен в 2007–2009 гг. с помощью редуктора светосилы SCORPIO [7] первичного фокуса телескопа БТА САО РАН в режиме спектроскопии с длинной щелью. При наблюдениях использованы гризма VPHG1200g (1200 штрихов/мм) и приемник излучения EEV CCD 42 – 40 (2048 × 2048 пиксела размером 13.5 × 13.5 мкм). Спектральное разрешение составило $\Delta\lambda = 5.0 \text{ \AA}$ в

диапазоне $\lambda = 3950\text{--}5700 \text{ \AA}$. Сведения о наблюдениях, выполненных в течение 9 ночей с получением 23 спектрограмм в 9 блоках, приведены в Таблице. Подавляющая часть наблюдений проведена при отличных астроклиматических условиях с размером изображений звезд менее $1.5''$. Данные в ночь 21/22 июля 2007 г., полученные в удовлетворительных условиях с наличием дымки и легкой облачности, признаны непригодными для дальнейшего анализа. Выбор равной продолжительности экспозиций в 300 секунд обусловил отношение сигнал/шум в индивидуальных спектрограммах порядка $S/N = 35$ в интервале длин волн $\lambda = 4200\text{--}5200 \text{ \AA}$. Для повышения этого отношения мы провели попарное сложение спектрограмм внутри всех наблюдательных блоков. С целью последующего проведения калибровок длин волн и потоков излучения одновременно со спектрами WD 1437-008 получены спектры стандарта HZ 44 и Ar–Ne–Ne-лампы.

Первичная обработка результатов наблюдений выполнена по стандартной методике программами редукции астрономических данных в среде *IDL*. В дальнейшем все спектры WD 1437-008 нормированы единым образом с применением графического пакета цифровой информации Origin 6.1. При нормировке в качестве локального континуума принимались участки спектра шириной не менее $\Delta\lambda \approx 10 \text{ \AA}$, заведомо свободные от всех линий, в том числе от широких крыльев линий бальмеровской серии. Выбор данных участков выполнялся путем сравнения спектров исследуемой системы с аналогичными спектрами ряда предкатаклизмических переменных разных типов (LM Com, SDSS 172406 и RE 2013+400).

2.2. Фотометрия

Фотометрические наблюдения WD 1437-008 проводились одновременно в полосах *B*, *V* и *Rc* (далее *R*) в ночи 20/21, 21/22 и 24/25 марта 2009 г. на 1-м телескопе Цейсс-1000 САО РАН с использованием штатного фотометра, оснащенного ПЗС-системой (или приемником излучения) *EEV CCD 42-40* и широкополосными фильтрами, реализующими фотометрическую систему Коузинса. Наблюдения 20/21 марта выполнены в удовлетворительных астроклиматических условиях и с учетом ограниченности наблюдательного ряда использованы только при определении фотометрического периода. В остальные ночи данные получены при хороших условиях с размером звездных изображений около $2.0''$. В результате нами накоплено 182 пригодных для изучения ПЗС-изображения WD 1437-008 (60, 61 и 61 в полосах *B*, *V* и *R* соответственно) с продолжительностью

экспозиций по 60 секунд в полосах *R* и *V* и 120 секунд в полосе *B*.

Результаты фотометрических наблюдений обработаны с помощью пакета *MAXIM DL*. В качестве звезд сравнения выбраны 2 объекта близкой яркости и цвета, попадающие на ПЗС-изображения. Анализ вариаций блеска 4 звезд поля показал, что ошибки дифференциальной фотометрии WD 1437-008 не превышают $\Delta m \approx 0.^m006$ во всех полосах, что обусловлено удачным выбором звезд сравнения.

3. КРИВЫЕ БЛЕСКА WD 1437-008

Вариации блеска WD 1437-008 со временем показаны на Рис. 1(а). Во всех фотометрических полосах наблюдаются правильные изменения яркости объекта, в целом согласующиеся для обеих ночей. Наличие в данных первой ночи моментов максимума и минимума блеска позволяет оценить общую амплитуду его переменности на уровне $\Delta m_B = 0.^m052$, $\Delta m_V = 0.^m043$ и $\Delta m_R = 0.^m037$. Для определения фотометрического периода WD 1437-008 мы проанализировали весь наблюдательный ряд как отдельно в каждой из полос *B*, *V* и *R*, так и их усредненные данные. Анализ проводился с помощью программы В. Горанского *WINEFK* с поиском возможных периодов в диапазоне $P_{\text{phot}} = 0.^d1\text{--}0.^d6$ с шагом $\Delta P_{\text{phot}} = 0.^d0001$. Вследствие ограниченности исследуемого ряда мы получили серию наиболее вероятных периодов ($P_{\text{phot}} = 0.^d3380$, $0.^d3042$, $0.^d2775$, $0.^d2535$, $0.^d2346$) с допустимой ошибкой каждой около $\sigma = 0.^d0025$. Отметим, что при использовании величины периода, большей $0.^d30$ или меньшей $0.^d25$, наблюдаемые кривые блеска имеют несимметричную и аномально искаженную форму. Как будет показано ниже, при анализе кривых лучевых скоростей WD 1437-008 обнаружено единственное значение орбитального периода ($P_{\text{orb}} = 0.^d272060$), достаточно близкое к одной из полученных оценок. Поэтому мы считаем наиболее вероятным выражением эфемериды системы

$$HJD = 2454913.565(\pm 0.002) + 0.2775(\pm 0.0023) \times E,$$

с возможной альтернативой

$$HJD = 2454913.565(\pm 0.002) + 0.2535(\pm 0.0023) \times E.$$

Полученные с применением первой эфемериды кривые блеска WD 1437-008 в полосах *B*, *V*, *R* представлены на Рис. 1(б), а усредненная по этим полосам кривая — на Рис. 1(с). Очевидно, что светимость объекта изменяется синхронно во всем

оптическом диапазоне спектра по закону, близкому к синусоидальному. Однако при вычитании из наблюдательных данных их аппроксимации синусоидальной функцией (см. Рис. 1(с)) обнаруживается большая продолжительность фаз максимума блеска по сравнению с фазами минимума. Такая особенность не характерна для систем с проявлением эффектов отражения и не может быть объяснена в рамках их принятой в настоящее время модели, поскольку горячее пятно всегда охватывает менее половины поверхности облучаемой вторичной компоненты. Одновременно действие фотометрических эффектов отражения или несферичности холодной звезды в случае WD 1437-008 должно ослабевать при переходе в синюю область спектра вследствие доминирования в ней излучения горячей компоненты. Однако полученные нами фотометрические данные противоречат данному предположению (см. выше). Таким образом, форма и амплитуда наблюдаемых кривых блеска WD 1437-008 не подтверждает ее принадлежность к классу предкатаклизмических переменных с проявлением эффектов отражения или несферичности.

4. СПЕКТРЫ WD 1437-008

На Рис. 2(а) представлена серия спектров WD 1437-008, полученных в разные моменты времени, а на Рис. 2(б) — сравнение спектра с максимальной интенсивностью эмиссионных линий с аналогичными для ряда предкатаклизмических переменных. В исследуемом диапазоне наблюдаются широкие ($\Delta\lambda \approx 100\text{\AA}$) и стабильные по времени линии поглощения бальмеровской серии водорода, характерные для излучения белых карликов. Сравнение их профилей в спектрах WD 1437-008 и выбранных предкатаклизмических переменных показывает, что температура белого карлика должна быть существенно выше $T_{\text{eff}} = 48000\text{ K}$ (RE 2013+400) и примерно соответствовать $T_{\text{eff}} = 75000\text{ K}$ (SDSS 131751). Данный вывод в целом согласуется с оценкой температуры ($T_{\text{eff}} = 65000\text{ K}$), представленной в работе [1]. Однако в этом случае в излучении белого карлика должна наблюдаться заметная линия HeII $\lambda 4686\text{\AA}$, не найденная нами в спектрах исследуемой системы. Эмиссионный спектр WD 1437-008 представлен линиями бальмеровской серии водорода и небольшим числом линий нейтрального гелия HeI $\lambda\lambda 4471, 4921, 5015\text{\AA}$. Интенсивность эмиссионных линий H I и HeI, как видно на Рис. 2(а), изменяется несинхронно друг с другом, что не характерно для проявления эффектов отражения. Полуширина этих линий составляет $\Delta\lambda \approx 7\text{\AA}$ и обусловлена, вероятно, их уширением аппаратной функцией спектрографа. Сравнение спектров четырех систем свидетельствует о необычном усилении в WD 1437-008

эмиссионных линий H I по сравнению с линиями HeI. Интенсивность последних характерна для предкатаклизмических переменных с температурой главных компонент порядка $T_{\text{eff}} = 35000\text{ K}$ (SDSS 172406). Интенсивность водородных линий указывает на более высокую температуру облучающей звезды (около $T_{\text{eff}} = 45000\text{ K}$), но отношение эквивалентных ширин линий $H\beta$ и $H\gamma$ оказывается слишком большим для систем с эффектами отражения. Таким образом, наблюдаемые спектры WD 1437-008 частично соответствуют спектрам предкатаклизмических переменных, показывая при этом ряд значимых отличий.

Для измерения лучевых скоростей V_r обеих компонент системы мы применяли метод автоматической кросс-корреляции наблюдаемых спектров друг с другом. При определении значений V_r для главной компоненты анализировались доплеровские смещения абсорбционных крыльев линий $H\beta$ и $H\gamma$, для вторичной компоненты — смещения эмиссионных линий HeI $\lambda\lambda 4471, 4921, 5015\text{\AA}$. В процессе анализа применялись варианты измерения лучевых скоростей как одновременно по всем избранным линиям, так и отдельно по каждой из них с последующим отбраковкой некорректных значений.

Особенности конструкции и использования спектрографа *SCORPIO* обуславливают смещения спектров разных блоков по шкале длин волн, приводящие к появлению ошибок в лучевых скоростях до 50 км/с . Поэтому для анализа полученных лучевых скоростей компонент WD 1437-008 мы использовали не их индивидуальные значения, а разности, свободные от названных ошибок и представленные в Таблице. Поиск периода изменений V_r проводился в автоматическом режиме в диапазоне возможных значений $P_{\text{sp}} = 0.^d2-1.^d4$ с шагом $\Delta P_{\text{sp}} = 0.^d00001$ и при максимальном отклонении лучевой скорости в $\Delta V_r = 25\text{ км/с}$ на одно измерение. В результате нами найден набор из 10 периодов, из которых единственный ($P_{\text{sp}} = 0.^d272060$) имеет достаточно близкую величину ($\Delta P = 0.^d0055$) к одному из фотометрических периодов, полученных из анализа кривых блеска (см. выше). Принимая за нулевую фазу момент достижения среднего значения скорости мы построили спектроскопическую эфемериду WD 1437-008.

$$HJD = 2454913.5700(\pm 0.0001) + 0.272060(\pm 0.000003) \times E.$$

Кривая лучевых скоростей для данной эфемериды и ее аппроксимация в рамках круговой орбиты представлена на Рис. 3, а значения фаз в моменты спектральных наблюдений в Таблице. и на

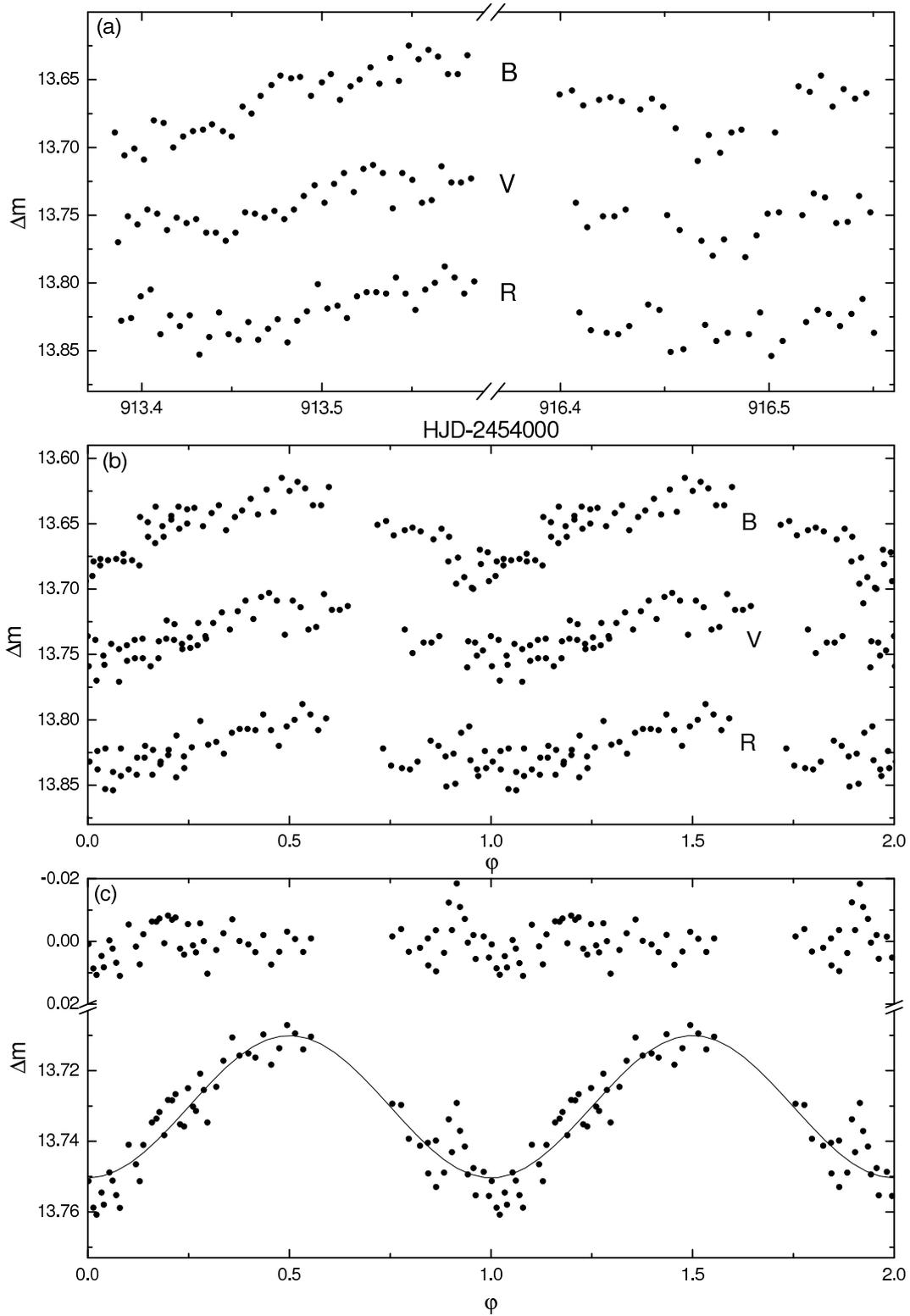


Рис. 1. Кривые блеска WD 1437-008 в полосах *B*, *V* и *R* (а, б) и усредненная (с) в шкалах юлианских дат *HJD* (а) и фаз ϕ фотометрического периода (б, с).

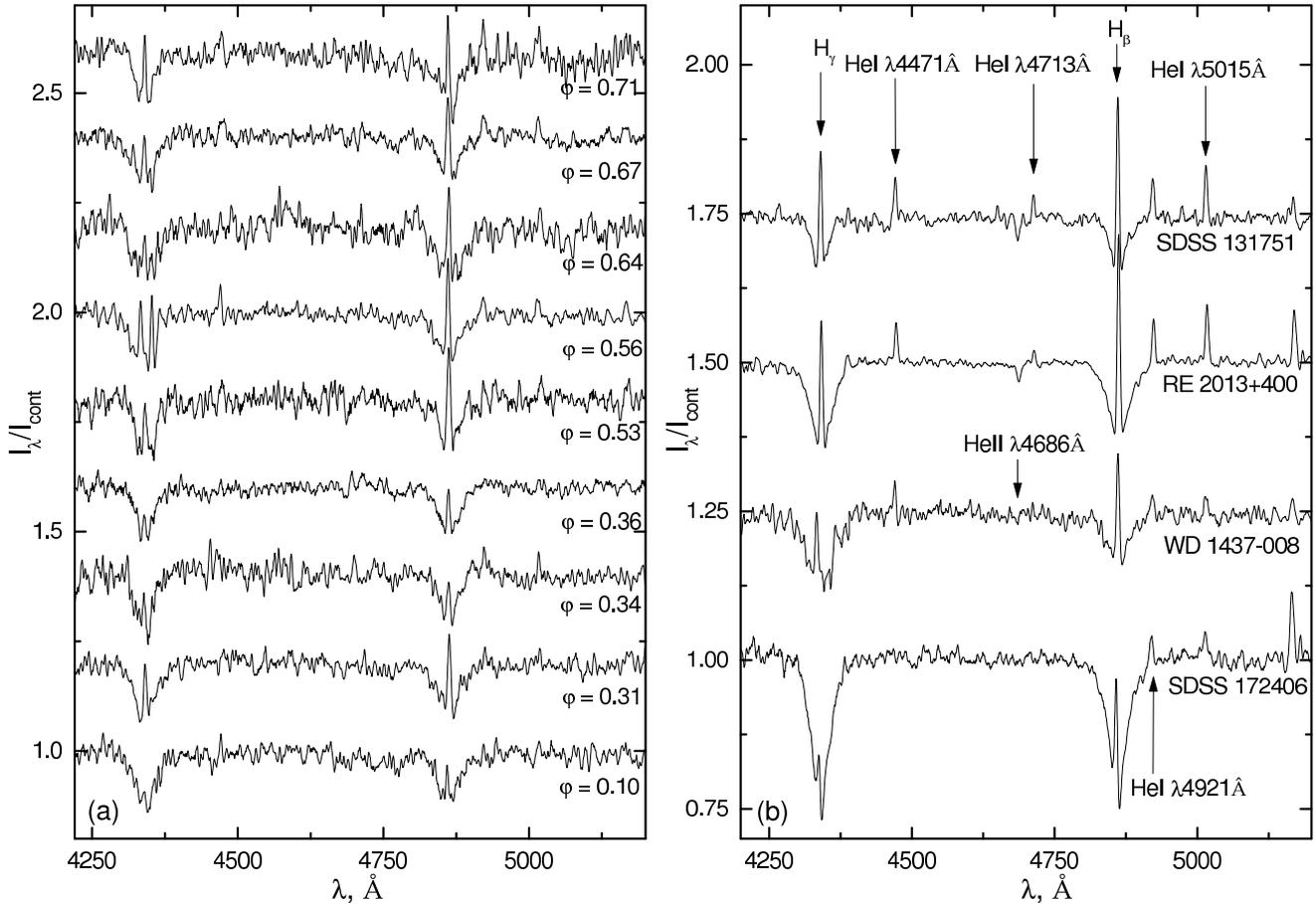


Рис. 2. Спектры WD 1437-008 для разных фаз орбитального периода $P_{\text{orb}} = 0.^d272060$ (а) и сравнение спектра с максимальной интенсивностью эмиссионных линий с аналогичными спектрами ряда предкатаклизмических переменных (б).

Таблица. Журнал наблюдений WD 1437-008. HJD — гелиоцентрическая юлианская дата, N — число спектрограмм, φ — фаза орбитального периода, V_r — разность лучевых скоростей.

Дата	HJD	N	φ	V_r	Дата	HJD	N	φ	V_r
	2454000+			км/с		2454000+			км/с
07.05.07	228.4164	2	0.105	2	30.04.08	587.4093	3	0.640	-111
11.05.07	232.3500	2	0.563	-107	08.08.08	691.2539	2	0.338	12
18.07.07	300.3091	2	0.358	33	17.03.09	908.3940	2	0.471	-75
20.07.07	302.3097	2	0.711	-147	17.03.09	908.4237	2	0.580	-79
21.07.07	303.2842	2	0.293	226	17.03.09	908.4486	1	0.672	-154
28.04.08	585.4133	2	0.304	44	17.03.09	908.4640	1	0.728	-182

Рис. 2(а). Амплитуда лучевых скоростей составила $K_r = 98.6 \pm 8.3$ км/с. Для систем, содержащих белые карлики массой $M \approx 0.4-0.6M_{\odot}$ с периодами, аналогичными WD 1437-008, сумма амплитуд скоростей компонент превышает 300 км/с. Поэтому полученное нами значение $K_1 + K_2$ возможно

только при условии малости угла наклона орбиты ($i < 20^\circ$).

Вариации интенсивностей эмиссионных линий H I и He I (см. Рис. 2(а)) в целом синхронизованы с фазами наблюдений, что характерно для эффектов отражения. Однако спектры в фазах $\varphi = 0.31$ и $\varphi = 0.71$ имеют аномально высокую интенсивность всех эмиссий, не объяснимую возможными ошиб-

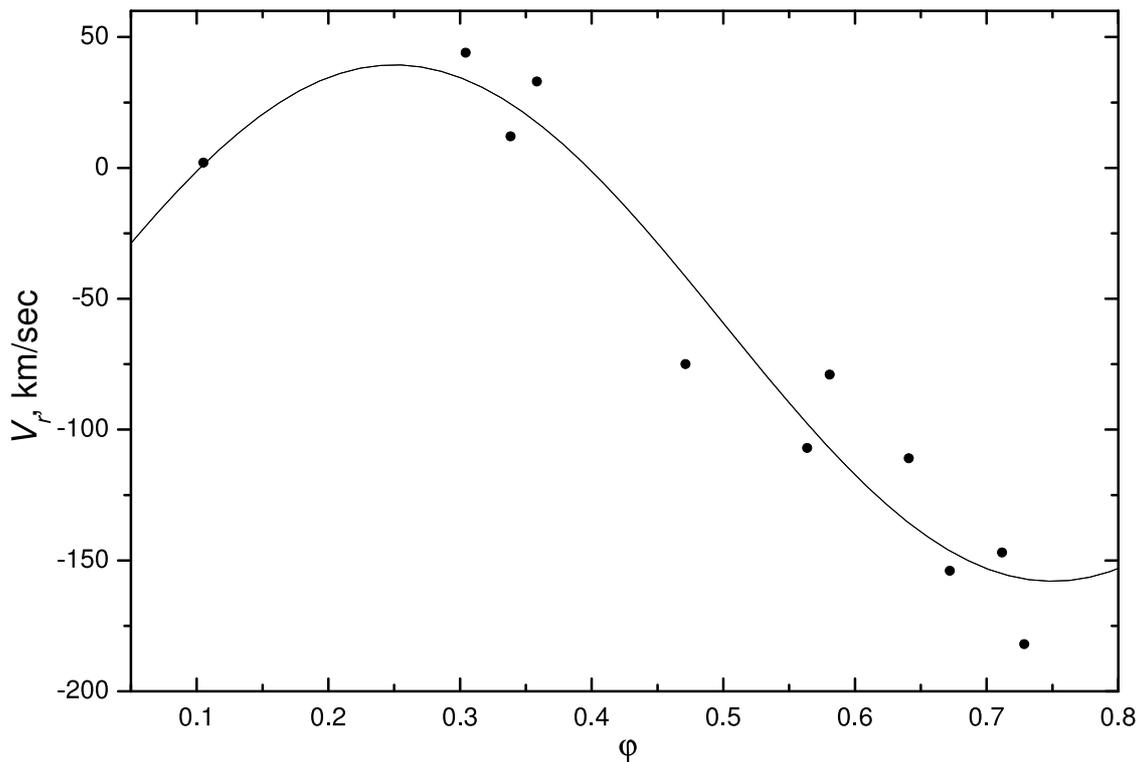


Рис. 3. Кривая лучевых скоростей WD 1437-008 с аппроксимацией в рамках круговой орбиты.

ками наблюдений. Поэтому мы пришли к выводу, что или в WD 1437-008 имеются дополнительные механизмы формирования эмиссионных линий, или высокая интенсивность эмиссий абсолютно не связана с действием эффектов отражения.

5. ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Кратко перечислим основные результаты исследования спектроскопических и фотометрических наблюдений WD 1437-008.

1) Наблюдаются колебания блеска с периодом $P_{\text{phot}} = 0.^d2775$ и амплитудой, возрастающей в синем диапазоне спектра.

2) Кривая блеска имеет форму, близкую к синусоидальной, с недостаточной продолжительностью фаз минимума.

3) Абсорбционный спектр системы с низкой интенсивностью бальмеровских линий и отсутствием линий HeI и HeII не согласуется с нормальными спектрами белых карликов высоких температур.

4) Спектры содержат узкие эмиссионные линии H β и HeI, характерные для излучения предкатаклизмических переменных с эффектами отражения или катаклизмических переменных с малым углом наклона орбиты.

5) Спектроскопический период системы ($P_{\text{sp}} = 0.^d272060$) отличается от фотометрического.

6) Изменение интенсивностей эмиссионных линий не полностью синхронизовано с фазой орбитального периода и не может быть обусловлено влиянием только эффектов отражения.

7) Амплитуда лучевых скоростей ($K_r = 98.6$ км/с) возможна только при малом угле наклона орбиты.

Особенности наблюдаемых кривых блеска WD 1437-008 исключают их объяснение в рамках модели предкатаклизмической переменной с эффектами отражения, а также несферичностью или запятанностью вторичной компоненты. Данные изменения блеска могут быть обусловлены несферичностью главной компоненты, близкой к заполнению своей полости Роша. Однако в WD 1437-008 этой компонентой является белый карлик, радиус которого $R \approx 0.01R_{\odot}$ в десятки раз меньше полости Роша. Спектральные характеристики системы также не позволяют классифицировать его как предкатаклизмическую переменную. Особенно сложным для объяснения является факт внезапного усиления эмиссионных линий в фазах $\phi = 0.31, 0.71$, очевидно, не связанного с действием эффектов отражения. Подобные усиления могут вызываться вспышечными явлениями на поверхности холодных звезд. Однако в условиях доминирования в спектрах системы излучения горячей компоненты мощность наблюдаемых вспышек должна быть неправдоподобно большой.

В итоге мы пришли к выводу, что WD 1437-008 не является предкатаклизмической переменной и, вероятно, относится к классу катаклизмических переменных с оптически толстым диском. В настоящее время известен ряд подобных систем с кривыми блеска, имеющими аналогичную форму и амплитуду [8, 9]. Наблюдаемые фотометрические изменения блеска в них обусловлены прецессионными движениями диска с периодом, близким к орбитальному. Абсорбционный спектр системы формируется в атмосфере оптически толстого диска, а эмиссионные линии — в пятне, образованном в месте попадания в него вещества, перетекающего со вторичной компоненты. Найденная нами амплитуда лучевой скорости соответствует движению горячего пятна по поверхности диска, вызванного орбитальным движением системы в целом. Принимая среднюю скорость газа на внешнем крае диска равной $V = 400$ км/с, мы оцениваем вероятный угол его наклона в $i = 15^\circ$. Последний результат хорошо согласуется с фактом узости эмиссионных линий H I и He I, обусловленной малой дисперсией лучевых скоростей газа в области горячего пятна. Завершая наш анализ, подчеркнем, что представленный выше вывод носит предварительный характер и требует проверки длительными фотометрическими наблюдениями WD 1437-008.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы искренне благодарят Комитет по Тематике Больших Телескопов САО РАН (КТБТ) за

поддержку программы изучения спектров ТДС и В. Л. Афанасьева за методическую помощь, оказанную в процессе наблюдений и обработки данных. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований и правительства Республики Татарстан (проект 09-02-97013-а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. R. Heller, D. Homeier, S. Dreizler, and R. Ostensen, *Astronom. and Astrophys.* **486**, 191 (2009).
2. H. Ritter and U. Kolb, *Astronom. and Astrophys.* **404**, 301 (2003).
3. V. Shimansky, N. Sakhbullin, I. Bikmaev, et al., *Astronom. and Astrophys.* **456**, 1069 (2006).
4. C. Berg, G. Wegner, C. B. Foltz, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **78**, 409 (1992).
5. S. N. Raymond, P. Szkody, S. F. Anderson, et al., *Astronom. J.* **125**, 2621 (2003).
6. N. M. Silvestri, S. L. Hawley, A. A. West, et al., *Astronom. J.* **131**, 1674 (2006).
7. V. L. Afanas'ev and A. V. Moiseev, *Astron. Lett.* **31**, 194 (2005).
8. P. A. Woudth, B. Warner, and M. Spark, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **364**, 107 (2005).
9. J. Thorstensen and E. Armstrong, *Astronom. J.* **130**, 759 (2005).

IS WD 1437-008 A CATACLYSMIC VARIABLE?

V.V. Shimansky, D.N. Nurtdinova, N.V. Borisov, O.I. Spiridonova

Comprehensive observations of a close binary candidate WD 1437-008 are performed. The shape and amplitude of the observed brightness variations are shown to be inconsistent with the hypothesis of reflection effects, and the photometric period of the system, $P_{\text{phot}} = 0.^d2775$, is found to differ from the period of spectral variations, $P_{\text{sp}} = 0.^d272060$. As a result, WD 1437-008 has been preliminarily classified as a low-inclination cataclysmic variable.

Key words: *stars: dwarf novae—stars: variables: general—stars: individual: WD 1437-008*