

УДК 524.337.7

Е. П. Павленко¹, В. П. Маланушенко²¹ Научно-исследовательский институт «Крымская астрофизическая обсерватория»
98409 Крым, п. Научный² Апачи Поинт обсерватория, США**Уникальные компоненты карликовой новой
типа WZ Sge SDSS J080434.20+510349.2**

Детальный фотометрический мониторинг катаклизмической переменной J080434.20+510349.2 был начат в Крымской астрофизической обсерватории (Украина) и обсерватории Апачи Поинт (США) до вспышки 2006 г. и продолжался во время вспышки и в течение двух лет после нее. Установлена уникальность первичного и вторичного компонентов двойной системы. Детально изучены недавно открытые пульсации белого карлика на протяжении 5 месяцев через два года после вспышки 2006 г. и показано, что наиболее устойчивые пульсации соответствовали периоду 12.6 мин или его удвоенной величине. На основе всех доступных наблюдений уточнены величины орбитального периода и периода сверхгорбов (0.0590048(3) и 0.059729(4) сут соответственно). Оценка массы вторичного компонента составляет 0.037—0.087 массы Солнца. Это подтверждает предварительное предположение, что вторичный компонент системы с большой вероятностью является коричневым карликом.

УНІКАЛЬНІ КОМПОНЕНТИ КАРЛИКОВОЇ НОВОЇ ТИПУ WZ SGE SDSS J080434.20+510349.2, Павленко Е. П., Маланушенко В. П. — *Детальний фотометричний моніторинг катаклізмичної змінної зірки SDSS J080434.20+510349.2 було розпочато у Кримській астрофізичній обсерваторії (Україна) та обсерваторії Апачі Пойнт (США) до спалаху 2006 р. і продовжено під час спалаху та протягом двох років після нього. Встановлено унікальність первинного та вторинного компонентів подвійної системи. Детально вивчено нещодавно відкриті пульсації білого карлика впродовж п'яти місяців через два роки після вибуху 2006 р. та показано, що найстійкіші пульсації відповідали періоду 12.6 хвилин і його подвоєній величині. На підставі усіх доступних спостережень уточнено величини орбітального періоду та періоду надгорбів (0.0590048(3) та 0.059729(4) доби відповідно). Оцінка маси вторинного компонента складає 0.037—0.087 маси Сонця. Це підтверджує попереднє припущення, що вторинний компонент системи з великою вірогідністю є коричневим карликом.*

UNIQUE COMPONENTS OF THE WZ SGE-TYPE DWARF NOVA, J080434.20+510349.2, by Pavlenko E. P., Malanushenko V. P. — *The detailed*

photometrical monitoring of the cataclysmic variable SDSS J080434.20+510349.2 was started at the Crimean astrophysical observatory (Ukraine) and Apache Point Observatory (USA) before the 2006 outburst, continued during the outburst and during two years after it. We established an unique nature of the primary and secondary components of the binary. We performed a comprehensive study of the white dwarf's pulsations recently discovered over five months after two years after the 2006 outburst. It is shown that the most stable pulsations are equal to the period of 12.6 min or it's twice value. On the basis of all the available observations, more precise values for orbital and superhump periods were found to be 0.0590048(3) days and 0.059729(4) days, respectively. Our estimation of the mass of secondary component lies in the range from 0.037 to 0.087 of solar mass. This confirms the previous suggestion that the secondary component is a brown dwarf with a high probability.

ВВЕДЕНИЕ

Карликовые новые являются типичными представителями обширного класса переменных звезд на поздних стадиях эволюции — катаклизмических (взрывных) переменных. Это тесные двойные системы с периодами от 80 мин до 8 ч, состоящие из звезды позднего спектрального класса (чаще — красного карлика, реже — красного гиганта), теряющего свое вещество через внутреннюю точку Лагранжа на первичный компонент системы — белый карлик, предварительно образуя вокруг него аккреционный диск [12]. Раз в несколько недель или месяцев в таких системах происходят вспышки блеска на 3^m — 6^m , вызванные, согласно современным представлениям, тепловой нестабильностью аккреционного диска, когда газ в диске, будучи холодным и нейтральным, в течение нескольких часов становится горячим и ионизованным, после чего выпадает полностью или почти полностью на белый карлик. Среди карликовых новых различают «обычные» вспышки, длящиеся 2—3 сут, и так называемые «сверхвспышки» продолжительностью до двух недель и более, которые также имеют большую амплитуду по сравнению с обычными вспышками. Во время сверхвспышек возникает еще один вид нестабильности аккреционного диска: приливная нестабильность, вынуждающая диск прецессировать с периодом P_{prec} [12]

$$P_{prec} = (P_{sh} - P_{orb}) / (P_{sh} \cdot P_{orb}). \quad (1)$$

Здесь P_{sh} — период регулярных приливных высвобождений энергии аккреционного диска, наблюдаемых только во время сверхвспышки как колебания яркости (сверхгорбы), P_{orb} — орбитальный период.

Из семейства карликовых новых можно выделить уникальный и пока малочисленный подкласс звезд типа WZ Sge. Эти системы отличаются более длинным интервалом между вспышками (десятки лет), самыми короткими орбитальными периодами (80—90 мин) и наименее массивными вторичными компонентами. Массу вторичного компонента можно оценить в таких системах из соотношения [6]:

$$\varepsilon = 0.18q + 0.29q^2, \quad (2)$$

где $q = M_2/M_1$, M_2 — масса вторичного компонента, M_1 — первичного, а ε получаем непосредственно из наблюдений:

$$\varepsilon = (P_{sh} - P_{orb}) / P_{orb} \quad (3)$$

Свободным параметром остается масса первичного компонента, которая оценивается независимо.

Компоненты, входящие в состав звезд типа WZ Sge, уникальны: у троих систем — WZ Sge, EG Snc, AL Com — поздний компонент, теряющий вещество, вероятно, является коричневым карликом [5], а у систем PQ And, GW Lib, V455 And, REJ1255+26, SDSS J080434.20+510349.2 (далее — SDSS J0804) обнаружены пульсации белого карлика.

Впервые SDSS J0804 был идентифицирован как слабая ($B \approx 18^m$) короткопериодическая (85 мин) катаклизмическая переменная П. Скоди и др. [10]. Эта переменная привлекла исследователей своим спектром, который показывал голубой континуум с широкими абсорбционными линиями белого карлика, обрамлявшими раздвоенные бальмеровские эмиссионные линии, которые образуются в аккреционном диске. Фотометрическая переменность, обнаруженная Скоди в 2005 г., представляла двугорбую волну за один период, найденный спектроскопически. К этому времени опыт наблюдений других звезд этого типа показал, что «двугорбость» орбитальной кривой блеска встречается только у звезд типа WZ Sge. Теоретически это явление пытаются объяснить тем, что чрезвычайно низкое отношение масс звезд типа WZ Sge ($M_2/M_1 < 0.08$) способствует образованию 2-спиральной структуры аккреционного диска [4].

Мы начали наблюдения SDSS J0804 на 2.6-м телескопе ЗТШ Крымской астрофизической обсерватории примерно за полтора месяца до вспышки, которую мы же впервые и открыли в ночь с 4 на 5 марта 2006 г. [8]. Сразу после обнаружения SDSS J0804 во вспышке мы предприняли международную кампанию по ее изучению, включившую наблюдения в Крыму, Словакии, на Кавказе (п. Терскол) и в Японии. В результате удалось построить подробную кривую блеска вспышки, показывающую уникальное явление — повторные поярчения, также являющиеся атрибутом звезд типа WZ Sge [8]. Позднее нами была обнаружена еще одна серия повторных поярчений, происходившая с характерным временем около 15 сут и амплитудой 0.5^m [9, 13]. Во время вспышки и первой серии повторных поярчений были зарегистрированы сверхгорбы с периодом 0.059713(7) сут, а по обширным наблюдениям С. В. Жарикова и др. на разных телескопах, включавшим 23 ночи конца 2006 г., был оценен орбитальный период (0.05900 сут) [13]. Это позволило предварительно предположить, что масса вторичного компонента составляет 0.03—0.07 солнечных масс.

В данной работе на основании новых наблюдений, полученных в Крымской астрофизической обсерватории (КраО) и в обсерватории Апачи Пойнт (АПО), мы поставили задачу более детального изучения особенностей компонентов этой двойной системы.

НАБЛЮДЕНИЯ

Наша база данных включала фотометрические ПЗС-наблюдения, проводившиеся в 2008 г. в КраО на 2.6-м телескопе ЗТШ помощью ПЗС FLI 1001E в интегральном свете, а также на 50-см телескопе АПО с помощью ПЗС SiTe в полосе R в 2008 г. Временное разрешение наблюдений в КраО составляло 15—20 с, в АПО — 120 с. Точность единичного измерения блеска по наблюдениям в КраО равнялась $0.008 \dots 0.01^m$, по наблюдениям в АПО — $0.01 \dots 0.02^m$. В КраО наблюдения были получены в течение трех

ночей в январе и трех ночей в мае, в АПО — в течение двенадцати ночей в феврале — марте.

ВСПЫШКА И ПЕРЕМЕННОСТЬ БЛЕСКА ВНУТРИ НОЧИ

На рис. 1 приведена кривая блеска вспышки в течение первого года с момента обнаружения, построенная по данным [7—9].

Отдельные стадии развития вспышки обозначены буквами: А — «основная» вспышка в соответствии с общепринятой терминологией [12], В — стадия быстрого ослабления блеска, С — стадия из 11 повторных поярчаний или «ребрайтенингов», возникавших каждые 2.5 сут [7, 8], D — последующая стадия быстрого ослабления блеска, Е — стадия медленного ослабления блеска, в течение которой система возвращается на исходный (довспышечный) уровень светимости.

Во время вспышки на стадиях А, В и С наблюдались сверхгорбы [8]. На стадии D сверхгорбы уступили место колебаниям блеска с орбитальным периодом 0.059 сут [7], имеющих вид двугорбой кривой в течение орбитального периода. Примеры колебаний блеска с периодом сверхгорбов даны в работе [8].

На рис. 2 мы приводим примеры кривых блеска, представленных в виде сверток с орбитальным периодом 0.059 сут («орбитальных» кривых блеска). Начальная эпоха для каждого сета наблюдений — произвольная. На первом

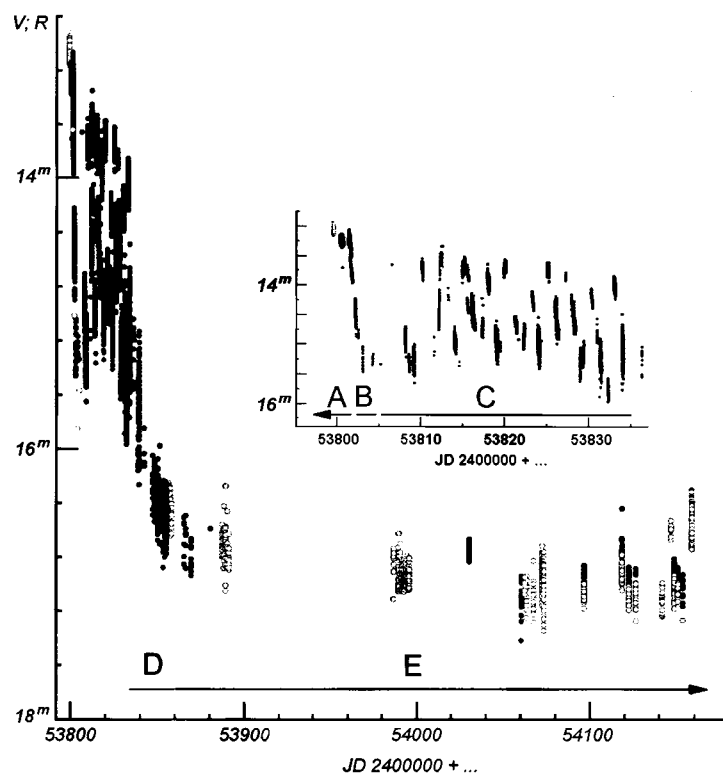


Рис. 1. Кривая блеска вспышки 2006 г. в фотометрических полосах R (точки) и V (кружки) Буквами указаны стадии развития вспышки (объяснение в тексте). На фрагменте более подробно показана кривая блеска на стадиях А, В, С

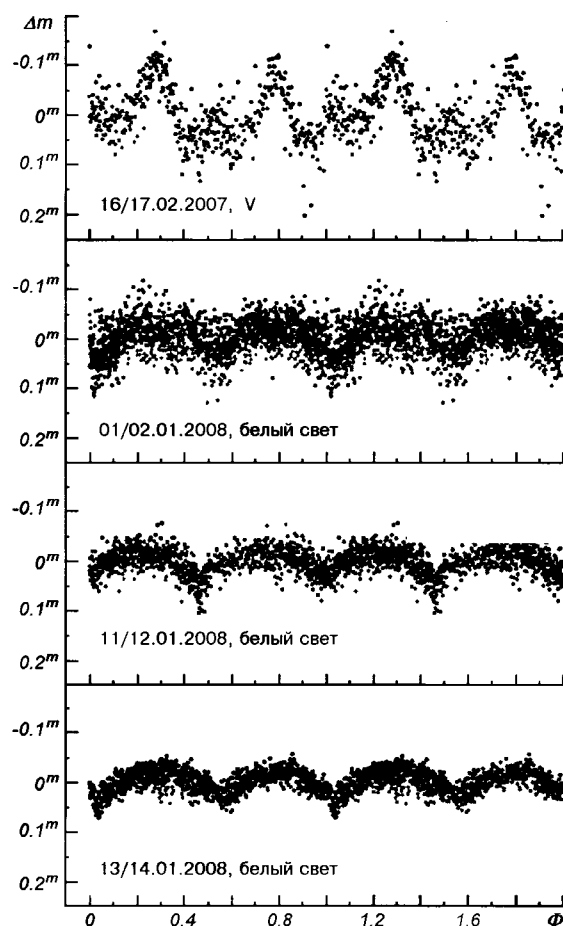


Рис. 2. Примеры орбитальных кривых блеска SDSS JO804 по наблюдениям в КраО

фрагменте показана кривая, полученная 16/17 февраля 2007 г. — через год после вспышки. Видно, что профиль кривых в целом двугорбый с практически одинаковыми глубинами минимумов. Амплитуда кривых за год уменьшилась от 0.2 до 0.1^m. На кривой 16/17 февраля 2007 г. каждый из максимумов расщеплен на два «подмаксимума» разной высоты. Шумовая дорожка всех кривых блеска обусловлена вкладом пульсаций белого карлика.

УТОЧНЕНИЕ ПЕРИОДА СВЕРХГОРБОВ И ОРБИТАЛЬНОГО ПЕРИОДА

Точные величины периода сверхгорбов и орбитального периода необходимы для оценки массы вторичного компонента. В работе Е. П. Павленко и др. [8] была приведена предварительно полученная средняя величина периода сверхгорбов 0.059713(7) сут. Сам период сверхгорбов, подобно периоду сверхгорбов других карликовых новых типа SU UMa [12], систематически уменьшался в течение развития вспышки [7, 9]. Здесь мы представляем более детальное исследование периода сверхгорбов по данным международной кампании [8]. На рис. 3 приведена амплитудная периодограмма,

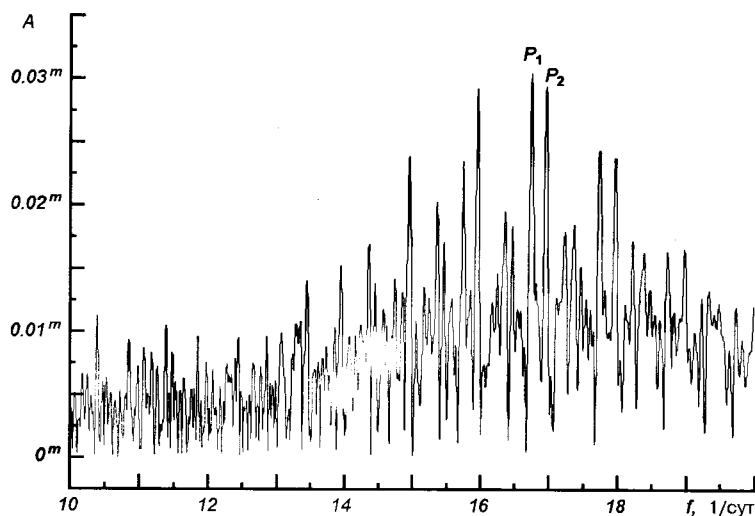


Рис. 3. Амплитудная периодограмма, построенная для данных SDSS J0804 после вычитания тренда, соответствующего профилю повторных поярчаний

рассчитанная методом Фурье в диапазоне $10\text{--}20\text{ сут}^{-1}$ с помощью программы Period04 [3]. В общей сложности амплитудная периодограмма строилась по 7525 измерениям.

На периодограмме выделяются два пика $P_1 = 0.059729(4)$ и $P_2 = 0.058973(4)$ сут, хорошо видны их суточные гармоники. Из этих двух периодов период P_2 кажется менее вероятным, так как он меньше орбитального периода, а у известных звезд типа WZ Sge разница между периодом сверхгорбов и орбитальным периодом всегда положительная. Поэтому мы принимаем среднюю величину периода сверхгорбов, равную $P_1 = 0.059729(4)$ сут.

К настоящему времени оказалось возможным использовать гораздо больший интервал наблюдений (2005—2008 гг.) для уточнения орбитального периода по сравнению с интервалом несколько месяцев, в котором орбитальный период был определен ранее [13]. Для этого мы воспользовались классическим методом O—C для наблюдаемых минимумов блеска. Индивидуальные кривые блеска являют собой суперпозицию колебаний блеска с орбитальным периодом и периодических пульсаций белого карлика, что ухудшает точность определения моментов минимума блеска. Чтобы уменьшить погрешность, мы для каждой ночи наблюдений удаляли доминирующую частоту пульсаций, делали свертку данных со «стартовой» величиной орбитального периода и определяли среднюю фазу минимума. Обычно каждая ночь наблюдений охватывала два и более орбитальных цикла. Также были использованы опубликованные данные [10] и [13].

В таблице приведены данные середины интервала наших наблюдений для индивидуальных ночей, средняя фаза минимумов I и II и обсерватория, где получены наблюдения.

В вычислениях фазы обоих минимумов использовалась «стартовая» эфемерида

$$\text{Min} = \text{HJD}2453744.37 + 0.05900E. \quad (4)$$

На рис. 4 в качестве значений O—C по вертикальной оси отложена фаза I и II минимумов, а по горизонтальной — юлианская дата. Хорошо

Расчетные фазы минимумов I и II

Минимум I		Минимум II		
JD 2400000 + ...	фаза	обсерватория	обсерватория	
53744.5	0.52	КраО	53744.5 0.98	КраО
54030.5	1.43	КраО	54030.5 0.97	КраО
54063.5	1.43	КраО	54063.5 0.93	КраО
54158.2	1.60	КраО	54158.2 1.06	КраО
54418.4	1.52	КраО	54418.4 2.00	КраО
54467.3	1.50	КраО	54467.3 2.05	КраО
54477.3	1.58	КраО	54477.3 2.05	КраО
54479.3	1.75	КраО	54479.3 2.06	КраО
54612.3	1.84	КраО	54542.3 2.16	КраО
54610.3	1.77	КраО	54608.3 2.27	КраО
54572.3	1.75	КраО	54610.3 2.27	КраО
54535.2	1.73	АПО	54612.3 2.27	КраО
54563.2	1.77	АПО	54524.1 2.02	АПО
54608.3	1.79	АПО	54525.2 2.16	АПО
54610.3	1.78	АПО	54535.2 2.18	АПО
54612.3	1.82	АПО	54536.2 2.20	АПО
54525.2	1.64	АПО	54544.4 2.17	АПО
54536.2	1.60	АПО	54563.2 2.18	АПО

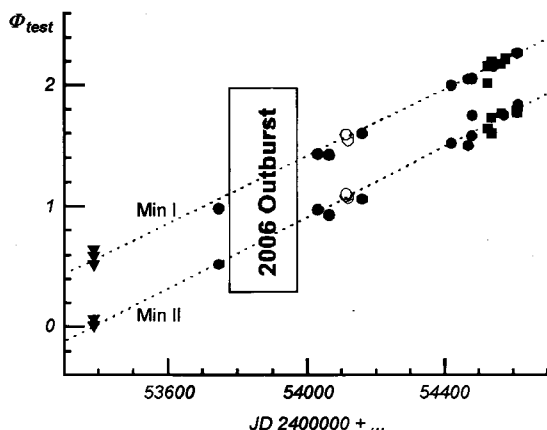


Рис. 4. Зависимость фазы Φ_{test} минимумов блеска от времени. Данные, полученные в КраО, обозначены точками, в АПО — квадратиками, литературные данные — остальные значки

видно, что минимумы, вычисленные с периодом 0.05900 сут, наступают систематически позже ожидаемых моментов. Линейное увеличение фазы позволяет легко уточнить величину орбитального периода, который теперь оказывается равен 0.0590048(3) сут, и для каждого из минимумов определить эфемериду:

$$\text{Min I} = \text{HJD } 53744.37 + 0.0590048(3)E, \quad (5)$$

$$\text{Min II} = \text{HJD } 53744.40 + 0.0590048(3)E. \quad (6)$$

ПУЛЬСАЦИИ БЕЛОГО КАРЛИКА

В этой системе примерно через 9 месяцев после вспышки Е. П. Павленко и др. [9] были обнаружены пульсации белого карлика с частотой 114 сут⁻¹ (период 12.6 мин). Фотометрический мониторинг, проведенный на обсерваториях КраО и АПО в 2008 г., позволил провести более тщательный анализ пульсаций с января по май 2008 г. Общее количество измерений составило 8262.

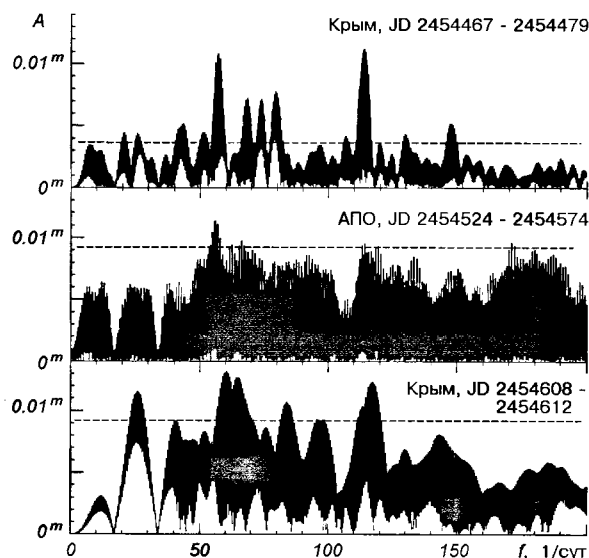


Рис. 5. Периодограммы для трех сетов наблюдений. Штриховой линией указан уровень 3σ (объяснение в тексте)

Перед анализом временных рядов из них была убрана периодическая волна, соответствующая орбитальному периоду. Данные были представлены в виде трех сетов наблюдений. Первый включал три ночи в январе (КраО), второй — 12 ночей в марте — апреле (АПО), и третий сет — три ночи в мае (КраО). Амплитудные периодограммы, рассчитанные для каждого сета наблюдений методом Фурье с использованием пакета программ Period04 [3], представлены на рис. 5 в хронологическом порядке сверху вниз. Несмотря на различные цветовые системы и большую разницу диаметров телескопов, результирующие периодограммы показывают общую деталь: наличие одних и тех же наиболее значимых частот для всех трех сетов наблюдений. На эти частоты (57 и 114 сут^{-1}) указывают центральные части пиков. Последняя частота с точностью до целого числа является удвоенной величиной первой частоты. Сами же доминирующие пики имеют также более тонкую структуру, вызванную как специфическим распределением данных на интервале наблюдений, так и возможным реальным расщеплением, возникающем при быстром вращении белого карлика или/и вызванным его магнитным полем (эта проблема будет рассматриваться позже).

На периодограммах указан уровень $3\sigma(f)$, который рассчитывался по формуле [1]

$$\sigma(f) = v(6/n) 1/\pi T \sigma(m)/a, \quad (7)$$

где n — число измерений блеска звезды; $\sigma(m)$ — средняя квадратичная ошибка одного измерения после вычитания периода с частотой f ; a — амплитуда периода с частотой f при синусоидальной аппроксимации.

Помимо доминирующих частот, на меньшем доверительном уровне, но не менее 3σ , можно отметить и другие частоты: для первого сета наблюдений это 21, 26, 74 и удвоенные частоты 42, 52 и 148, а также 68, 80, 106, 120 и 130 сут^{-1} . Для второго сета наблюдений только доминирующие частоты в районе 57 и 114 сут^{-1} преодолевают уровень 3σ — более низкое отношения сигнала к шуму здесь обусловлено меньшим диаметром телескопа и худшим временным разрешением данных. Третий сет наблюдений

показывает наличие общих с первым сетом частот 26, 42 и 52, а также 65, 83, 98 и 118 сут⁻¹. Любопытно, что колебания на частоте 26 сут⁻¹ в майском сете наблюдений увеличили амплитуду вдвое по сравнению с январским сетом, а колебания на частоте 118 — почти в три раза по сравнению с ближайшей частотой январского сета 120 сут⁻¹. Отметим, что все аккрецирующие пульсаторы всегда показывают помимо доминирующей частоты набор других частот [2].

МАССА ВТОРИЧНОГО КОМПОНЕНТА

Уточнив величины орбитального периода и среднего периода сверхгорбов, с помощью выражения (3) вычисляем $\varepsilon = 0.012$, а в соответствии с (2) получаем отношение масс $q = 0.062$. Это несколько больше, чем получено нами предварительно [13]. Масса белого карлика для этой системы неизвестна, но для возможных крайних ее значений 0.6—1.4 солнечных масс [11] получаем, что масса вторичного компонента заключена в пределах 0.037—0.087 солнечных масс, т. е. этот компонент с большой вероятностью можно считать коричневым карликом.

Данная работа была выполнена в рамках проекта «Наблюдательные проявления барионного и небарионного компонентов темной материи» в рамках темы 247 «Исследования структуры и состава Вселенной, скрытой массы темной материи».

1. Breger M., Handler G., Carrido R., et al. 30+ frequencies for the delta Scuti variable 4Canum Venaticorum: results of the 1996 multisite campaign // *Astron. and Astrophys.*—1999.—349.—P. 225—235.
2. Gansicke B. T. HS 2331+3905, the brightest CV white dwarf pulsator // *ASP Conf. Ser.*—2007.—372.—P. 597—602.
3. Lenz P. Period User Guide // *CoAst.*—2005.—146.—P. 53—136.
4. Osaki Y. and Meyer F. Early humps in WZ Sge stars // *Astron. and Astrophys.*—2002.—383.—P. 574.—579.
5. Patterson J. Late Evolution of Cataclysmic Binaries // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—1998.—110.—P. 1132—1147.
6. Patterson J., Kemp J., Harvey D. A., et al. Superhumps in cataclysmic binaries. XXV. q_{crit} , ε and mass—radius // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—2005.—117.—P. 1204—1222.
7. Pavlenko E. P. WZ Sge stars // *Odessa Astronom. Publ.*—2007.—20.—P. 168—172.
8. Pavlenko E. P., Shugarov S. Yu., Katysheva N. A., et al. Discovery of the new WZ Sge star SDSS J080434.20+510349.2 // *ASP Conf. Ser.*—2007.—372.—P. 511—514.
9. Pavlenko E. P., Shugarov S. Yu., Katysheva N. A., et al. Activity of WZ Sge type dwarf nova SDSS J080434.20+510349.2 during rebrightenings and post—nova stage // *ASP Conf. Ser.*—2009.
10. Szkody P., Henden A., Aguero M., et al. Cataclysmic variables from Sloan Digital Sky Survey. V. The fifth year (2004) // *Astron. J.*—2006.—131.—P. 973—983.
11. Townsley D. M., Bildsten L. The thermal structure and evolution of accreting white dwarfs // *ASP Conf. Ser.*—2007.—372.—P. 557—562.
12. Warner B. *Cataclysmic Variable Stars.* — Cambridge: Univ. Press, 1995.—568 p.
13. Zharikov S. V., Towmassian G. H., Neustroev V. V., et al. Cyclic brightening in the short-period WZ Sge-type cataclysmic variable SDSS J080434.20+510349.2 // *Astron. and Astrophys.*—2008.—486.—P. 505—511.

Поступила в редакцию 30.09.08