

НАБЛЮДЕНИЕ КАНДИДАТОВ В ЗАТМЕННЫЕ КАТАКЛИЗМИЧЕСКИЕ ПЕРЕМЕННЫЕ НА ТЕЛЕСКОПЕ РТТ-150

© 2021 г. М. М. Габдеев^{1,2,3*}, И. Ф. Бикмаев^{2,4},
В. В. Шиманский^{3,2}, Р. Я. Жучков^{2,4}, Э. Н. Иртуганов^{2,4}

¹Институт прикладных исследований АН РТ, Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

³Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

⁴Академия Наук РТ, Казань, Россия

Поступила в редакцию 24.08.2021 г.

После доработки 07.10.2021 г.; принята к публикации 07.10.2021 г.

Представлены результаты фотометрических и спектральных наблюдений. Исследованы четыре катаклизмические переменные звезды 2ХММ J183251.4–100106, MLS1809017 J224712+461815, MGAB-V330 и MGAB-V410. Проведен анализ наблюдательных данных, определены периоды систем по фотометрическим данным. Объект MLS1809017 J224712+461815 классифицирован как карликовая новая типа SU UMa. Остальные три системы являются затменными. При этом 2ХММ J183251.4–100106 и MGAB-V410 показывают признаки полярных. Одновременно с этим для MGAB-V410 орбитальный период $P_{\text{orb}} = 2^{\text{h}}2$ попадает в промежуток периодов катаклизмических переменных.

Ключевые слова: катаклизмические переменные, затменные системы.

DOI: 10.31857/S0320010821100041

ВВЕДЕНИЕ

Катаклизмические переменные — это тесные двойные системы, состоящие из белого карлика (главный компонент) и маломассивной звезды позднего спектрального класса (вторичный компонент) (Уорнер, 1995). Вторичный компонент заполняет свою полость Роша, и его вещество перетекает на белый карлик. Орбитальные периоды таких систем варьируются от 80 мин до 10 ч. Особенностью распределения периодов является “период gap” — малое количество систем, лежащих в промежутке $P_{\text{orb}} = 2^{\text{h}}15–3^{\text{h}}18$ (Книгге и др., 2011). Наблюдаемый дефицит систем в данном промежутке обусловлен переходом вторичного компонента на полностью конвективную оболочку и прекращением переноса и аккреции вещества (Зорогович и др., 2016; Гараффо и др., 2018).

Катаклизмические переменные делят на два подкласса в зависимости от замагничности белого карлика. При магнитном поле менее 10^5 Гс аккреция вещества происходит под действием силы тяготения, формируется аккреционный диск. Такие системы называются немагнитными. Аккреционный диск может испытывать флуктуации плотности

и температуры, которые приводят к вспышечной активности. Магнитными системы называются при напряженности магнитного поля белого карлика от 10^6 Гс. В таких системах происходит частичное (промежуточные полярны) или полное разрушение (полярны) аккреционного диска. В промежуточных полярных сохраняется достаточно высокий темп аккреции, вследствие чего формируется жесткое рентгеновское излучение. Вращение белого карлика не синхронизировано с орбитальным периодом, это приводит к обнаружению двух устойчивых периодов переменности. Один связан с орбитальным вращением компонент, другой — с собственным вращением белого карлика. Полярны, в свою очередь, являются синхронизированными системами с высокой степенью поляризации оптического излучения. Более подробно о наблюдательных особенностях магнитных катаклизмических переменных представлено в обзоре Кроппер (1990).

Поиск новых катаклизмических переменных является актуальной задачей. Новые объекты находят с помощью оптических, таких как CRTS (Дрэйк и др., 2009), ASAS-SN (Кочанек и др., 2017), ZTF (Шкоди и др., 2021), MASTER (Липунов и др., 2010) и рентгеновских RXTE (Сазонов и др., 2006), ROSAT (Буренин и др., 2016) об-

*Электронный адрес: gamak@sao.ru

Таблица 1. Журнал наблюдений

Объект	α	δ	Date, yy/mm/dd	Photometry, filter, N, T_{exp}	Spectroscopy, grizm, N, T_{exp}
2XMM J183251.4–100106	18:32:51.58	–10:01:05.56	2020/07/08 JD = 2459038	r, 3, 600 i, 3, 600 z, 3, 600	–
			2020/07/09 JD = 2459039	r, 4, 300 i, 5, 300 z, 4, 300	–
			2020/10/04 JD = 2459126	i, 27, 300	–
MLS1809017 J224712+461815	22:47:12.26	+46:18:14.94	2020/11/24 JD = 2459177	–	15, 2, 1800
			2020/11/25 JD = 2459178	g, 3, 300 r, 3, 180 i, 3, 60 z, 4, 60	8, 2, 3600
			2020/11/26 JD = 2459179	r, 77, 120	–
MGAB-V330	05:48:30.68	+53:44:02.15	2021/02/24 JD = 2459269	r, 60, 180	–
			2021/02/26 JD = 2459271	w, 88, 180	–
MGAB-V410	07:00:55.18	+53 25 26.76	2021/02/27 JD = 2459272	w, 52, 180	–
			2021/02/28 JD = 2459273	w, 29, 180	–

зоров неба. При этом для надежной классификации найденных объектов часто необходимы дополнительные наблюдения. Правильная классификация позволяет выстроить эффективную стратегию дальнейших наблюдений. Используя комплексный анализ спектральных и фотометрических наблюдательных данных, определяются фундаментальные параметры систем. Детальные исследования катаклизмических переменных расширяют знания о процессах эволюции тесных двойных систем и их компонентов, о процессах аккреции вещества и его взаимодействии с гравитационным и магнитным полями. Наиболее интересны в этом плане затменные системы. Так как наличие затмения позволяет с высокой степенью надежности определять фундаментальные параметры.

Мы представляем оптические наблюдения четырех катаклизмических переменных звезд. По фотометрическим наблюдениям построены кривые блеска и определены периоды переменности. На основе анализа наблюдательных данных проведена классификация объектов. В следующем разделе описаны методика наблюдений и используемое

оборудование, далее мы подробно останавливаемся на свойствах исследуемых систем, а в разделе “Заключение” подведены краткие итоги работы.

НАБЛЮДЕНИЯ

Наблюдения выполнены на Российско-Турецком 1.5-м телескопе РТТ-150 в 2019–2021 гг. Для проведения фотометрических и спектральных наблюдений использовался прибор ТФОСК¹ с матрицей фирмы Andor iKon-L 936 с чипом VEX2-DD² формата 2048 × 2048 пикселей размером 13.5 мкм с рабочей температурой – 80°C. Фотометрические изображения получены с использованием широкополосных фильтров системы SDSS и в белом свете. Для спектральных наблюдений использовались гризмы #15 и #8 с входной щелью 0.134 мм (2.4"). Первая позволяет регистрировать спектр в диапазоне λ 3800–8880 Å со спектральным разрешением 15 Å, вторая

¹<http://hea.iki.rssi.ru/rtt150/en/index.php?page=tfosc>

²<https://andor.oxinst.com/products/>

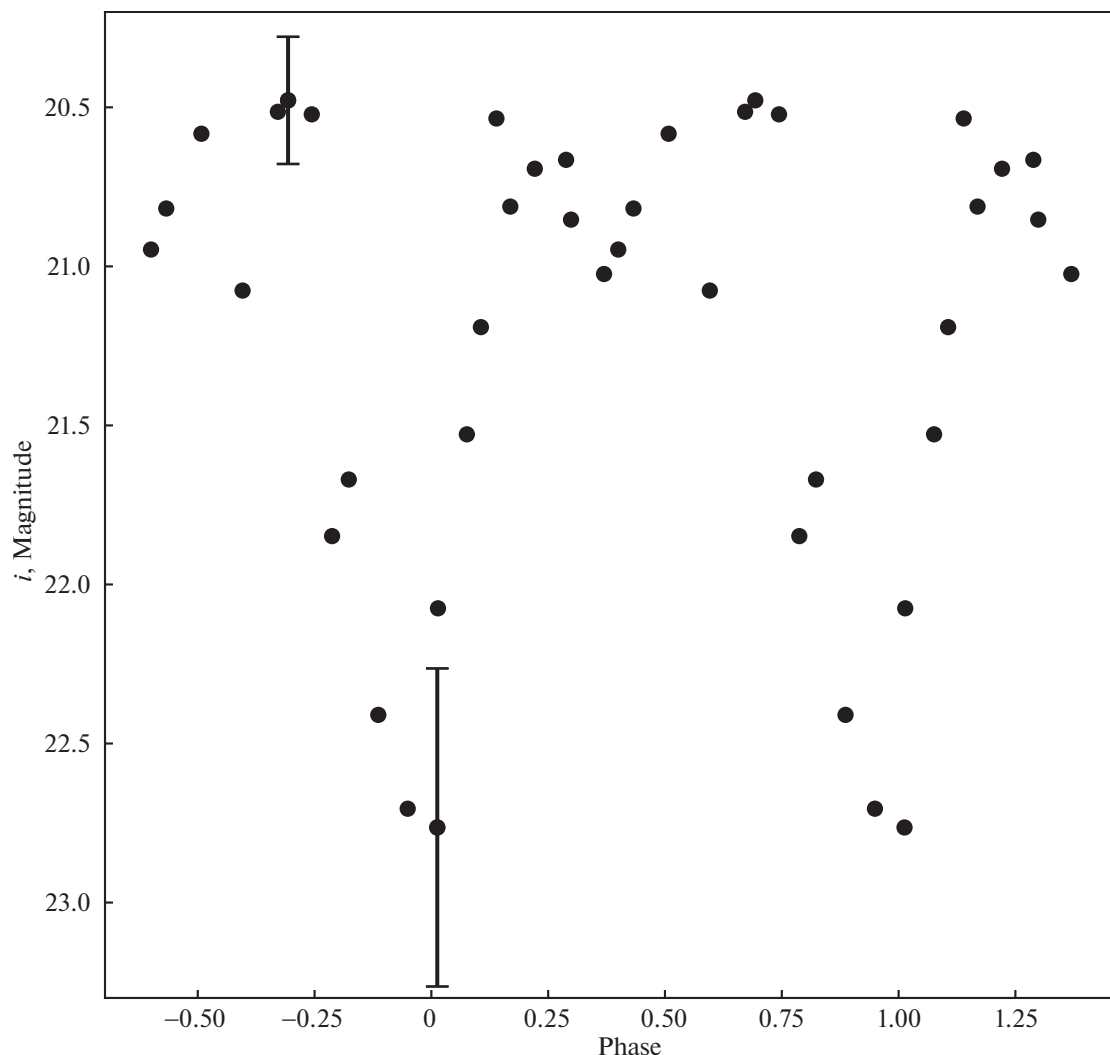


Рис. 1. Кривая блеска 2XMM J183251.4-100106 в полосе i , свернутая с орбитальным периодом. Для наглядности данные продублированы, ошибки приведены для самой минимальной и максимальной звездной величины.

на длинах волн λ 6100–8100 Å со спектральным разрешением 7 Å. Журнал наблюдений представлен в табл. 1.

Обработка наблюдений проводилась в среде программирования IDL с использованием стандартных методик обработки фотометрических и спектральных данных.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2XMM J183251.4-100106

Хьюи и др. (2012), анализируя архивные данные наблюдений остатка сверхновой Kes69 обсерватории XMM, открыли переменный рентгеновский источник XGPS-I J183251-100106 (2XMM J183251.4-100106), который показал 1.5-ч переменность. Рентгеновский спектр объекта описывается тормозным излучением с температурой 46 ± 10 кэВ. Хьюи и др. (2012) нашли, что объект

является затменной системой с шириной затмения в рентгеновском диапазоне 320 с и на основе полученных результатов классифицировали источник как катаклизмическую переменную типа AM Her (поляр).

Мы провели фотометрические наблюдения с целью оптического отождествления рентгеновского объекта и построения его кривой блеска. Отметим, что объект имеет отрицательное значение по координате склонения и расположен вблизи плоскости Галактики. Эти факторы осложнили получение наблюдательных данных. При наблюдениях в июльские ночи объект был обнаружен на одном из кадров в полосе r с отношением $S/N \sim 4$. Звездная величина объекта равнялась $r = 21^m9$, нижние пределы в полосах $i, z = 22^m$. В октябре наблюдения проводились в фильтре i в течение 3 ч. Мы зарегистрировали два затмения. Кривая блеска показана на рис. 1. По имеющимся данным

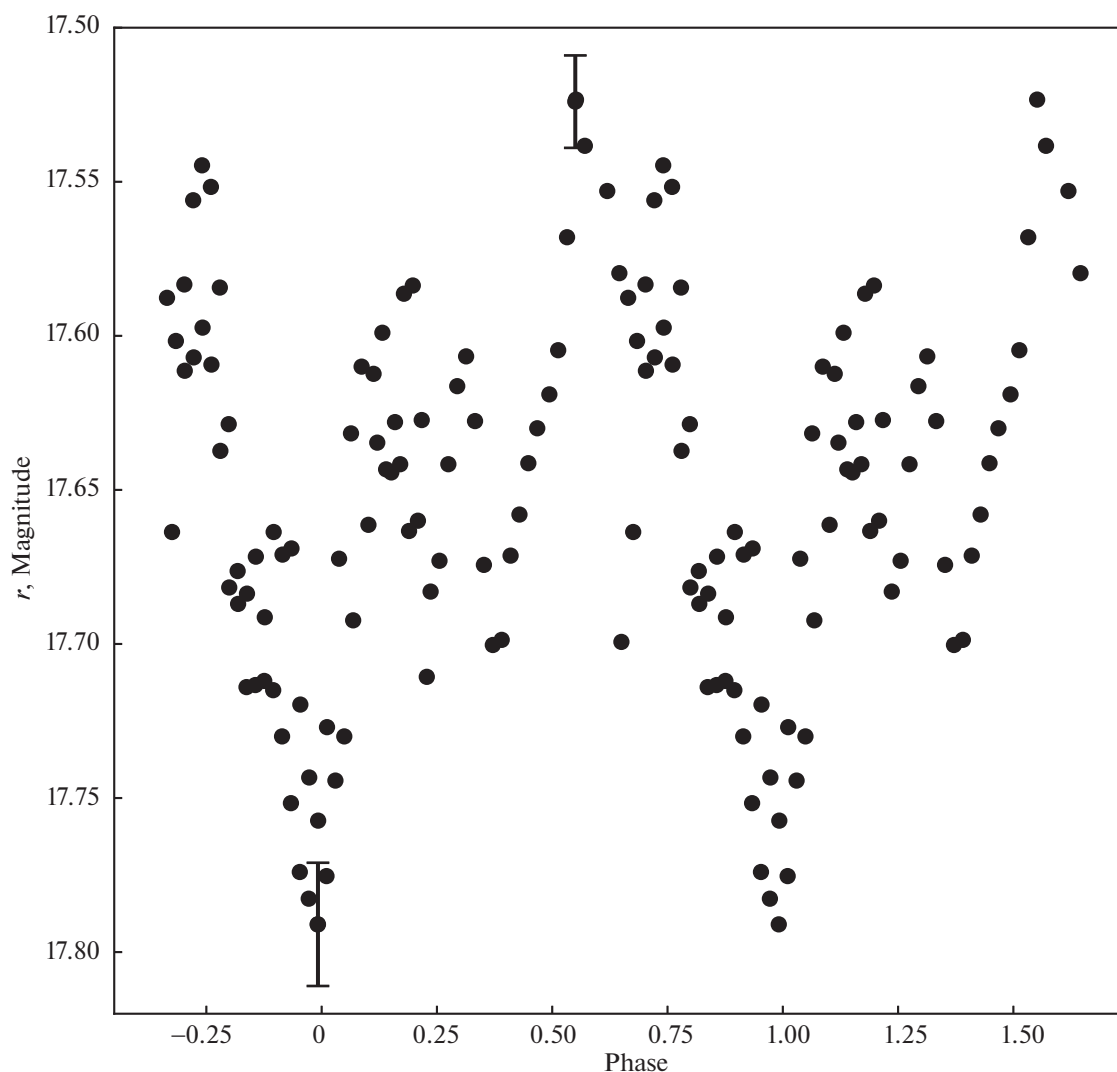


Рис. 2. Кривая блеска MLS1809017 J224712+461815 в полосе r , свернутая с фотометрическим периодом. Для наглядности данные продублированы, ошибки приведены для самой минимальной и максимальной звездной величины.

мы определили орбитальный период $P_{\text{orb}} = 0^{\text{d}}059 \pm \pm 0.0015$ ($\sim 1^{\text{h}}4$). Период переменности этого и остальных объектов в данной работе определялся по фотометрическим данным методом Лафлера и Кинмана (1965), реализованном в программе Горанского В.П. WINEFK³. С точностью до скважности наблюдений наш период совпадает с периодом, определенным Хьюи и др. (2012). Ширина затмения оптической кривой блеска составляет $\Delta\phi = 0.2$, что примерно в 3 раза больше продолжительности в рентгеновском диапазоне. Предполагаем, что это эффект низкой скважности наблюдений, объединивший дип, видимый на рентгеновской кривой блеска, и самого затмения.

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

MLS1809017 J224712+461815

Данный объект был обнаружен проектом CRTS в 2018 г. во время увеличения блеска. Долговременная кривая блеска показывает изменения блеска в пределах от 19^{m} до 17.2^{m} . Ее можно посмотреть на сайтах проектов CRTS⁴ и ASAS-SN⁵. На основе цветовых характеристик и переменности блеска объекта в рамках обзора 3BS было сделано предположение, что объект является полярмом (Габдеев и др., 2020).

Во время наблюдений на телескопе РТТ-150 объект имел средний блеск $\langle r \rangle = 17^{\text{m}}6$. Кривая блеска, свернутая с фотометрическим периодом $P_{\text{phot}} = 0^{\text{d}}0868 \pm 0.0007$ ($\sim 2^{\text{h}}1$) показана на рис. 2.

⁴http://nesssi.cacr.caltech.edu/MLS/CRTSII_CV.html#table33

⁵<https://asas-sn.osu.edu/variables/267579>

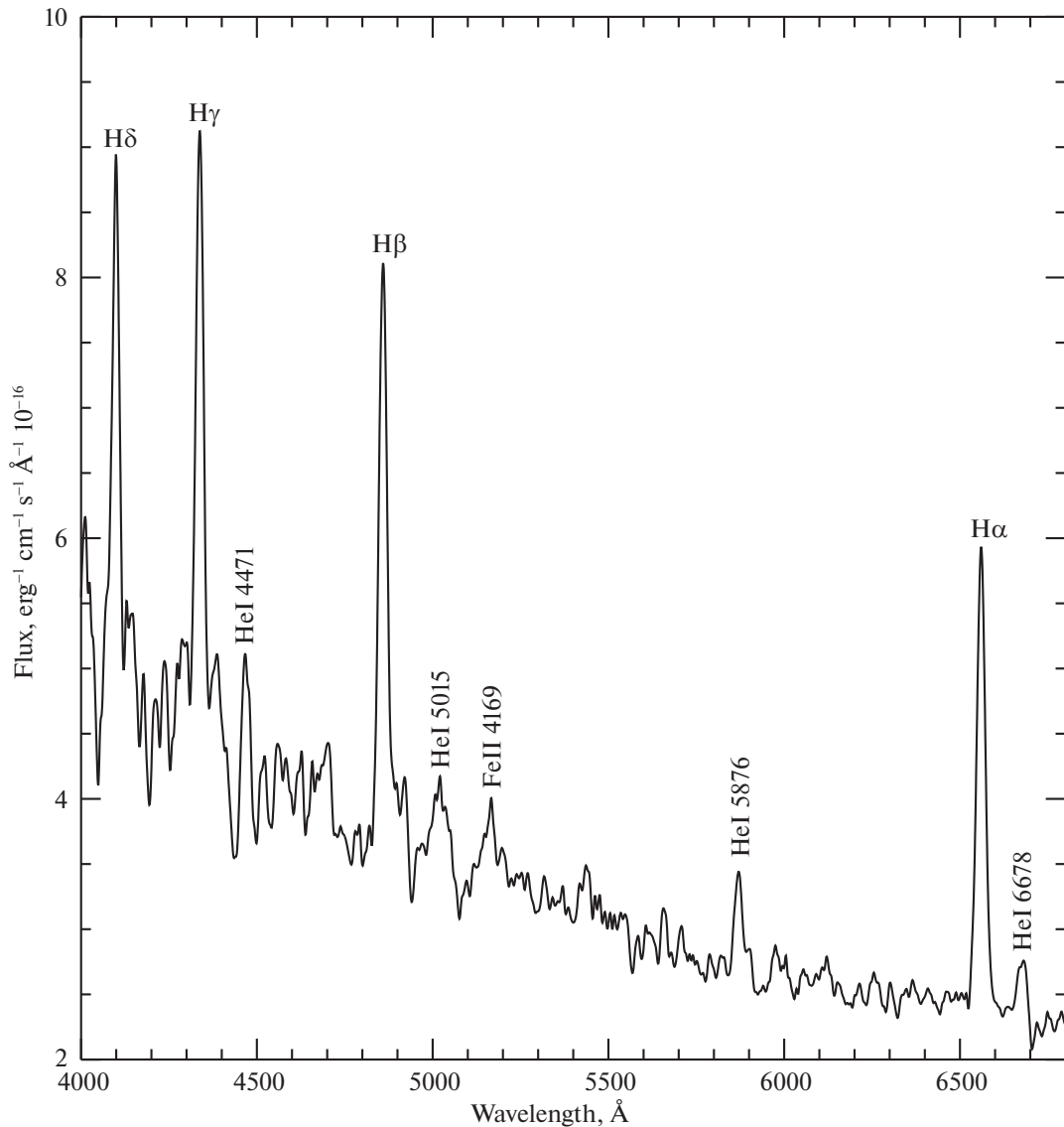


Рис. 3. Суммарный спектр объекта MLS1809017 J224712+461815 с отмеченными эмиссионными линиями.

Данный период может являться орбитальным или периодом сверхгорбов. Блеск системы показывает квазисинусоидальные изменения с амплитудой $\sim 0^m.3$ звездной величины.

В оптическом спектре объекта (рис. 3) доминирует голубое излучение в континууме со слабым ростом потока при уменьшении длины волны $F_\lambda \approx \approx C/\lambda$. Модельный анализ показал, что со случайными среднеквадратичными отклонениями до 5.5% наблюдаемое распределение потоков описывается чернотельным излучением с температурой $T_e \approx \approx 7000$ К. Таким образом, соответствует излучению холодного аккреционного диска или белого карлика. При сглаживании спектра методом бегущего среднего в интервалах 15 \AA в синем диапазоне наблюдаются широкие $\Delta\lambda > 100 \text{ \AA}$, но слабые кры-

лья линий $H\beta$ и, особенно, $H\gamma$, $H\delta$, характерные для спектров белых карликов. Мы делаем вывод, что в непрерывном спектре объекта доминирует термализованное излучение аккреционного диска. Однако наличие абсорбционных деталей, формирующихся в атмосфере белого карлика, говорит об умеренной оптической толщине диска в континууме, вероятно меньшей $\tau \approx 1$.

В линейчатом спектре наблюдаются эмиссионные линии бальмеровской серии $H\alpha$ – $H\delta$, линии HeI λ 4387, 4471, 5015, 5786, 6678 \AA и FeII λ 5169 \AA . Их наблюдаемая полуширина $\Delta\lambda = = 22$ – 28 \AA превышает ограничение спектрального разрешения и, вероятно, соответствует дисперсии скоростей газа в аккреционном диске $\Delta V_r = = 900$ – 1100 км/с. Линия $H\alpha$, наблюдаемая в

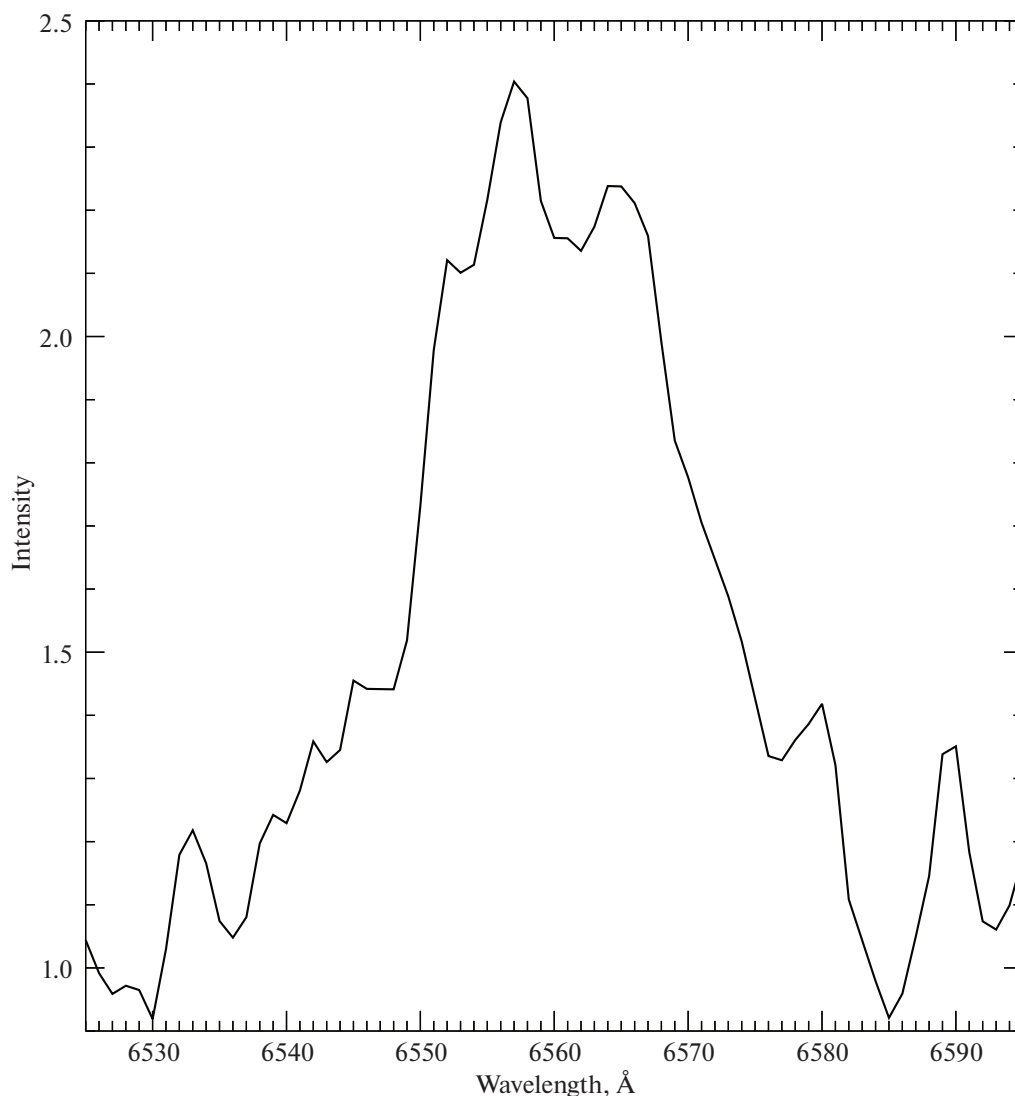


Рис. 4. Профиль линии $H\alpha$, нормированный на континуум, полученный с разрешением 7\AA .

суммарном спектре более высокого разрешения (рис. 4), имеет двухпиковый профиль, характерный для излучения аккреционного диска. Более интенсивный синий пик, вероятно, соответствует излучению области горячего пятна, формирующегося при столкновении перетекающего вещества с поверхностью аккреционного диска. Существенное различие лучевых скоростей Бальмеровских линий, измеренных путем вписывания профиля Гаусса: $V_r(H\alpha) = -256$ км/с, $V_r(H\beta) = -194$ км/с, $V_r(H\gamma) = -146$ км/с, $V_r(H\delta) = -137$ км/с, также свидетельствует об их формировании в обширной высокоскоростной области, характерной для аккреционного диска. Интегральные интенсивности линий H I различаются не более, чем на 25%, с максимумом у H β , ($H\alpha/H\beta/H\gamma/H\delta = 0.80/1.00/0.92/0.81$). Отсутствие значимого декремента Бальмеровских линий указывает, что

оптическая толщина аккреционного диска в них намного превосходит единицу и их формирование происходит на его периферии. Напротив, среди эмиссионных линий He I наибольшая интенсивность наблюдается у He I $\lambda 4471$ Å и He I $\lambda 5786$ Å, что соответствует их атомным излучательным характеристикам. Вероятно, аккреционный диск остается оптически тонким в линиях He I и их излучение формируется в его внутренних областях.

В целом наблюдаемый спектр MLS1809017 J224712+461815 полностью соответствует спектрам карликовых новых в промежуточном состоянии с малым темпом аккреции (Цвиттер и др., 1995). Системы переходят в это состояние непосредственно после резкого падения блеска на $2-4^m$ по окончании вспышки и в дальнейшем медленно понижают светимость на $1-1.5^m$ по мере охлаждения аккреционного диска. Объекты

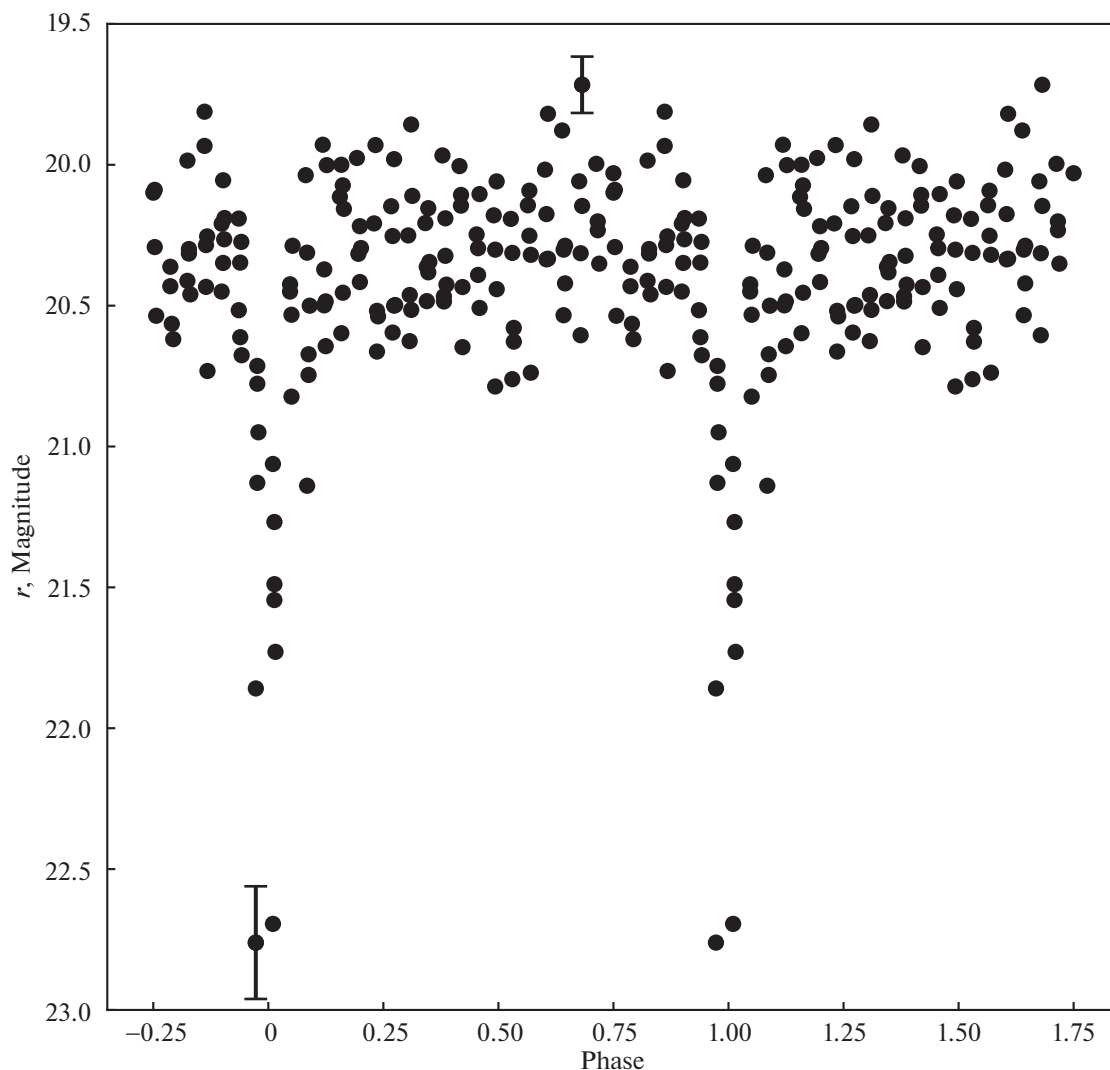


Рис. 5. Кривая блеска MGAB-V330 в полосе r , свернутая с орбитальным периодом. Для наглядности данные продублированы, ошибки приведены для самой минимальной и максимальной звездной величины.

с аналогичными спектрами VZ Рух (Цвиттер, Мунари, 1996), HO Del (Цвиттер, Мунари, 1998), V632 Cyg (Лиу и др., 1999) в соответствии с классификацией Паттерсон (1984) отнесены к карликовым новым типа U Gem и SU UMa с коротким периодом (менее 2 ч) и низким темпом переноса массы. В комплексном обзоре Моралес-Руэда и Марш (2020) показано, что карликовые новые с аналогичной интенсивностью линий наблюдаются в промежуточных состояниях с блеском на $\Delta m = 1.0^m - 1.5^m$ выше его значений в минимуме. С учетом установленного фотометрического периода системы $P_{\text{phot}} = 0^d 0868$ мы считаем, что она относится к карликовым новым типа SU UMa. Отметим, что это противоречит выводам, сделанным в работе Габдеева и др. (2020). Обзор ЗБС направлен на поиск полярных объектов по линии HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ с использованием среднеполосных

фильтров. Вероятно, объект в рамках обзора ЗБС наблюдался после вспышки, когда в спектрах объекта линия HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ была достаточно интенсивной. Вследствие чего он был ошибочно классифицирован как поляр.

MGAB-V330 и MGAB-V410

Объекты были обнаружены астрономом-любителем Габриэлем Муравски⁶ при обработке данных проекта ZTF (Маски и др., 2019). Долговременные кривые блеска объектов MGAB-

⁶<https://sites.google.com/view/mgab-astronomy/about-me?authuser=0>

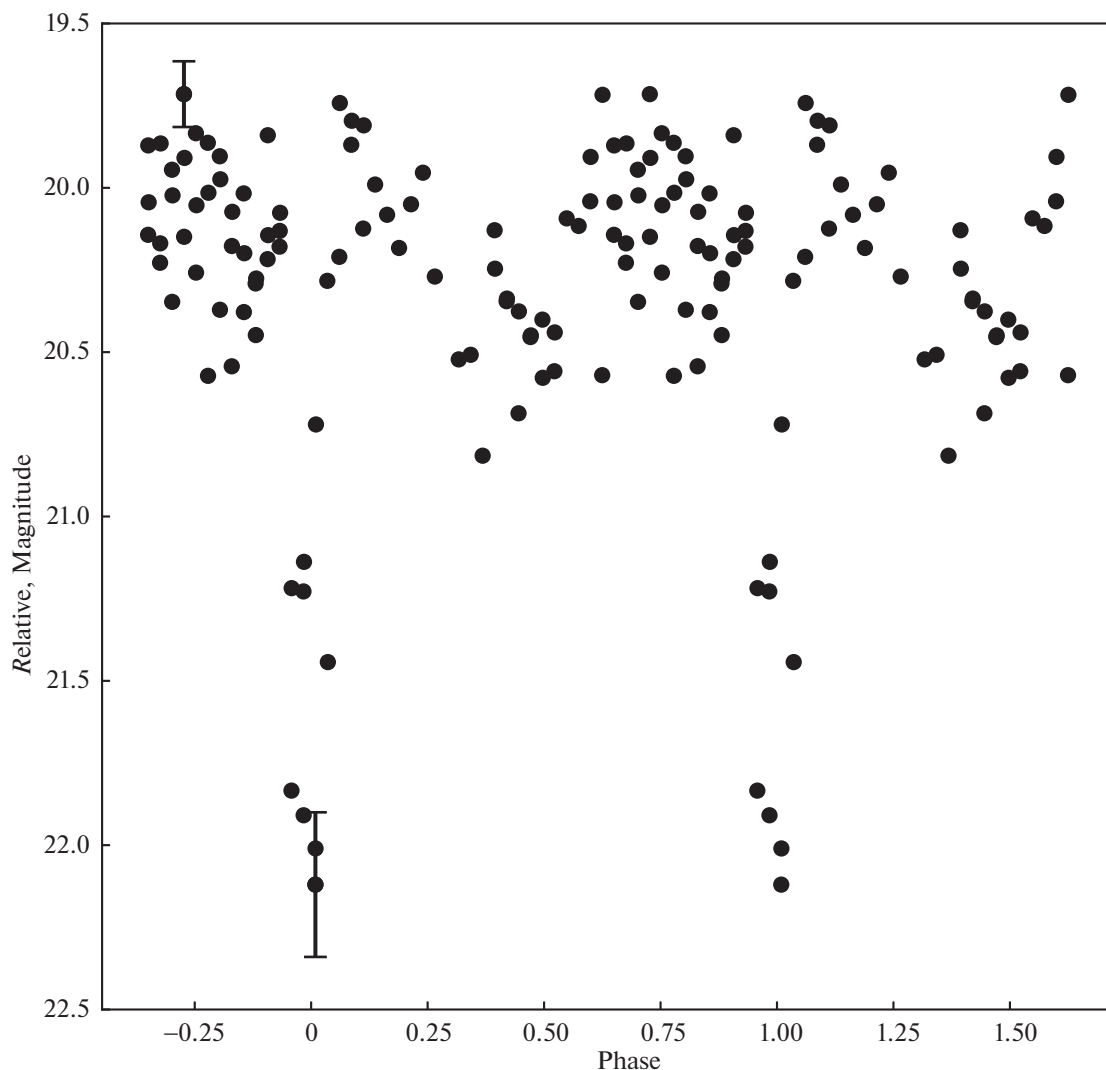


Рис. 6. Кривая блеска MGAB-V410 в белом свете, свернутая с орбитальным периодом. Для наглядности данные продублированы, ошибки приведены для самой минимальной и максимальной звездной величины.

V330⁷ и MGAB-V410⁸ можно найти на его сайте. Кривые блеска показывают изменения в диапазоне 4^m звездных величин. Пиков, характерных для вспышечной активности, не наблюдается. Габриель Марувски также отметил наличие затмений глубиной до 3^m в высоком состоянии у объекта MGAB-V330. Оба объекта были предварительно классифицированы им как поляры.

Нами были проведены наблюдения на телескопе РТТ-150 с целью определения орбитального периода этих систем. Наблюдения объекта MGAB-V330 проводились в полосе *r* и белом свете. Для построения однородной кривой блеска значения

звездных величин в белом свете были скорректированы и приведены к значениям в полосе *r*. Кривая блеска объекта MGAB-V330, свернутая с периодом $P_{\text{orb}} = 0.00639 \pm 0.0009$ (1^h5), представлена на рис. 5. На кривой блеска имеется затмение глубиной до 2^m.5. Между затмениями кривая блеска не имеет выраженной формы. Наблюдаются случайные изменения блеска с амплитудой 0^m.7. На основе наших наблюдений мы не можем ни подтвердить, ни опровергнуть классификацию данного объекта.

Объект MGAB-V410 наблюдался в белом свете. Измерения, свернутые с орбитальным периодом $P_{\text{orb}} = 0.00927 \pm 0.0009$ (~2^h2), представлены в относительных звездных величинах на рис. 6. На кривой блеска имеется затмение глубиной до 2^m. Между затмениями наблюдается фаза пониженной яркости на $\phi = 0.25-0.5$. В остальных фазах объект ярче на 0^m.5 звездной величины. Наблюдаемая

⁷https://sites.google.com/view/mgab-astronomy/mgab-v301-v350#h.p_CM8MTNSi5QN1

⁸<https://sites.google.com/view/mgab-astronomy/mgab-v401-v450#h.lbac2q1nc85d>

кривая блеска типична для затменных полярных (см., например, исследования BS Tri (Колбин и др., 2021), FL Ceti (Катышева, Шугаров, 2012), V808 Aur (Борисов и др., 2016)). Мы подтверждаем классификацию данного объекта как полярного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе представлены фотометрические и спектральные наблюдения катаклизмических переменных звезд, полученные на телескопе РТТ-150 с прибором ТФОСК. Целью исследования были уточнение классификации объектов 2ХММ J183251.4–100106, MLS1809017 J224712+461815, MGAB-V330 и MGAB-V410 и определение периода переменности этих систем.

Для объекта 2ХММ J183251.4–100106 была проведена идентификация оптического компонента. Показана переменность объекта в оптическом диапазоне с периодом $P_{orb} = 0^d059 \pm 0.0015$, который в пределах ошибок совпадает с рентгеновским периодом. Данный объект является затменным полярным.

Объект MLS1809017 J224712+461815, самый яркий из выборки, имеет фотометрический период $P_{phot} = 0^d0868 \pm 0.0007$ с амплитудой переменности $\sim 0^m3$. Спектр объекта имеет выраженную эмиссионную компоненту, формирующуюся в аккреционную диске. При усреднении по большому количеству точек обнаруживаются детали абсорбционных линий водорода белого карлика. Совместный анализ наблюдательных данных показал, что объект является карликовой новой типа SU UMa, находившийся в стадии перехода в спокойное состояние.

Орбитальный период системы MGAB-V330 составил $P_{orb} = 0^d0639 \pm 0.0009$. Кривая блеска между затмениями не имеет выраженной формы. Наблюдаются вариации блеска с амплитудой $\sim 0^m7$. По имеющимся данным мы не смогли классифицировать природу объекта.

Наиболее интересным, на наш взгляд, является объект MGAB-V410. Его орбитальный период $P_{orb} = 0^d0927 \pm 0.0009$ лежит на нижней границе промежутка орбитальных периодов. Форма кривой блеска соответствует затменному полярю. Затмение накладывается на фазы максимума блеска. В этот момент аккреционная колонка находится на лимбе белого карлика и затмевается вторичным компонентом. Второе падение блеска соответствует заходу аккреционной колонки за лимб белого карлика. Наличие вторичного максимума вблизи фазы $\phi = 0.4$ свидетельствует об аккреции на другой магнитный полюс белого карлика.

Для дальнейшего исследования и определения физических характеристик представленных систем

необходимы дополнительные наблюдения. В связи с этим планируется проводить новые наблюдения на российских и зарубежных телескопах. Наличие затмений в системах позволит с высокой точностью определить их физические параметры.

Стоит отметить, что наблюдения на телескопе РТТ-150 могут помочь в отождествлении новых катаклизмических переменных из рентгеновских обзоров телескопов ART-XC им. Павлинского (Павлинский и др., 2021) и eROZITA (Прэдэл и др., 2021), установленных на борту космической обсерватории СРГ (Сюняев и др., 2021). Как это делается на 1.6-м телескопе Саянской обсерватории (Зазнобин и др., 2021).

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 19-32-60021.

Оптические наблюдения на РТТ-150 выполнены за счет средств субсидии 0671-2020-0052, выделенной Казанскому федеральному университету для выполнения государственного задания в сфере научной деятельности. Авторы благодарны ТЮБИТАК, ИКИ РАН, КФУ и АН РТ за частичную поддержку в использовании РТТ-150 (Российско-Турецкий 1.5-м телескоп в Анталии).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов и др. (N.V. Borisov, M.M. Gabdeev, V.V. Shimansky, N.A. Katysheva, A.I. Kolbin, S.Yu. Shugarov, V.P. Goranskij), *Astrophys. Bull.* **71**, 101 (2016).
2. Буренин и др. (R.A. Burenin, M.G. Revnivtsev, A.Yu. Tkachenko, V.S. Vorob'ev, A.N. Semena, A.V. Meshcheryakov, S.N. Dodonov, M.V. Eselevich, M.N. Pavlinsky), *Astron. Lett.* **42**, 240 (2016).
3. Габдеев и др. (M. Gabdeev, T. Fatkhullin, N. Borisov, V. Aitov, V. Shimansky), *Ground-Based Astronomy in Russia. 21st Century, Proceed. of the All-Russian Conf. held 21–25 September, 2020 in Nizhny Arkhyz, Russia* (Ed. I.I. Romanyuk, I.A. Yakunin, A.F. Valeev, D.O. Kudryavtsev) **157** (2020).
4. Гараффо и др. (C. Garraffo, J.J. Drake, J.D. Alvarado-Gomez, S.P. Moschou, O. Cohen), *Astrophys. J.* **868**, 60 (2018).
5. Дрэйк и др. (A.J. Drake, S.G. Djorgovski, A. Mahabal, E. Beshore, S. Larson, M.J. Graham, R. Williams, E. Christensen, et al.), *Astrophys. J.* **696**, 870 (2009).
6. Зазнобин и др. (I. Zaznobin, S. Sazonov, R. Burenin, G. Uskov, A. Semena, M. Gilfanov, P. Medvedev, R. Sunyaev, M. Eselevich), 2021arXiv210705611Z, (2021).
7. Зоротович и др. (M. Zorotovic, M.R. Schreiber, S.G. Parsons, B.T. Gänsicke, A. Hardy, C. Agurto-Gangas, A. Nebot Gómez-Morán, A. Rebassa-Mansergas, A.D. Schwöpe), *MNRAS* **457**, 3867 (2016).

8. Катъшева, Шугаров (N. Katysheva and S. Shugarov), *Memorie della Societa Astronomica Italiana* **83**, 670 (2012).
9. Книгге и др. (C. Knigge, I. Baraffe, J. Patterson), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **194**, 48 (2011).
10. Колбин и др. (A.I. Kolbin, V.V. Shimansky, N.V. Borisov, N.A. Serebrykova, M.M. Gabdeev, N.A. Katysheva, S.Yu. Shugarov), *MNRAS in prep.*, (2021).
11. Кочанек и др. (C.S. Kochanek, B.J. Shappee, K.Z. Stanek, T.W.-S. Holoien, T.A. Thompson, J.L. Prieto, S. Dong, J.V. Shields, и др.), *PASP* **129**, 104 (2017).
12. Кроппер (M. Cropper), *Space Sci. Rev.* **54**, 195 (1990).
13. Лафлер, Кинман (J. Lafler and T.D. Kinman), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **11**, 216 (1965).
14. Липунов и др. (V. Lipunov, V. Kornilov, E. Gorbovskoy, N. Shatskij, D. Kuvshinov, N. Tyurina, A. Belinski, A. Krylov, et al.), *Adv. Astron.* **349171** (2010).
15. Лию и др. (W. Liu, J.Y. Hu, X.H. Zhu, Z.Y. Li), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **122**, 243 (1999).
16. Маски и др. (F.j. Masci, R.R. Laher, B. Rusholme, D.L. Shupe, S. Groom, J. Surace, E. Jackson, S. Monkewitz, et al.), *PASP* **131**, 018003 (2019).
17. Моралес-Руэда, Марш (L. Morales-Rueda and T.R. Marsh), *MNRAS* **332**, 814 (2002).
18. Павлинский и др. (M. Pavlinsky; A. Tkachenko, V. Levin, N. Alexandrovich, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, Yu. Bodnar, et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, 18 (2021).
19. Паттерсон (J. Patterson), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **54**, 443 (1984).
20. Прэдэл и др. (P. Predehl, R. Andritschke, V. Arefiev, V. Babyshkin, O. Batanov, W. Becker, H. Böhringer, A. Bogomolov. et al.), *Astron. Astrophys.* **650**, 18 (2021).
21. Сазонов и др. (S. Sazonov, S.M. Revnitsev, M. Gilfanov, E. Churazov, R. Sunyaev), *Astron. Astrophys.* **450**, 117 (2006).
22. Сюняев и др. (R. Sunyaev, V. Arefiev, V. Babyshkin, A. Bogomolov, K. Borisov, M. Buntov, H. Brunner, R. Burenin, et al.), arXiv210413267S, (2021).
23. Уорнер (B. Warner), *Cataclysmic Var. Stars* (1995).
24. Хьюи и др. (C.Y. Hui, K.A. Seo, C.P. Hu, L.C.C. Lin, Y. Chou), *Astrophys. J.* **759**, 109 (2012).
25. Цвиттер и Мунари (T. Zwitter and U. Munari), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **114**, 575 (1995).
26. Цвиттер, Мунари (T. Zwitter and U. Munari), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **117**, 449 (1996).
27. Цвиттер, Мунари (T. Zwitter and U. Munari), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **128**, 227 (1997).
28. Шкоди и др. (P. Szkody, C. Olde Loohuis, B. Koplitz, J. van Roestel, B. D'icenzo, A.Y.Q. Ho, L.A. Hillenbrand, E. Bellm, и др.), *Astrophys. J.* **162**, 17 (2021).