

ИССЛЕДОВАНИЕ КАНДИДАТА В КАРЛИКОВЫЕ НОВЫЕ OGLE-BLG-DN-0064 В РЕНТГЕНОВСКОМ И ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНАХ

© 2024 г. А. Б. Сибгатуллин^{1*}, В. И. Додон¹, И. И. Галиуллин¹, А. И. Колбин^{1,2},
В. В. Шиманский², А. С. Винокуров²

¹Казанский федеральный университет, Казань, Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, Россия

Поступила в редакцию 13.11.2024 г.

После доработки 05.12.2024 г.; принята к публикации 12.12.2024 г.

Источник OGLE-BLG-DN-0064 (далее OGLE64) был классифицирован как потенциальный кандидат в карликовые новые на основе регулярной вспышечной активности, обнаруженной оптическим обзором OGLE. В настоящей работе мы исследуем рентгеновское и оптическое излучение источника OGLE64 на основе архивных данных рентгеновских обсерваторий Chandra, Swift и полученных нами оптических наблюдений на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Источник OGLE64 демонстрирует рентгеновскую светимость $L_X \approx 1.6 \times 10^{32}$ эрг/с и высокое отношение рентгеновского потока к оптическому $F_X/F_{\text{opt}} \approx 1.5$, характерные для аккрецирующих белых карликов. Рентгеновский спектр OGLE64 аппроксимируется моделями степенного закона с фотонным индексом $\Gamma \approx 1.9$ и оптически тонкой плазмы с температурой $kT \approx 6.4$ кэВ. Оптический спектр демонстрирует эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия, в некоторых из которых наблюдается двухпиковая структура. Анализ вспышечной активности OGLE64 по данным оптических обзоров OGLE, ZTF, ATLAS и ASAS-SN выявил наличие сверхвспышек с характерным сверхциклом $P_{\text{super}} \approx 400$ сут. Мы не обнаружили значимой переменности ни в рентгеновской, ни в оптических кривых блеска OGLE64, которая могла бы быть связана с изменением условий видимости излучающих областей в разных фазах орбитального периода. Оценки орбитального периода системы косвенными методами демонстрируют, что период, вероятно, находится в диапазоне $P_{\text{orb}} \sim 1.5 - 3.5$ ч. Свойства рентгеновского и оптического излучения источника OGLE64 позволяют заключить, что система является карликовой новой типа SU UMa.

Ключевые слова: катаклизмические переменные, карликовые новые, сверхвспышки, аккреция, рентгеновская астрономия.

DOI: 10.31857/S0320010824110047, EDN: LSXOEC

ВВЕДЕНИЕ

Катаклизмические переменные (КП) представляют собой тесные двойные системы, состоящие из аккрецирующего белого карлика (БК) и звезды-донора, заполнившей свою полость Роша (Уорнер, 1995). КП являются источниками рентгеновского излучения с характерными светимостями $L_X \sim 10^{30} - 10^{33}$ эрг/с (Мукай, 2017), что делает возможным поиск и исследование таких систем с помощью космических рентгеновских обсерваторий (см., например, Кордова, Мейсон, 1984; Хаберл, Мотч, 1995; Лутовинов и др., 2020).

Карликовыми новыми называют немагнитные КП, проявляющие регулярную вспышечную активность. По форме вспышек карликовые новые разделяют на несколько подклассов. У звезд типа U Gem наблюдаются так называемые обычные вспышки, которые имеют продолжительность несколько суток и амплитуду $2^m - 5^m$ (Горбатский, 1975). В системах типа Z Cam проявляются состояния затишья (англ. standstill),

в которых отсутствует вспышечная активность (Симонсен и др., 2014). В звездах типа SU UMa кроме обыкновенных вспышек наблюдаются так называемые сверхвспышки, которые имеют на $1^m - 2^m$ большую амплитуду и продолжительность около двух недель (Фогт, 1980). Особенностью сверхвспышек является наличие характерных положительных сверхгорбов — модуляций блеска с периодом, на несколько процентов превышающим орбитальный (Хесман и др., 1992). Разнообразие вспышечной активности карликовых новых интерпретируется в рамках теории приливно-тепловой нестабильности аккреционного диска (Ласота, 2001).

Карликовые новые типа SU UMa имеют дополнительную внутреннюю классификацию, основанную на сверхцикле — времени между двумя последовательными сверхвспышками (Осаки, 1996; Хелиер, 2001). Классические системы типа SU UMa характеризуются сверхциклами длительностью порядка сотен суток, в то время как звезды типа ER UMa имеют сверхциклы продолжительностью 20–50 сут (Като и др., 2013),

*Электронный адрес: absibgatullin@kpfu.ru

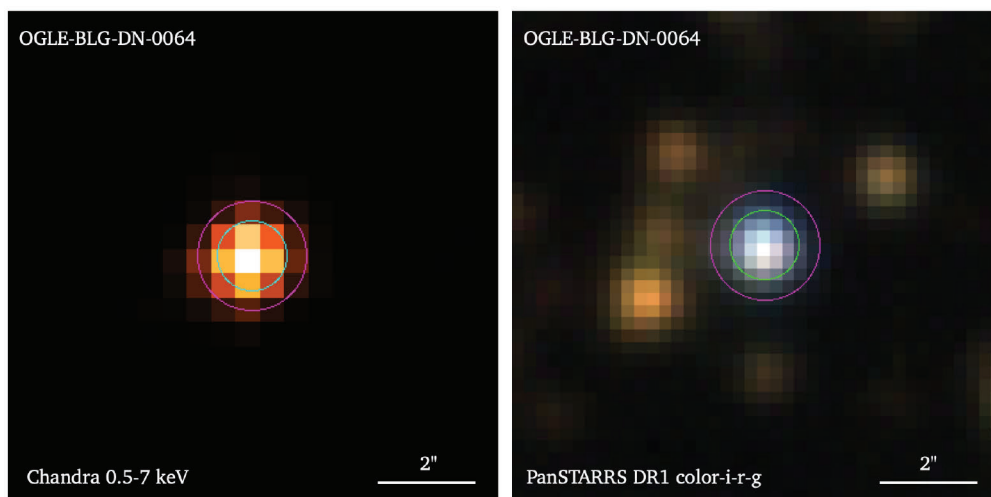


Рис. 1. Слева: рентгеновское изображение OGLE64 в диапазоне 0.5–7 кэВ, полученное по архивным данным обсерватории Chandra (*obsid* = 12945). Справа: цветное изображение OGLE64, полученное наложением изображений Pan-STARRS в фильтрах *gri*. Внутренний круг обозначает область 95% ошибки определения положения рентгеновского источника. Внешний круг показывает область функции рассеяния точки, в которой ожидается 90% сигнала от источника.

а звезды типа WZ Sge — очень длительные сверхциклы, достигающие десятков лет (Павленко, 2007). Также в карликовых новых типа WZ Sge практически отсутствуют обычные вспышки (Като, 2015).

В настоящей работе представлено исследование кандидата в карликовые новые OGLE-BLG-DN-0064 (далее — OGLE64) на основе архивных данных космических рентгеновских обсерваторий Chandra и Swift. Оптический спектр источника OGLE64 был получен на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН. Анализ вспышечной активности проводился на основе оптических кривых блеска, полученных обзорами Zwicky Transient Facility (ZTF, Беллм и др., 2019), Optical Gravitational Lensing Experiment (OGLE, Удальский и др., 2003), All-Sky Automated Survey for Supernovae (ASAS-SN, Коханек и др., 2017) и Asteroid Terrestrial-impact Last Alert System (ATLAS, Тонри и др., 2018). В статье обсуждается природа источника OGLE64.

ИСТОЧНИК OGLE64

Источник OGLE64 был впервые отмечен как кандидат в карликовые новые в 2015 г. благодаря вспышечной активности, зарегистрированной оптическим обзором OGLE (Мроз и др., 2015). Мы обнаружили источник OGLE64 в рентгеновском каталоге источников Chandra Source Catalog 2.0 (CSC2) (Эванс и др., 2010) (название в каталоге CSC2 — 2CXO J173917.7–214735). Мы независимо отметили его как потенциальный кандидат в КП на основе высокого отношения рентгеновского потока к оптическому, $F_X/F_{opt} \approx 1.5$, согласно предложенной методике Галиуллин и др. (2024) по поиску КП в рентгеновском каталоге источников CSC2 и оптическом каталоге Gaia DR3 (Айер и

др., 2023).

Объект OGLE64 совпадает только с одним источником Gaia DR3 (*source_id*: 4117235609421426560, RA(J2016): $17^{\text{h}}39^{\text{m}}17.75^{\text{s}}$, DEC(J2016): $-21^{\circ}47'35.56''$) в радиусе поиска $0.7''$, который соответствует 95% ошибке определения положения рентгеновского источника из каталога CSC2. Источник OGLE64 расположен вблизи плоскости галактики, поэтому поглощение и покраснение оказывают значительное влияние на поток от системы. Мы использовали трехмерную карту Bayestar19 (Грин и др., 2019) для получения избытка цвета $E(B-V) = 0.21 \pm 0.01^{\text{m}}$, который был использован в дальнейшем анализе. Параллакс OGLE64 по данным Gaia DR3 равен $p = (1.15 \pm 0.17) \times 10^{-3}''$, что соответствует расстоянию $d = 872 \pm 126$ пк. Рис. 1 (правая и левая панели) демонстрирует рентгеновское и оптическое изображения источника OGLE64, построенные по данным обсерватории Chandra и обзора Pan-STARRS (Чемберс и др., 2016).

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКОГО СПЕКТРА БТА

На 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН в ночь на 30 июня 2024 г. было получено три спектра OGLE64 с временами накопления по 10 мин. Во время наблюдения телескоп был оснащен фокальным редуктором SCORPIO-1 (Афанасьев, Моисеев, 2005), работающим в режиме длинноволновой спектроскопии. Использовалась объемная фазовая голографическая решетка VPHG1200B, обеспечивающая покрытие спектрального диапазона 3600–5400 Å с разрешением $\Delta\lambda \approx 5.5$ Å (ширина щели — $1.2''$). Обработка полученного материала проводилась с помощью средств пакета IRAF (Тоди, 1986), согласно стандартной методике работы с

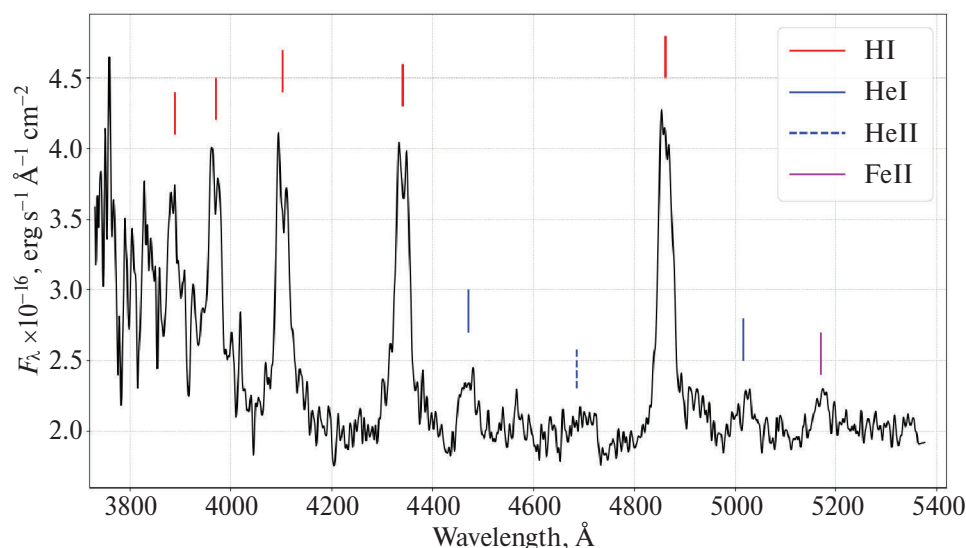


Рис. 2. Комбинированный оптический спектр БТА источника OGLE64 с идентифицированными эмиссионными линиями водорода (красные штрихи), нейтрального гелия (синие штрихи) и ионизированного железа (фиолетовые штрихи). Для лучшей визуализации оптический спектр был сглажен путем свертки с гауссианой ($\sigma = 1.7 \text{ \AA}$). В некоторых эмиссионных линиях наблюдается двухпиковая структура, что говорит о наличии в системе аккреционного диска.

длинношелевыми спектрами. Рис. 2 демонстрирует сглаженный комбинированный оптический спектр OGLE64 с идентифицированными эмиссионными линиями водорода, нейтрального гелия и ионизированного железа, которые указывают на то, что OGLE64 является КП (Вильямс, 1980). В эмиссионных линиях водорода $H\gamma$ и $H\delta$ наблюдается двухпиковая эмиссия, характерная для оптических спектров некоторых КП. Двухпиковая эмиссия является следствием доплеровского смещения, вызванного движением вещества в аккреционном диске. Таблица 1 демонстрирует эквивалентные ширины эмиссионных линий в комбинированном спектре, вычисленные с помощью аппроксимации профилей линий двумя гауссианами. Мы вычислили верхний предел 3σ отношения эквивалентных ширин $\text{He II}(4686\text{\AA})/H\beta \lesssim 0.008$. Такое низкое значение данного отношения может говорить о том, что OGLE64 является немагнитной КП (Зильбер, 1992).

АНАЛИЗ РЕНТГЕНОВСКИХ ДАННЫХ CHANDRA И SWIFT

Источник OGLE64 попал в поле зрения космической обсерваторией Chandra 27 апреля 2011 г. (*obsid* = 12945). Первичная калибровка рентгеновских данных, извлечение кривой блеска и спектра из файла событий наблюдения Chandra Advanced CCD Imaging Spectrometer S-array (Chandra/ACIS-S, Гармир и др., 2003) проводились с помощью программного пакета Chandra Interactive Analysis of Observations (CIAO) (Фрусционе и др., 2006). Рентгеновская кривая блеска OGLE64 была извлечена из файла событий с временным разрешением 50 с (рис. 3, левая панель). Инстру-

Таблица 1. Эквивалентные ширины ярко выраженных эмиссионных линий в оптическом спектре БТА источника OGLE64

Линия	–EW (Å)
$H\beta$	26.4 ± 1.4
$H\gamma$	20.2 ± 1.1
$H\delta$	16.4 ± 1.0
He I (4471 Å)	12.1 ± 2.4
He II (4686 Å)	$\lesssim 0.2$
Fe II (5169 Å)	2.0 ± 0.2

Примечание. Ошибки определения эквивалентных ширин приведены в доверительном интервале 1σ . Для линии ионизированного гелия He II мы определили верхний предел эквивалентной ширины со значимостью 3σ .

мент X-Ray Telescope на борту космической обсерватории Swift (Swift/XRT, Барроуз и др., 2005) наблюдал область вблизи источника OGLE64 30 октября 2014 и 2015 гг. (*obsid* = 00045781002 и 00045781003). Для дальнейшего анализа мы использовали только архивные данные Swift/XRT 2014 г. (*obsid* = 00045781002), где источник OGLE64 был задетектирован. Мы извлекли рентгеновский спектр OGLE64, используя онлайн-сервис по работе с данными Swift/XRT¹ (Эванс и др., 2009, 2020). Рентгеновские спектры Chandra/ACIS-S и Swift/XRT были сгруппированы таким образом, чтобы на каждый канал приходилось не менее трех отсчетов. Анализ рентгеновских спектров проводился с помощью программного пакета XSPEC (Арно, 1996) в диапазоне 0.5–7 кэВ.

¹https://www.swift.ac.uk/user_objects/

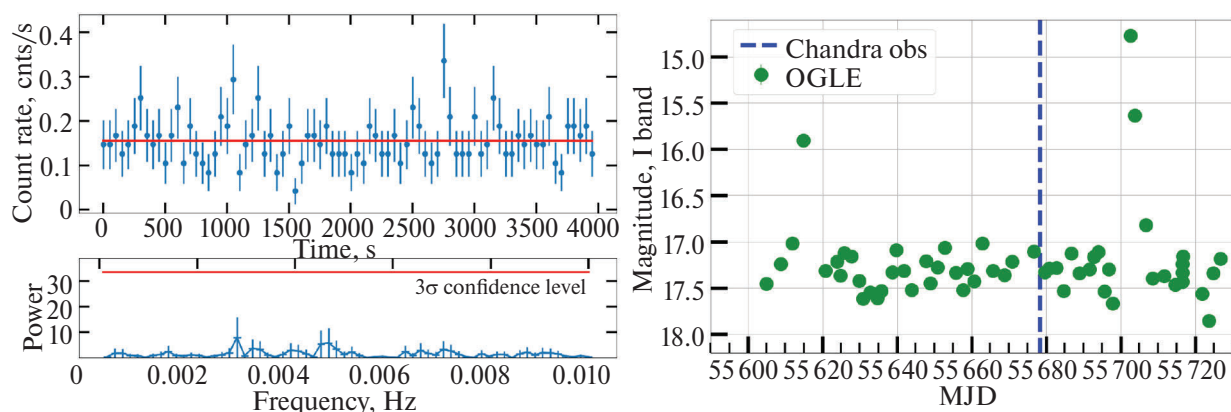


Рис. 3. Слева: рентгеновская кривая блеска OGLE64 в диапазоне 0.5–7 кэВ с временным разрешением 50 с (верхняя панель) и спектр мощности (нижняя панель), построенные по данным телескопа Chandra. На кривой блеска красная линия обозначает среднюю скорость счета, а на спектре мощности — мощность, соответствующую уровню значимости 3σ . Справа: участок оптической кривой блеска источника OGLE64 из данных обзора OGLE, охватывающий момент наблюдения Chandra. Наблюдение Chandra попало в спокойное состояние, примерно за 20 дней до вспышки.

Мы использовали быстрое преобразование Фурье с помощью подмодуля XRONOS в FTOOLS (Научно-исследовательский архивный центр астрофизики высоких энергий NASA (Heasarc), 2014) для поиска потенциальных периодических сигналов в рентгеновской кривой блеска Chandra. Для оценки значимости пиков в полученной периодограмме было сгенерировано 2000 случайных кривых блеска со средней скоростью счета OGLE64, в предположении, что рентгеновский поток от источника OGLE64 является постоянным во времени. Затем мы повторно применили быстрое преобразование Фурье к каждой из случайно сгенерированных кривых блеска, определили мощности максимальных пиков и построили их распределение. На основе этого распределения было рассчитано значение мощности пика, соответствующее уровню значимости 3σ . В результате проведенного анализа значимой периодичности в наблюдаемой рентгеновской кривой блеска Chandra не было обнаружено (рис. 3, левая панель). Отсутствие вращательной модуляции потока в рентгеновской кривой блеска OGLE64 может говорить о немагнитной природе системы.

Рентгеновские спектры Chandra/ACIS-S и Swift/XRT аппроксимировались тремя разными моделями: степенным законом (powerlaw в XSPEC), моделью оптически тонкой плазмы (mekal в XSPEC, Мёве и др., 1986; Лидаль и др., 1995) и моделью изобарически охлаждающегося потока (mkcflow в XSPEC, Мушоцки, Шимковяк, 1988). К моделям была добавлена компонента, отвечающая за межзвездное поглощение по закону Тьюбингена–Больдера с химическим составом, полученным Вильямс и др. (2000). При аппроксимации спектра использовалась С-статистика (Кэш, 1979). Рис. 4 демонстрирует рентгеновские спектры Chandra/ACIS-S и Swift/XRT источника OGLE64 и разные модели, использованные для аппроксимации этих спектров. В табл. 2

представлены результаты аппроксимации рентгеновских спектров Chandra/ACIS-S и Swift/XRT источника OGLE64 разными моделями. Для каждой модели мы приводим отношение С-статистики к числу степеней свободы (C-stat/dof), полученное в результате аппроксимации. Мы использовали команду error в XSPEC, чтобы вычислить ошибки определения параметров в доверительном интервале 1σ . Мы вычислили откорректированные за поглощение рентгеновские потоки и светимости в диапазоне 0.5–7 кэВ, используя модель степенного закана.

Результаты аппроксимации рентгеновских спектров Chandra/ACIS-S и Swift/XRT разными моделями согласуются между собой, и статистически значимых отклонений на уровне значимости 3σ не обнаружено (см. табл. 2). Рентгеновский спектр Chandra/ACIS-S обладает большим отношением сигнала к шуму по сравнению со спектром Swift/XRT. Спектр Chandra/ACIS-S лучше аппроксимируется степенной моделью с колонковой плотностью водорода $N_H = 3.28^{+0.65}_{-0.63} \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ и фотонным индексом $\Gamma = 1.85 \pm 0.13$ (C-stat/dof = 118.82/124). Аппроксимация моделью оптически тонкой плазмы характеризуется колонковой плотностью водорода $N_H = 2.07^{+0.45}_{-0.43} \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$ и температурой плазмы $kT = 6.44^{+1.82}_{-1.22} \text{ кэВ}$ (C-stat/dof = 122.81/124). Аппроксимация спектра Chandra моделью изобарически охлаждающегося потока дает следующие параметры: $N_H = 2.79^{+0.54}_{-0.70} \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$, $kT_{\text{max}} = 18.93^{+13.93}_{-5.84} \text{ кэВ}$ и $\dot{M}_{\text{acc}} = 5.69^{+2.05}_{-1.89} \times 10^{-11} M_{\odot}/\text{год}$ (C-stat/dof = 119.17/122)². Полученные значения рентгеновской светимости ($L_X \approx 1.6 \times 10^{32} \text{ эрг/с}$), фотонного индекса, температуры оптически тонкой

²При использовании модели mkcflow, мы зафиксировали параметр красного смещения $z = 2.03 \times 10^{-7}$, который был рассчитан с использованием расстояния до источника $d = 872 \text{ пк}$ и постоянной Хаббла $H_0 = 70 \text{ км/с/(Мпк-с)}$.

Таблица 2. Результаты аппроксимации рентгеновских спектров OGLE64, полученных инструментами Chandra/ACIS-S и Swift/XRT в диапазоне 0.5–7 кэВ

	Chandra/ACIS-S	Swift/XRT
Дата	27/04/2011	30/10/2014
ObsID	12945	00045781002
Степенной закон		
$N_H, \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$	$3.28^{+0.65}_{-0.63}$	$5.41^{+4.09}_{-2.95}$
Γ	1.85 ± 0.13	$1.66^{+0.54}_{-0.49}$
C-stat/dof	118.82/124	8.84/12
$F_{0.5-7}, \times 10^{-12} \text{ эрг/с/см}^2$	1.73 ± 0.10	2.74 ± 0.72
$L_{0.5-7}, \times 10^{32} \text{ эрг/с}$	1.58 ± 0.47	2.49 ± 0.97
Модель оптически тонкой плазмы		
$N_H, \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$	$2.07^{+0.45}_{-0.43}$	$4.72^{+3.17}_{-2.33}$
$kT, \text{ кэВ}$	$6.44^{+1.82}_{-1.22}$	≥ 3.66
C-stat/dof	122.81/124	8.75/12
Модель изобарического охлаждения		
$N_H, \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$	$2.79^{+0.54}_{-0.70}$	$4.66^{+3.15}_{-2.28}$
$kT_{\text{max}}, \text{ кэВ}$	$18.93^{+13.93}_{-5.84}$	≥ 3.76
$\dot{M}_{\text{acc}}, \times 10^{-11} M_{\odot}/\text{год}$	$5.69^{+2.05}_{-1.89}$	≤ 264
C-stat/dof	119.17/122	7.61/10

Примечание. Рентгеновские потоки и светимости откорректированы на поглощение. Ошибки приведены в доверительном интервале 1σ .

плазмы и темпа аккреции при аппроксимации рентгеновских спектров OGLE64 характерны для немагнитных КП в спокойном состоянии (см., например, Галиуллин, Гильфанов, 2021). Стоит отметить, что межзвездное поглощение, определенное при аппроксимации спектра Chandra/ACIS-S моделью степенного закона (см. табл. 2), в ~ 2.5 раза превышает значение, рассчитанное по карте Bayestar19 ($N_H = 1.45^{+0.07}_{-0.04} \times 10^{21} \text{ см}^{-2}$), что может указывать на наличие внутреннего поглощения в системе. Тем не менее, модели оптически тонкой плазмы и изобарического охлаждения дают колонковые плотности, согласующиеся (в рамках ошибок) с картой Bayestar19.

Рис. 3 (правая панель) демонстрирует участок оптической кривой блеска источника OGLE64 из данных обзора OGLE с обозначенным моментом начала наблюдения Chandra/ACIS-S, которое попало в момент спокойного состояния OGLE64. Время наблюдения телескопа Swift/XRT попало в промежуток, для которого отсутствуют оптические данные, однако на основе сравнения рентгеновских спектров обсерваторий Chandra/ACIS-S и Swift/XRT мы можем предположить, что источник OGLE64 также находился в спокойном состоянии.

АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ КРИВЫХ БЛЕСКА

Источник OGLE64 наблюдался несколькими оптическими обзорами, включая ZTF, OGLE, ASAS-SN и

ATLAS. На левой и правой панелях рис. 5 представлены оптические кривые блеска OGLE64, построенные по данным обзоров ATLAS, ASAS-SN и ZTF в фильтрах g, r и o (560–820 нм), c (420–650 нм). В оптических кривых блеска OGLE64 наблюдается вспышечная активность, проявляющаяся в увеличении яркости системы на $\sim 3^m$ – 5^m в различных фильтрах. Также в кривых блеска наблюдаются сверхвспышки, характеризующиеся большими амплитудой и длительностью. На левой панели рис. 5 показаны три недавние оптические сверхвспышки. Интервалы между двумя последовательными сверхвспышками составляют $P_{\text{super},1} \approx 425$ сут и $P_{\text{super},2} \approx 375$ сут, что позволяет определить средний сверхцикл системы как $P_{\text{super}} \approx 400$ сут. На основании полученной оценки сверхцикла можно ожидать, что следующая сверхвспышка произойдет в середине 2025 г. Наличие подобных сверхвспышек указывает на принадлежность источника OGLE64 к подклассу карликовых новых типа SU UMa (Хелиер, 2001).

На правой панели рис. 5 представлен участок оптической кривой блеска, на котором наблюдаются две последовательные вспышки с различной морфологией и разницей во времени примерно 35 сут. Первая вспышка (сверхвспышка) характеризуется большей продолжительностью и наличием затяжной фазы плато, наблюдаемой после достижения пика яркости. В отличие от нее, вторая (обычная) вспышка имеет треугольную форму, меньшую длительность и при-

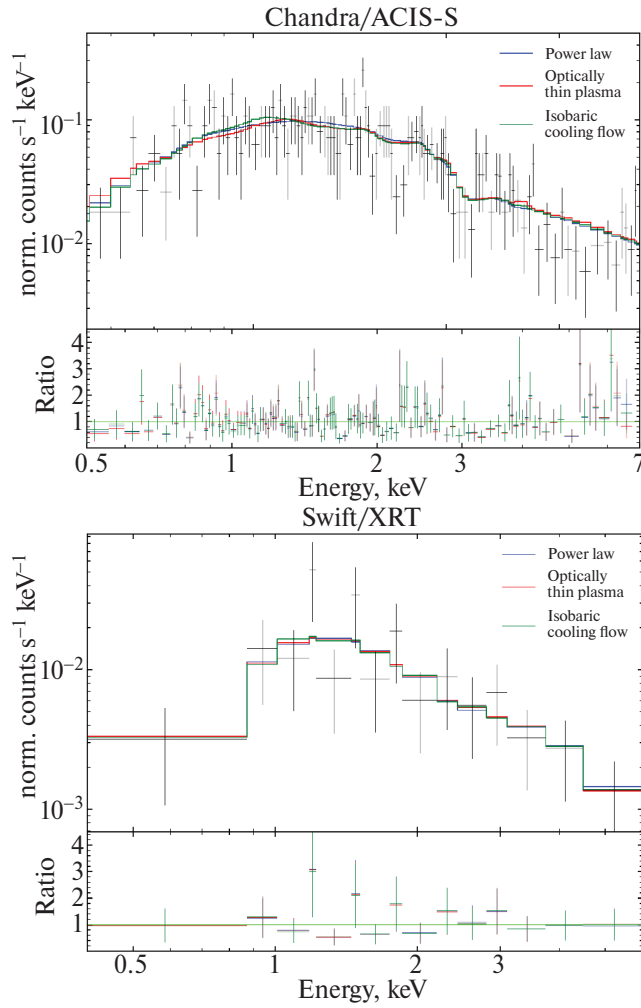


Рис. 4. Рентгеновский спектр OGLE64, полученный по архивным данным рентгеновских обсерваторий Chandra/ACIS-S (*obsid* = 12945, верхняя панель) и Swift/XRT (*obsid* = 00045781002, нижняя панель). Разными цветами представлены модели степенного закона (синяя линия), оптически тонкой плазмы (красная линия) и изобарически охлаждающегося потока (зеленая линия). Панели под каждым спектром демонстрируют отношение наблюдаемых отсчетов к модельным.

мерно на $\sim 1^m$ меньшую яркость. Симметричная треугольная форма обычных вспышек, характерная для карликовых новых типа SU UMa, указывает на то, что вспышка начинается во внутренних областях аккреционного диска и распространяется к его внешним границам (Каннизо и др., 2010). Мы проанализировали различные параметры, связанные с амплитудой и временем вспышек. Для сверхвспышек мы определили время подъема $D_{\text{rise}} \approx 3.0$ сут, продолжительность фазы плато $D_{\text{plateau}} \approx 5.8$ сут и время спада $D_{\text{decline}} \approx 5.5$ сут. Звездные величины в пике сверхвспышки и спокойном состоянии составляют $m_{\text{max,super}} \approx 15^m$ и $m_{\text{min}} \approx 19.5^m$ соответственно. Для обычных вспышек мы определили полное время вспышки $D_{\text{normal}} \approx 4.1$ сут и звездную величину в пике $m_{\text{max,normal}} \approx 16^m$.

Мы провели поиск периодичности в кривых блеска с целью определения орбитального периода системы. Чтобы удалить точки, соответствующие вспышкам, к кривым блеска был применен асимметричный sigma-clipping³. Для каждой оптической кривой блеска была построена периодограмма Ломба–Скаргла (Ломб, 1976; Скаргл, 1982). Значимость пиков в периодограммах определялась методом бутстрэп (Вандер-Плас, 2018). В результате проведенного анализа мы не обнаружили значимой (на уровне 3σ) периодичности ни в одной из использованных кривых блеска обзоров ZTF, OGLE, ASAS-SN и ATLAS. Отсутствие значимых пиков в периодограммах может быть связано с малым объемом данных. Кроме того, в имеющихся данных для сверхвспышек мы не наблюдаем характерных для карликовых новых типа SU UMa положительных сверхгорбов, что, вероятнее всего, связано со скудностью данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка массы БК

Для оценки массы белого карлика мы использовали следующее соотношение между ударной температурой и массой БК (Френк и др., 2002):

$$kT_{\text{max}} = \alpha \times \frac{3}{16} \times \frac{GM_{\text{WD}}m_H\mu}{R_{\text{WD}}}. \quad (1)$$

Здесь $\alpha = 0.646$ — эмпирическая калибровочная константа (Ю и др., 2018; Мукай, Биклинг, 2022), kT_{max} — ударная температура (мы использовали значение, полученное при аппроксимации рентгеновского спектра моделью изобарического охлаждения), m_H — масса атома водорода, μ — средний молекулярный вес ($\mu = 0.615$), G — гравитационная постоянная, M_{WD} и R_{WD} — масса и радиус БК соответственно. Используя соотношение масса-радиус для БК (Нойнберг, 1972), мы получили следующую оценку для массы БК: $M_{\text{WD}} \approx 1.00^{+0.21}_{-0.16} M_{\odot}$.

Оценки орбитального периода и отношения масс в системе

Мы не обнаружили значимой переменности в оптических кривых блеска источника OGLE64 по данным обзоров ATLAS, OGLE, ASAS-SN и ZTF, которая могла бы быть связана с изменением условий видимости излучающих областей в разных фазах орбитального периода. Несмотря на это, мы использовали несколько косвенных методов для оценки орбитального периода системы и параметров донора. В табл. 3 приведены различные оценки орбитального периода и отношения масс в системе.

Метод 1. Для карликовых новых наблюдается зависимость между пиковым значением абсолютной звездной величины во время вспышки и орбитальным

³https://docs.astropy.org/en/stable/api/astropy.stats.sigma_clip.html

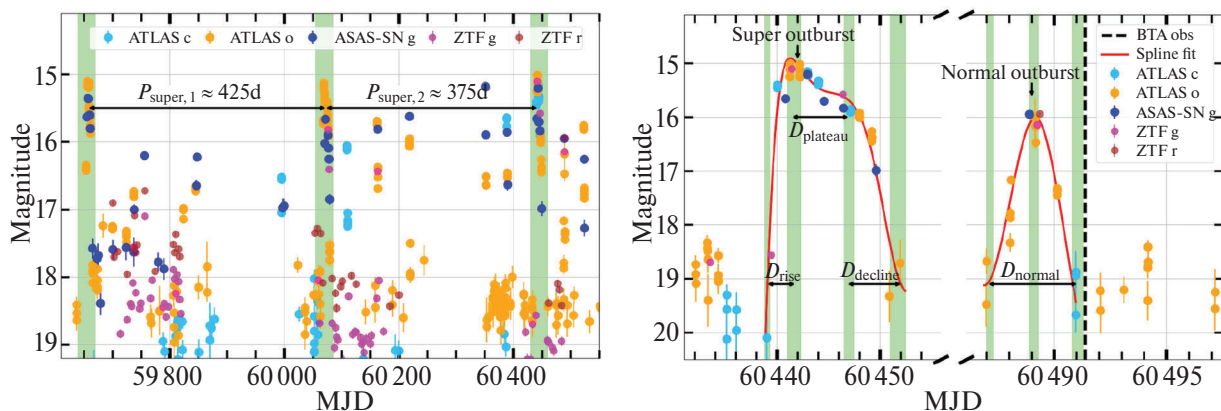


Рис. 5. Оптическая кривая блеска источника OGLE64 по данным ATLAS, ASAS-SN и ZTF в фильтрах g, r, o, c . Слева: оптическая кривая блеска, показывающая три последовательных сверхвыска. Зеленые полосы указывают моменты сверхвыска с характерными сверхциклами $P_{\text{super},1} \approx 425$ сут и $P_{\text{super},2} \approx 375$ сут. Справа: часть оптической кривой блеска, демонстрирующая две последовательные вспышки с разной морфологией. Период спокойного состояния между вспышками был исключен. Для лучшей визуализации различий в морфологии вспышки были сглажены сплайн-функцией (красная линия). Зеленые полосы обозначают границы различных фаз вспышек. Черная пунктирная линия показывает время наблюдения на телескопе БТА.

Таблица 3. Результаты оценок орбитального периода и отношения масс в системе OGLE64 разными методами

Метод	P_{orb} , ч	q
1. Пиковое значение M_V	$\sim 1.7\text{--}3.5$	$\sim 0.03\text{--}0.29$
2. Длительность обычной вспышки	$\sim 0.6\text{--}3.3$	—
3. Положение объекта на диаграмме ГР	$\sim 2.6\text{--}3.7$	—
4. Полуэмпирическая последовательность доноров	$\lesssim 4$	$\lesssim 0.4$

периодом $M_{V,\text{max}}(P_{\text{orb}})$ (Патерсон, 2011). Мы вычислили среднюю звездную величину в пике сверхвыска $(m_g)_{\text{max}} = 15.11 \pm 0.05$ и перевели звездную величину из фильтра g в фильтр V (Джестер и др., 2005) на основе показателя цвета $(BP-RP)$ из данных Gaia⁴. Предполагая закон экстинкции Карделли ($R_V = 3.1$, Карделли и др., 1989) и используя значение $E(B-V)$ из карты Bayestar19 (Грин и др., 2019), мы вычислили поправку на межзвездное поглощение $A_V = 0.66 \pm 0.04$. В результате мы получили абсолютную звездную величину в пике $(M_V)_{\text{max}} = 4.42 \pm 0.07$. Используя формулу (4) из Патерсон (2011), мы оценили орбитальный период OGLE64 как $P_{\text{orb}} \sim 1.7\text{--}3.5$ ч.

Метод 2. Мы использовали соотношение между длительностью обычной вспышки и орбитальным периодом $D_{\text{normal}}(P_{\text{orb}})$ (Смак, 2000), где для источника OGLE64 длительность обычной вспышки равна $D_{\text{normal}} \approx 4.1$ сут. Для параметра D_{normal} мы приняли характерную ошибку определения длительности вспышки около 0.4 сут, которая вызвана скважно-

стью оптических данных. Используя уравнение (19) из Отулаковска-Хипка и др. (2016), мы получили оценку орбитального периода порядка $P_{\text{orb}} \sim 0.6\text{--}3.3$ ч. Из зависимости длительности вспышки от отношения масс компонент системы $D_{\text{normal}}(q)$ мы оценили отношение масс для источника OGLE64 как $q \sim 0.03\text{--}0.29$ (см. формулу (21) из Отулаковска-Хипка и др., 2016).

Метод 3. Мы использовали зависимость между положением источника на диаграмме Герцшпрунга–Рассела (ГР) и орбитальным периодом (Абрил и др., 2020; Абрахамс и др., 2022). Мы предполагали, что звездные величины источника OGLE64 в фильтрах $m_G = 18.10$, $m_{BP} = 18.43$ и $m_{RP} = 17.31$ были получены Gaia в спокойном состоянии. Используя коэффициенты перевода $R(a) = A(a)/E(B-V)$ из Джанг, Юан (2023), мы рассчитали экстинкцию в фильтрах Gaia: $A_G = 0.50 \pm 0.03^m$, $A_{BP} = 0.64 \pm 0.04^m$, $A_{RP} = 0.37 \pm 0.02^m$. В результате мы вычислили абсолютную звездную величину $M_G = 7.90 \pm 0.03$ и показатель цвета $BP-RP = 0.85 \pm 0.10^m$, откорректированные за межзвездные поглощение и покраснение. Мы использовали формулу (1) из Абрахамс и др. (2022) для оценки орбитального периода OGLE64 и получили $P_{\text{orb}} \sim 2.6\text{--}3.7$ ч. Рисунок 6 демонстрирует положение источника OGLE64 на диаграмме ГР и характерную область положения КП с орбитальными периодами $P_{\text{orb}} \sim 2.6\text{--}3.7$ ч из Абрахамс и др. (2022).

Метод 4. Мы сопоставили наблюдаемые звездные величины источника OGLE64 в ближнем инфракрасном диапазоне со значениями, полученными из полуэмпирической последовательности доноров (Книгте, 2006; Книгте и др., 2011). В каталоге Vista Variables in the Via Lactea DR4.2 (Миннити и др., 2010, 2023) доступны два наблюдения OGLE64 в спокойном состоянии. Средние звездные величины в каталоге, откорректированные за межзвездное поглощение, состав-

⁴https://gea.esac.esa.int/archive/documentation/GDR3/Data_processing/chap_cu5pho/cu5pho_sec_photSystem/cu5pho_ssec_photRelations.html

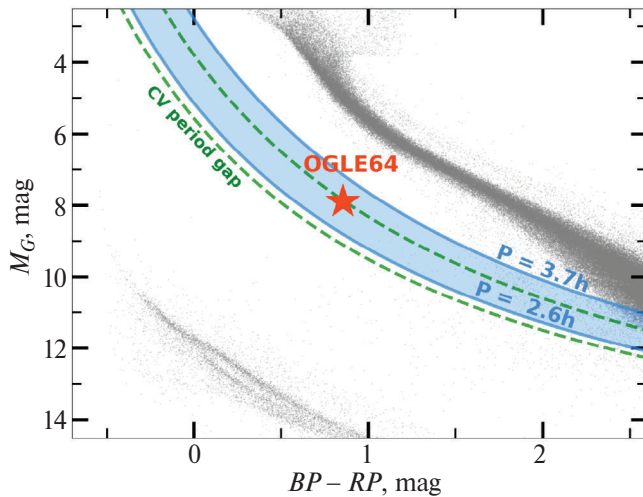


Рис. 6. Диаграмма Герцшпрунга–Рассела, построенная на основе звезд из каталога Gaia в пределах 100 пк со значимо измеренным параллаксом ($S/N > 100$) (Коллаборация Гайа и др., 2021). Положение источника OGLE64 обозначено красной звездой. Синим цветом показана характерная область положения КП с орбитальными периодами $P_{\text{orb}} \sim 2.6\text{--}3.7$ ч из Абрахамс и др. (2022). Зелеными линиями показаны области положения КП с орбитальными периодами $P_{1,2} = 2.45, 3.18$ ч, соответствующими верхней и нижней границам провала периодов КП из работы Шрейбер и др. (2024).

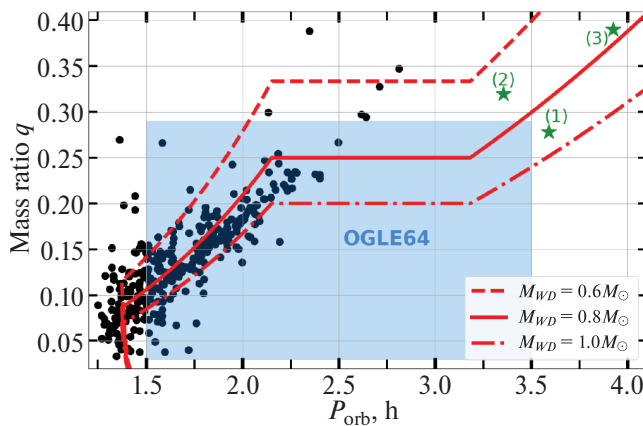


Рис. 7. Диаграмма зависимости отношения масс от орбитального периода для известных карликовых новых типа SU UMa по данным из работы Отулаковска-Хипка и др. (2016). Синим цветом обозначена область расположения источника OGLE64. Красные линии построены на основе полуэмпирической последовательности доноров (Книгге и др., 2011) с учетом нескольких значений масс БК. Зеленые звездочки обозначают некоторые известные карликовые новые: (1) ASASSN-18aan (Вакаматсу и др., 2021); (2) BO Cet (Като и др., 2021); (3) SDSS J094002.56+274942.0 (Като, Ванмунстер, 2023).

ляют: $m_J = 16.54 \pm 0.04$, $m_H = 16.24 \pm 0.05$, $m_{K_s} = 16.02 \pm 0.06$. Мы перевели эти величины в фотометрическую систему Калифорнийского Института (CIT)⁵ и рассчитали абсолютные звездные величины

⁵https://irsa.ipac.caltech.edu/data/2MASS/docs/releases/allsky/doc/sec6_4b.html

$M_J = 6.82 \pm 0.12$, $M_H = 6.59 \pm 0.10$, $M_K = 6.33 \pm 0.06$. Мы сравнили эти величины с полуэмпирической последовательностью доноров и оценили верхние пределы следующих параметров системы OGLE64: орбитальный период $P_{\text{orb}} \lesssim 4$ ч, масса донора $M_2 \lesssim 0.3 M_\odot$, радиус донора $R_2 \lesssim 0.4 R_\odot$, эффективная температура донора $T_2 \lesssim 3500$ К. Мы использовали полученную ранее оценку массы белого карлика и установили верхний предел отношения масс как $q \lesssim 0.4$. Важно отметить, что мы предполагали, что все инфракрасное излучение генерируется только звездой-донором, поэтому полученные оценки параметров звезды-донора являются предельными величинами.

Эволюционный статус источника OGLE64

Наличие сверхвышек у OGLE64 подтверждает природу источника как карликовой новой типа SU UMa (см. Секцию по анализу оптических кривых блеска). Наиболее вероятный диапазон для орбитального периода составляет $P_{\text{orb}} \sim 1.5\text{--}3.5$ часа, а для отношения масс в системе $q \sim 0.03\text{--}0.29$.

На рис. 7 показана зависимость отношения масс от орбитального периода для известных карликовых новых типа SU UMa. Красные линии соответствуют полуэмпирической последовательности доноров (Книгге и др., 2011), для которой мы вычислили отношение масс, предполагая разную массу БК ($M_{WD} = (0.6, 0.8, 1.0 M_\odot)$) в КП. Как видно на рис. 7, общая популяция карликовых новых типа SU UMa имеет орбитальный период ниже провала периодов и отношение масс $q \lesssim 0.25$. Однако известно около 10 систем, находящихся в области провала периодов и превышающих предельное значение q . Причины их пребывания в этом состоянии пока остаются неизвестными (Столц, Шембс, 1984; Павленко и др., 2014; Литифилд и др., 2018). К тому же, недавно были открыты карликовые новые типа SU UMa с высоким соотношением масс, расположенные выше провала периодов, что еще больше выделяет их из общей популяции (см. рис. 7): ASASSN-18aan ($P_{\text{orb}} \approx 3.59$ ч и $q \approx 0.28$, Вакаматсу и др., 2021), BO Cet ($P_{\text{orb}} \approx 3.36$ ч и $q \approx 0.32$, Като и др., 2021) и SDSS J094002.56+274942.0 ($P_{\text{orb}} \approx 3.92$ ч и $q \approx 0.39$, Като, Ванмунстер, 2023). Наши оценки орбитального периода OGLE64 и отношения масс в системе допускают, что OGLE64 может находиться в области провала периодов КП или ближе к его верхней границе, при этом обладая более высоким отношением масс, чем общая популяция карликовых новых типа SU UMa (см. рис. 6 и 7).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Источник OGLE64 отмечен как потенциальный кандидат в карликовые новые на основе вспышечной активности, зарегистрированной оптическим обзором OGLE. Мы обнаружили источник OGLE64 в рентгеновском каталоге источников CSC2 и независимо отметили его как потенциальный кандидат в

аккрецирующие БК на основе высокого отношения рентгеновского и оптического потоков $F_X/F_{\text{opt}} \approx 1.5$. В работе были получены следующие результаты:

- Источник OGLE64 демонстрирует рентгеновскую светимость $L_X \approx 1.6 \times 10^{32}$ эрг/с в энергетическом диапазоне 0.5–7 кэВ. Рентгеновские спектры OGLE64, полученные по данным обсерваторий Chandra и Swift, лучше описываются моделями степенного закона с фотонным индексом $\Gamma \approx 1.9$ и оптически тонкой плазмы с температурой $kT \approx 6.4$ кэВ. Такие спектральные параметры характерны для немагнитных КП. Значимых отличий спектральных параметров и рентгеновских светимостей источника OGLE64 между наблюдениями Chandra и Swift не обнаружено. Модель изобарически охлаждающегося потока позволяет оценить темп аккреции в системе как $\dot{M}_{\text{acc}} \approx 5.4 \times 10^{-11} M_{\odot}/\text{год}$.
- В оптическом спектре OGLE64, полученном на 6-м телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН, присутствуют эмиссионные линии водорода и нейтрального гелия. В некоторых линиях водорода наблюдается двухпиковая эмиссия, что говорит о наличии в системе аккреционного диска. Отношение эквивалентных ширин $\text{He II}(4686\text{\AA})/\text{H}\beta \lesssim 0.008$ может говорить о том, что OGLE64 является немагнитной КП.
- В оптических кривых блеска ATLAS, ASAS-SN, OGLE и ZTF наблюдается вспышечная активность, проявляющаяся в увеличении яркости источника OGLE64 на $\sim 3^m$ – 5^m . Были обнаружены сверхвспышки с характерным сверхциклом $P_{\text{super}} \approx 400$ сут. Мы не обнаружили значимой периодичности в рентгеновской и оптических кривых блеска, что может говорить о том, что система скорее является незатменной. Оценки орбитального периода системы косвенными методами указывают на то, что период источника OGLE64, вероятно, находится в диапазоне $P_{\text{orb}} \sim 1.5$ – 3.5 ч.
- Свойства рентгеновского и оптического излучения позволяют сделать вывод, что источник OGLE64 является немагнитной КП. Вспышечная активность системы говорит о том, что источник OGLE64 является карликовой новой типа SU UMa.

БЛАГОДАРНОСТИ

Данное исследование было проведено с использованием данных, полученных из архива данных Chandra и каталога источников Chandra, а также программного обеспечения, предоставленного центром обслуживания Chandra (CXC) в приложении

ях CIAO и Sherpa. Мы благодарим членов команды OGLE за их вклад в сбор фотометрических данных OGLE. В работе использовались данные миссии Европейского космического агентства (ESA) Gaia (<https://www.cosmos.esa.int/gaia>), обработанные консорциумом по обработке и анализу данных Gaia (DPAC, <https://www.cosmos.esa.int/web/gaia/dpac/consortium>). Финансирование DPAC было предоставлено национальными учреждениями, в частности учреждениями, участвующими в многостороннем соглашении Gaia. Наблюдения на телескопах CAO РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Обновление приборной базы осуществляется в рамках национального проекта “Наука и университеты”. Работа выполнена при поддержке Казанского (Приволжского) федерального университета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрахамс и др. (E.S. Abrahams, J.S. Bloom, P. Szkody, H.-W. Rix, and N. Mowlavi), *Astrophys. J.* **938**, 46 (2022).
2. Абрил и др. (J. Abril, L. Schmidtbreick, A. Ederoclitte, and C. Lo ’pez-Sanjuan), *MNRAS* **492**, L40 (2020).
3. Айер и др. (L. Eyer, M. Audard, B. Holl, L. Rimoldini, M. I. Carnerero, G. Clementini, et al.), *Astron. Astrophys.* **674**, A13 (2023).
4. Арно (K.A. Arnaud), in G.H. Jacoby and J. Barnes (eds.), *Astronomical Data Analysis Software and Systems V*, Vol. 101 of *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, p. 17 (1996).
5. Афанасьев, Моисеев (V. L. Afanasiev and A. V. Moiseev), *Astron. Lett.* **31**, 194 (2005).
6. Барроуз и др. (D.N. Burrows, J.E. Hill, J.A. Nousek, J.A. Kennea, A. Wells, J.P. Osborne, et al.), *Space Sci. Rev.* **120**, 165 (2005).
7. Беллм и др. (E.C. Bellm, S.R. Kulkarni, M.J. Graham, R. Dekany, R.M. Smith, R. Riddle, et al.), *PASP* **131**, 018002 (2019).
8. Вакаматсу и др. (Y. Wakamatsu, J.R. Thorstensen, N. Kojiguchi, K. Isogai, M. Kimura, R. Ohnishi, et al.), *Publ. Astron. Soc. Japan* **73**, 1209 (2021).
9. ВандерПлас (J.T. VanderPlas), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **236**, 16 (2018).
10. Вильмс и др. (J. Wilms, A. Allen, and R. McCray), *Astrophys. J.* **542**, 914 (2000).
11. Вильямс (R.E. Williams), *Astrophys. J.* **235**, 939 (1980).
12. Галиуллин, Гильфанов (I.I. Galiullin and M.R. Gilfanov), *Astron. Lett.* **47**, 587 (2021).
13. Галиуллин и др. (I. Galiullin, A.C. Rodriguez, K. El-Badry, P. Szkody, A. Anand, J. van Roestel, et al.), *Astron. Astrophys.* **690**, A374 (2024).
14. Гармир и др. (G.P. Garmire, M.W. Bautz, P.G. Ford, J.A. Nousek, J. Ricker, and R. George), in J.E. Truemper and H.D. Tananbaum (eds.), *X-Ray and Gamma-Ray Telescopes and Instruments for Astronomy*, Vol. 4851 of *Society of Photo-Optical Instrument. Engineers (SPIE) Conf. Ser.* p. 28–44 (2003).

15. Горбатский (V.G. Gorbatskii), in V.E. Sherwood and L. Plaut (eds.), *Variable Stars and Stellar Evolution*, Vol. 67 of IAU Symp. p. 357 (1975).
16. Грин и др. (G.M. Green, E. Schlafly, C. Zucker, J.S. Speagle, and D. Finkbeiner), *Astrophys. J.* **887**, 93 (2019).
17. Джанг, Юан (R. Zhang and H. Yuan), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **264**, 14 (2023).
18. Джестер и др. (S. Jester, D.P. Schneider, G.T. Richards, R.F. Green, M. Schmidt, P.B. Hall, et al.), *Astron. J.* **130**, 873 (2005).
19. Зильбер (A.D. Silber), Ph.D. thesis, Massachusetts Institute of Technology (1992).
20. Каннизо и др. (J.K. Cannizzo, M.D. Still, S.B. Howell, M.A. Wood, and A.P. Smale), *Astrophys. J.* **725**, 1393 (2010).
21. Карделли и др. (J.A. Cardelli, G.C. Clayton, and J.S. Mathis), *Astrophys. J.* **345**, 245 (1989).
22. Като, Ванмунстер (T. Kato and T. Vanmunster), arXiv e-prints, arXiv:2304.13311 (2023).
23. Като и др. (T. Kato, D. Nogami, H. Baba, S. Masuda, K. Matsumoto, and C. Kunjaya), arXiv e-prints, arXiv:1301.3202 (2013).
24. Като и др. (T. Kato, Y. Tampo, N. Kojiguchi, M. Shibata, J. Ito, K. Isogai, et al.), *Publ. Astron. Soc. Japan* **73**, 1280 (2021).
25. Като (T. Kato), *Publ. Astron. Soc. Japan* **67**, 108 (2015).
26. Книгге и др. (C. Knigge, I. Baraffe, and J. Patterson), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **194**, 28 (2011).
27. Книгге (C. Knigge), *MNRAS* **373**, 484 (2006).
28. Коллаборация Гайа и др. (Gaia Collaboration, R.L. Smart, L.M. Sarro, J. Rybizki, C. Reyl'e, A. C. Robin, et al.), *Astron. Astrophys.* **649**, A6 (2021).
29. Кордова, Мейсон (F.A. Cordova and K.O. Mason), *MNRAS* **206**, 879 (1984).
30. Коханек и др. (C.S. Kochanek, B.J. Shappee, K.Z. Stanek, T.W.S. Holoien, T.A. Thompson, J.L. Prieto, et al.), *PASP* **129**, 104502 (2017).
31. Кэш (W. Cash), *Astrophys. J.* **228**, 939 (1979).
32. Ласота (J.-P. Lasota), *New Astron. Rev.* **45**, 449 (2001).
33. Лидаль и др. (D.A. Liedahl, A.L. Osterheld, and W.H. Goldstein), *Astrophys. J. (Lett.)* **438**, L115 (1995).
34. Литлфилд и др. (C. Littlefield, P. Garnavich, M. Kennedy, P. Szkody, and Z. Dai), *Astron. J.* **155**, 232 (2018).
35. Ломб (N.R. Lomb), *Astrophys. Space Sci.* **39**, 447 (1976).
36. Лутовинов и др. (A. Lutovinov, V. Suleimanov, G.J. Manuel Luna, S. Sazonov, D. de Martino, L. Ducci, et al.), *New Astron. Rev.* **91**, 101547 (2020).
37. Миннити и др. (D. Minniti, P.W. Lucas, J.P. Emerson, R.K. Saito, M. Hempel, P. Pietrukowicz, et al.), *New Astron.* **15**, 433 (2010).
38. Миннити и др. (D. Minniti, P. Lucas, M. Hempel, and The Vvv Science Team.), *VizieR On-line Data Catalog: II/376*. Originally published in: 2012A&A...537A.107S (2023).
39. Мроз и др. (P. Mr'oz, A. Udalski, R. Poleski, P. Pietrukowicz, M. K. Szyman'ski, I. Soszyn'ski, et al.), *AcA* **65**, 313 (2015).
40. Мукай, Биклинг (K. Mukai and K. Byckling), *Res. Not. Am. Astron. Soc.* **6**, 65 (2022).
41. Мукай (K. Mukai), *PASP* **129**, 062001 (2017).
42. Мушотцки, Шимковьяк (R.F. Mushotzky and A.E. Szymkowiak), in A. C. Fabian (ed.), *Cooling Flows in Clusters and Galaxies*, Vol. 229 of NATO Advanced Study Institute (ASI) Ser. C, p. 53 (1988).
43. Мёве и др. (R. Mewe, J.R. Lemen, and G.H.J. van den Oord), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **65**, 511 (1986).
44. Nasa High Energy Astrophysics Science Archive Research Center (Heasarc), HEASoft: Unified Release of FTOOLS and XANADU, Astrophysics Source Code Library, record ascl:1408.004 (2014).
45. Нойнберг (M. Nauenberg), *Astrophys. J.* **175**, 417 (1972).
46. Осаки (Y. Osaki), *PASP* **108**, 39 (1996).
47. Отулаковска-Хипка и др. (M. Otulakowska-Hypka, A. Olech, and J. Patterson), *MNRAS* **460**, 2526 (2016).
48. Павленко и др. (E.P. Pavlenko, T. Kato, O.I. Antonyuk, T. Ohshima, F.-J. Hambsch, K.A. Antonyuk, et al.), *Publ. Astron. Soc. Japan* **66**, 111 (2014).
49. Павленко (E.P. Pavlenko), *Odessa Astron. Publ.* **20**, 168 (2007).
50. Патерсон (J. Patterson), *MNRAS* **411**, 2695 (2011).
51. Симонсен и др. (M. Simonsen, D. Boyd, W. Goff, T. Krajci, K. Menzies, S. Otero, et al.), *J. Am. Associat. Var. Star Observ.* **42**, 177 (2014).
52. Скаргл (J.D. Scargle), *Astrophys. J.* **263**, 835 (1982).
53. Смак (J. Smak), *New Astron. Rev.* **44**, 171 (2000).
54. Столц, Шембс (B. Stolz and R. Schoembs), *Astron. Astrophys.* **132**, 187 (1984).
55. Тоди (D. Tody), in D. L. Crawford (ed.), *Instrument. Astron. VI*, Vol. 627 of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conf. Ser., p. 733 (1986).
56. Тонри и др. (J.L. Tonry, L. Denneau, A.N. Heinze, B. Stalder, K.W. Smith, S.J. Smartt, et al.), *PASP* **130**, 064505 (2018).
57. Удальский и др. (A. Udalski), *AcA* **53**, 291 (2003).
58. Уорнер (B. Warner), *Cataclysmic variable stars*, Vol. 28 (1995).
59. Форт (N. Vogt), *Astron. Astrophys.* **88**, 66 (1980).
60. Френк и др. (J. Frank, A. King, and D. J. Raine), *Accretion Power in Astrophysics: Third Edition* (2002).
61. Фрусионе и др. (A. Fruscione, J.C. McDowell, G.E. Allen, N.S. Brickhouse, D.J. Burke, J.E. Davis, et al.), in D.R. Silva and R.E. Doxsey (eds.), *Observatory Operations: Strategies, Processes, and Systems*, Vol. 6270 of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers (SPIE) Conf. Ser., p. 62701V (2006).
62. Хаберл, Мотч (F. Haberl and C. Motch), *Astron. Astrophys.* **297**, L37 (1995).
63. Хелиер (C. Hellier), *Cataclysmic Variable Stars* (2001).
64. Хесман и др. (F.V. Hessman, K.H. Mantel, H. Barwig, and R. Schoembs), *Astron. Astrophys.* **263**, 147 (1992).
65. Чемберс и др. (K.C. Chambers, E.A. Magnier, N. Metcalfe, H.A. Flewelling, M.E. Huber, C.Z. Waters, et al.), arXiv e-prints, p. arXiv:1612.05560 (2016).
66. Шрейбер и др. (M.R. Schreiber, D. Belloni, and A.D. Schwope), *Astron. Astrophys.* **682**, L7 (2024).
67. Эванс и др. (P.A. Evans, A.P. Beardmore, K.L. Page, J.P. Osborne, P.T. O'Brien, R. Willingale, et al.), *MNRAS* **397**, 1177 (2009).

68. Эванс и др. (I.N. Evans, F.A. Primini, K.J. Glotfelty, C.S. Anderson, N.R. Bonaventura, J.C. Chen, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **189**, 37 (2010).
69. Эванс и др. (P.A. Evans, K.L. Page, J.P. Osborne, A.P. Beardmore, R. Willingale, D.N. Burrows, et al.), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **247**, 54 (2020).
70. Ю и др. (Z.-l. Yu, X.-j. Xu, X.-D. Li, T. Bao, Y.-x. Li, Y.-c. Xing, et al.), *Astrophys. J.* **853**, 182 (2018).