А С Т Р О Ф И З И К А

ТОМ 67 МАЙ, 2024 ВЫПУСК 2

DOI: 10.54503/0571-7132-2024.67.2-161

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ПОЛЯРА IGR J19552+0044 В 2019-2022гг.

Ю.В.БАБИНА[1], Е.П.ПАВЛЕНКО[1], Н.В.ПИТЬ[1], К.А.АНТОНЮК[1], А.А.СОСНОВСКИЙ[1], В.Г.ГОДУНОВА[2], И.А.ИЗВЕКОВА[2], Г.И.КОХИРОВА[3], Ф.Д.РАХМАТУЛЛАЕВА[3], А.О.СИМОН[4], М.В.ЧУПИРА[4]

Поступила 8 мая 2024

В статье приведен анализ данных многоцветных фотометрических наблюдений асинхронного поляра IGR J19552+0044, полученных в течение 59 ночей с 2019 по 2022гг. в Крымской астрофизической обсерватории, а также в обсерваториях Пик Терскол, Санглох, Лесники и данных космического телескопа TESS, полученных в течение 27 сут в 2022г. Показано, что максимальная амплитуда колебаний блеска с периодом вращения белого карлика (~$2^m.5$-3^m) наблюдается в полосе Ic и практически близка к нулю в полосе B. Уточнен период вращения белого карлика, составляющий 0.05645350(14) сут. Обнаружена зависимость амплитуды кривой блеска периода вращения от фазы синодического периода.

Ключевые слова: *катаклизмические переменные: асинхронный поляр: IGR J19552+0044*

1. *Введение*. Катаклизмические переменные - это тесные двойные системы на поздней стадии эволюции [1]. В них звезда позднего спектрального класса теряет через внутреннюю точку Лагранжа вещество на компактный компонент - белый карлик. Если магнитное поле белого карлика пренебрежимо мало, вокруг него образуется аккреционный диск. В противном случае, если напряженность магнитного поля порядка 10^7-10^8 Гс, аккреция на белый карлик осуществляется непосредственно на его магнитные полюса, такие объекты называются полярами. Если напряженность магнитного поля меньше этой величины, в системе может образоваться аккреционный диск на расстоянии, где давление в аккреционной струе уравновешивается давлением магнитного поля (промежуточные поляры). Поляры - синхронные системы, в то время как промежуточные поляры - асинхронные, в них орбитальный период в среднем более, чем в 10 раз превосходит период вращения белого карлика. Существует малочисленная группа поляров, в которых период вращения белого карлика отличается от периода вращения всей системы, такие объекты называют асинхронными полярами. Это V1500 Cyg [2]; BY Cam [3], CD Ind [4], V1432 Aql [5], SDSS J134441.83+204408.3 [6], Swift

J05037-2819 [7], Paloma (RX J0524+42) [8], IGR J19552+0044 [9], 1RXS J0838-2827 [10,11] и SDSS J085414.02+390537.3 [12]. Причина асинхронизма до сих пор остается неизвестной у всех этих объектов, кроме V1500 Cyg, у которого принято считать, что синхронное орбитально-вращательное движение этой системы было разрушено взрывом Новой 1975г. [13].

IGR J19552+0044 ($\alpha = 19.55.12.4$, $\delta = +00.45.38$, J2000) - самый коротко-периодический объект из данной группы асинхронных поляров, его орбитальный период составляет 0.058055 сут, а период вращения белого карлика - 0.056451 сут [9], т.е., орбитальный период на 2.8% превосходит период вращения. Соответственно синодический период P_{beat} (т.е., период биений орбитального P_{orb} и вращательного P_{rot} периодов) есть $(P_{orb}$-$P_{rot})/P_{orb}P_{rot}$. Товмасян и др. [9] обнаружили у IGR J19552+0044 этот период (2.04 сут). Бернардини и др. [14] указали на большую переменность объекта в жестком рентгене и инфракрасном диапазоне спектра. Они обнаружили периоды 0.070 и 0.050 сут, которые отсутствуют в оптическом диапазоне. Природа их пока неизвестна. Спектральные и многоцветные наблюдения Товмасяна и др. [9] показали, что основным источником излучения IGR J19552+0044 является циклотронное излучение белого карлика, обеспечивающее в оптике переменность блеска с периодом вращения. Максимальная амплитуда колебаний с периодом вращения регистрируется в полосе I, где она достигает $\sim 2^m$. Согласно фотометрии с высоким разрешением, в длинноволновой области спектра наблюдается быстрая переменность с большой амплитудой. Авторы связывают ее с "блобовой" аккрецией на белый карлик. Авторы сделали вывод о массе белого карлика $0.77\,M_{\odot}$ и низком темпе аккреции. Они также пришли к заключению об относительно низкой напряженности магнитного поля (< 20 МГ) белого карлика и аккреции на один магнитный полюс.

Мы предприняли фотометрические исследования IGR J19552+0044 спустя 8 лет после фотометрии Товмасяна и др. [9], выполненные как по наземным наблюдениям, так и по данным космического телескопа TESS с целью исследования особенностей геометрии аккреции в течение синодического периода.

2. *Наземные и космические наблюдения*. Наземные наблюдения IGR J19552+0044 (далее IGR1955) проводились с 2019 по 2022гг. в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) на телескопах АЗТ-11 (1.25-м) с ПЗС ProLine PL230 и ЗТШ (2.6-м) с ПЗС Apogee Alta E47, в Международной Астрономической обсерватории Санглох на телескопе Цейсс-1000 с ПЗС FLI 16803 Proline, в обсерватории на пике Терскол Международного центра астрономических и медико-экологических исследований НАН Украины на телескопах Цейсс-600 и Цейсс-2000 с ПЗС SBIG STL-1001 и Fli PL 4301,

соответственно и на наблюдательной станции в с. Лесники Киевского национального университета им. Тараса Шевченко с ПЗС ProLine PL4710 (см. табл.1). В таблице приведены: дата, продолжительность и место наблюдений, телескоп и фотометрическая система. В качестве звезды сравнения использовалась звезда с координатами USNO-B1.0 0907-0488682 (19 55 17.497, +00 44 13.75, J2000). Наблюдения выполнялись в одной или нескольких полосах фотометрической системы Джонсона-Кузинса BVRcIc, иногда - без светофильтров с максимумом чувствительности в красной области спектра. Экспозиция подбиралась такой, чтобы обеспечивать точность не хуже $0^m.1$ и, в зависимости от телескопа, фотометрической системы и погодных условий, колебалась в пределах от 30 до180 с. В целом весь массив данных охватил ~3-летний интервал и составил 155 ч в течение 59 ночей наблюдений.

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ IGR J19552+0044 (2019-2022гг.)

№	Дата	HJD 2400000+...	ΔT (часы)	Место наблюдений, телескоп	Фотометрическая система
1	2	3	4	5	6
1	31.05.2019	58635	1.85	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
2	05.06.2019	58640	3.45	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
3	12.06.2019	58647	2.4	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
4	18.06.2019	58653	1.6	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
5	20.06.2019	58655	4.7	Санглох, Цейсс-1000	Ic, V
6	20.06.2019	58655	2.5	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
7	21.06.2019	58656	3	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
8	21.06.2019	58656	5	Санглох, Цейсс-1000	Ic, V
9	22.06.2019	58657	3.8	Санглох, Цейсс-1000	Ic, V
10	23.06.2019	58658	1.6	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
11	24.06.2019	58659	4.1	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
12	25.06.2019	58660	3.84	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
13	26.06.2019	58661	3.72	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
14	27.06.2019	58662	2.4	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
15	01.07.2019	58666	3.6	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
16	02.07.2019	58667	3.7	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
17	14.07.2019	58679	0.6	Терскол, Цейсс-600	B, V, Rc, Ic
18	16.07.2019	58681	0.4	Терскол, Цейсс-600	B, V, Rc, Ic
19	20.07.2019	58685	0.4	Терскол, Цейсс-600	B, V, Rc, Ic
20	29.07.2019	58694	2.4	Терскол, Цейсс-600	Rc
21	07.08.2019	58703	2.5	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
22	08.08.2019	58704	4	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
23	09.08.2019	58705	1.8	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
24	10.08.2019	58706	2.5	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
25	11.08.2019	58707	3	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
26	12.08.2019	58708	2.2	КрАО, АЗТ-11	Ic, V

Таблица 1 (Окончание)

1	2	3	4	5	6
27	14.08.2019	58710	1.8	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
28	29.04.2020	58969	0.7	Терскол, Цейсс-600	B, V, Rc, Ic
29	13.05.2020	58983	1.4	Терскол, Цейсс-600	B, V, Rc, Ic
30	03.06.2020	59004	3	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
31	04.06.2020	59005	3	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
32	08.06.2020	59009	2.2	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
33	08.08.2020	59070	3.8	КрАО, ЗТШ 2.6-м	B, V, Rc, Ic
34	09.08.2020	59071	4.5	КрАО, ЗТШ 2.6-м	B, V, Rc, Ic
35	19.08.2020	59081	1.5	Терскол, 2-м	B, V, Rc, Ic
36	20.08.2020	59082	2.6	Терскол, 2-м	B, V, Rc, Ic
37	21.08.2020	59083	1.3	Лесники, 0.7-м	Ic, Rc
38	20.05.2021	59355	2	Терскол, Цейсс-600	V
39	07.06.2021	59373	0.8	КрАО, АЗТ-11	Ic, V, без ф.
40	08.06.2021	59374	1	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
41	09.06.2021	59375	4.2	КрАО, АЗТ-11	Ic, V, без ф.
42	10.06.2021	59376	2	КрАО, АЗТ-11	Ic
43	11.06.2021	59377	3	КрАО, АЗТ-11	Без ф.
44	13.06.2021	59379	3	КрАО, АЗТ-11	Без ф.
45	17.06.2021	59383	2.8	Терскол, Цейсс-600	Ic
46	18.06.2021	59384	2.8	Терскол, Цейсс-600	Ic
47	20.06.2021	59386	1	Терскол, Цейсс-600	Ic
48	01.07.2021	59397	3.4	КрАО, АЗТ-11	Ic
49	22.10.2021	59510	3	Терскол, Цейсс-600	Ic
50	23.10.2021	59511	7	Терскол, Цейсс-600	Ic
51	21.06.2022	59752	1.8	КрАО, АЗТ-11	Без ф.
52	04.07.2022	59765	2.88	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
53	05.07.2022	59766	3.1	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
54	06.07.2022	59767	3.3	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
55	07.07.2022	59768	3.2	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
56	11.07.2022	59772	1.5	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
57	13.07.2022	59774	1.1	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
58	14.07.2022	59775	2.6	КрАО, АЗТ-11	Ic, V
59	16.07.2022	59777	3.1	КрАО, АЗТ-11	Ic, V

Космические наблюдения были выполнены с помощью телескопа TESS (NASA Transiting Exoplanet Survey Satellite) [15] в 2022г. на протяжении 27 сут в широкой спектральной полосе 600-1000 нм с экспозицией 120 с.

3. *Анализ наблюдений TESS*. Данные TESS представляют собой четыре фрагмента в интервалах BJD 59769-59777, 59780-59782, 59783-59791, 59793-59796 (см. рис.1).

Обращает на себя внимание сильная модуляция интенсивности с ~1-суточным периодом, что хорошо видно на рис.2, где приведена периодограмма, построенная с использованием метода Стеллингверфа, реализованного в пакете программ ISDA [16]. Наиболее значимые пики периодограммы

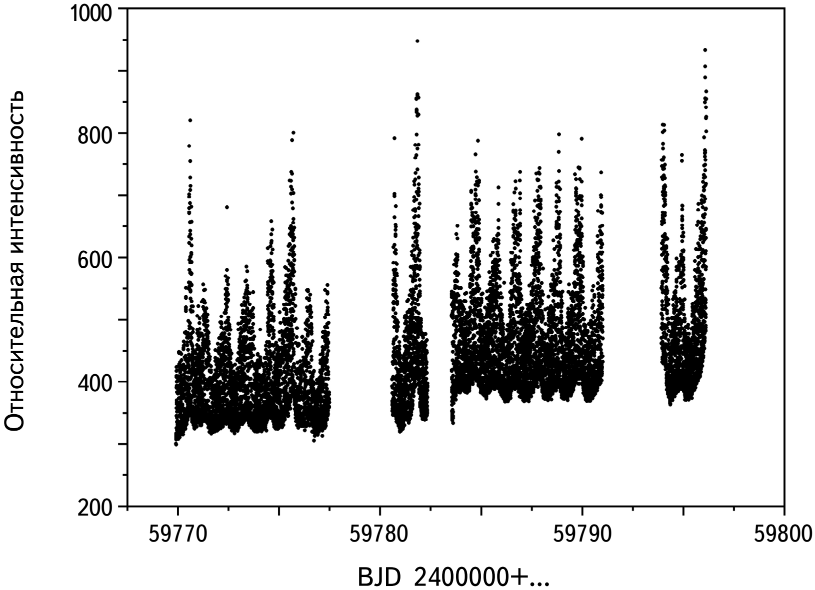

Рис.1. Долговременная кривая блеска IGR 1955 в 2022г. по данным TESS.

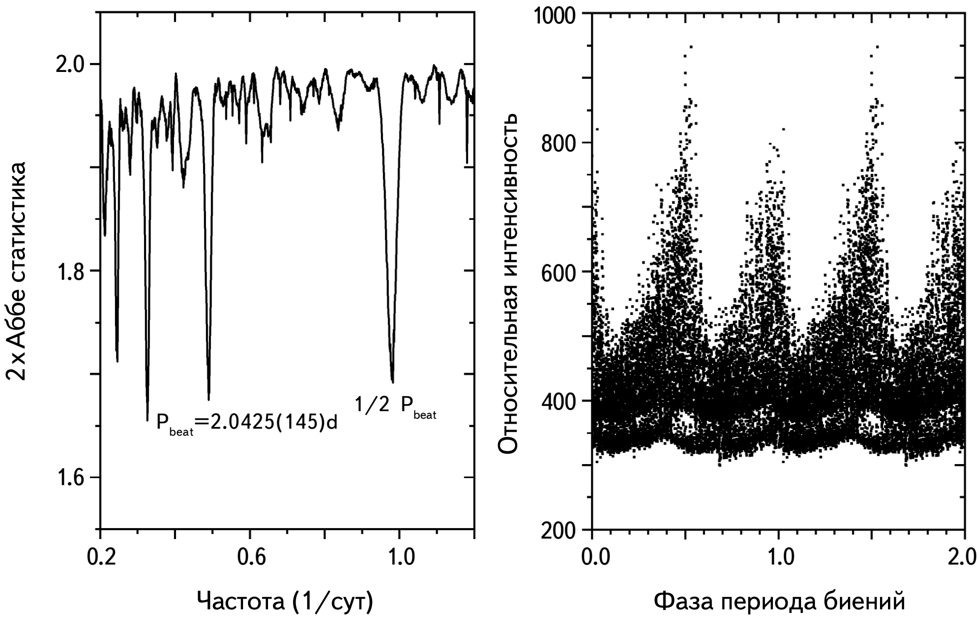

Рис.2. Периодограмма по данным TESS в окрестности периода биений (слева) и свертка данных с периодом биений 2.0425 сут (справа). Для удобства данные воспроизведены дважды (на рисунке справа).

указывают на период биений 2.0425 сут и его вторую гармонику. На этом же рисунке показана фазовая кривая блеска, построенная согласно эфемериде

$$\mathrm{Max\,HJD} = 2455740.7035 + 2.0425E\,, \tag{1}$$

где начальная эпоха соответствует нижнему соединению вторичного компонента [9]. Индивидуальные "столбцы" кривой - это колебания блеска с периодом вращения белого карлика, а верхняя огибающая (т.е., амплитуда колебаний, связанных с периодом вращения) в среднем достигает максимальных величин дважды в течение периода биений на фазах ~0.0 и ~0.5, соответствующих нижнему и верхнему соединению красного карлика. Отметим особенность профиля верхней огибающей: медленное возрастание яркости и быстрый ее спад.

На рис.3 для двух наиболее длинных рядов наблюдений TESS приведены кривые блеска, связанные с периодом вращения белого карлика, в зависимости от фазы периода биений. Показаны кривые для шести синодических циклов. Профиль кривых периода вращения, как правило, одногорбый (за редкими исключениями) и на фазах максимального блеска испещрен быстрыми квазипериодическими колебаниями. Видно, что амплитуда кривых периода

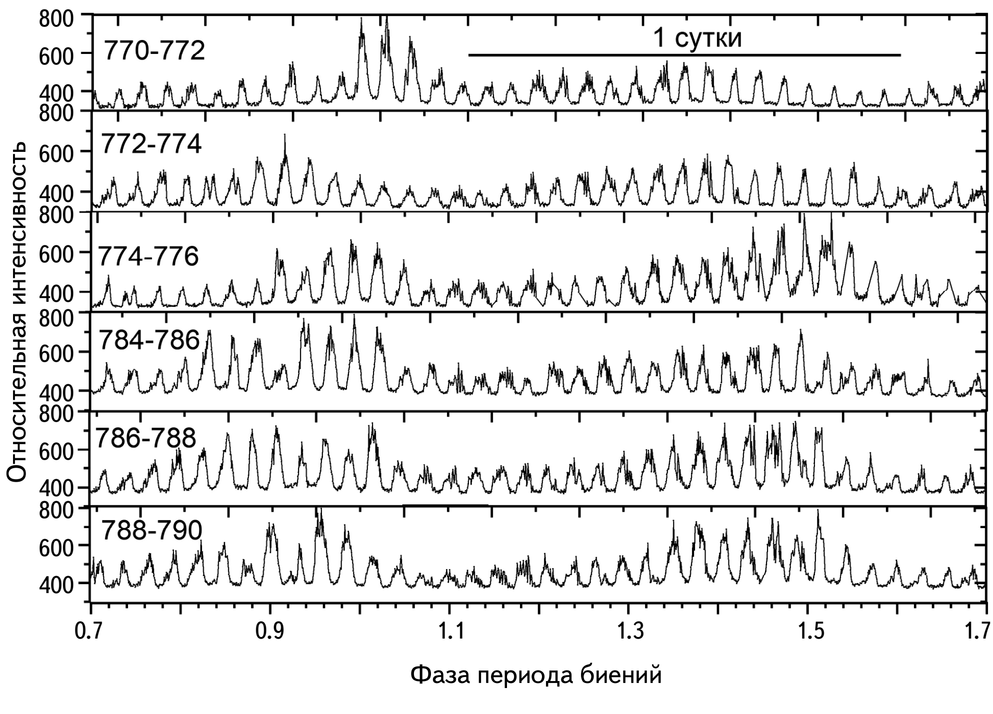

Рис.3. Кривые блеска периода вращения IGR 1955 по данным TESS в зависимости от фазы синодического периода для шести синодических циклов. Для каждого синодического цикла указан интервал Юлианских дат (последние три цифры).

вращения систематически изменяется в течение каждого синодического цикла и достигает максимального значения в интервале фаз ~0.9-1.0 и ~0.4-0.5.

4. *Анализ наземных наблюдений*. На рис.4 дана фазовая кривая блеска данных наземных наблюдений с синодическим периодом в полосах V и Ic. Фазы периода вычислялись согласно эфемериде (1). Сравнивая эту кривую, построенную по трехлетнему ряду наблюдений с кривой TESS по месячному ряду наблюдений, можно отметить их сходство, несмотря на различие в длине охваченных наблюдениями временных интервалов и неравномерное покрытие фаз наземными наблюдениями. Кривые синодического периода наземных наблюдений имеют два максимума за период на фазах 0.9-1.0 и 0.35-0.5.

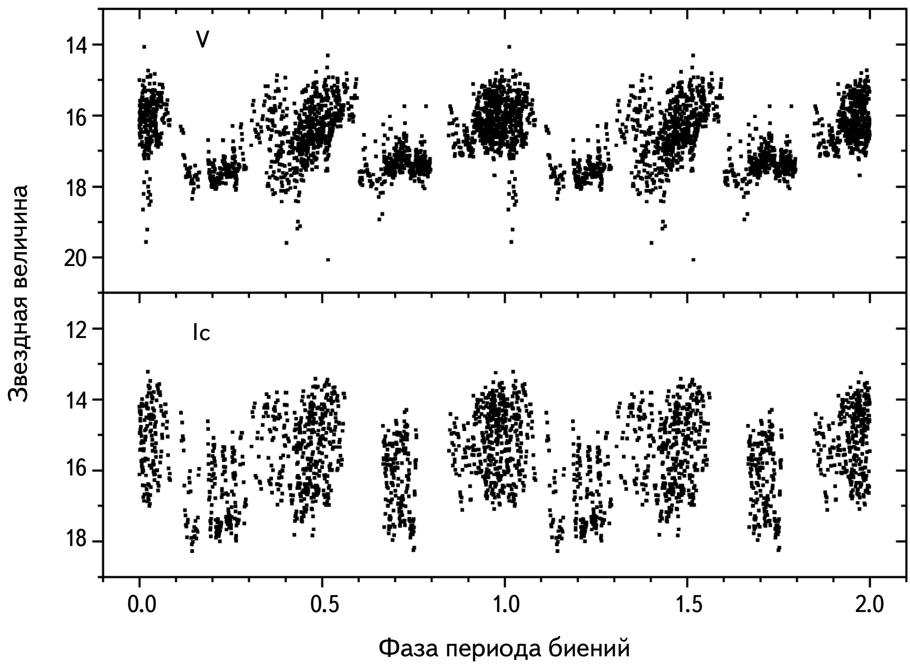

Рис.4. Фазовая кривая блеска наземных наблюдений IGR 1955 с периодом биений 2.0425 сут в полосе V и Ic, построенная по данным наземных наблюдений 2019-2022гг. Для удобства кривая воспроизведена дважды.

На рис.5 приведены кривые блеска IGR 1955 в полосах Ic и V для некоторых ночей и для различных фаз синодического периода.

Кривые показывают быстрые изменения профиля на коротких временных шкалах в обеих полосах. Каждая индивидуальная кривая на рисунке охватывает от двух до четырех периодов вращения белого карлика. На кривой блеска для JD 2458655 видны три полных цикла вращения. В полосе Ic кривые

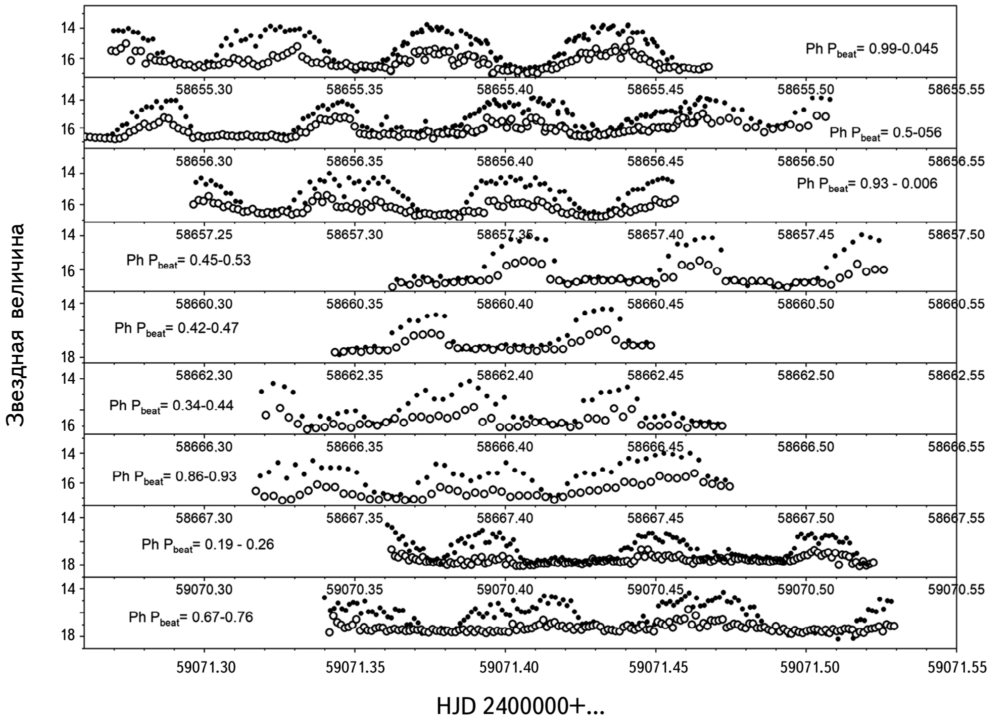

Рис.5. Некоторые кривые блеска IGR 1955 в полосах V и Ic. Заполненными кружками обозначены данные в полосе Ic, открытыми - в V. Для данных каждой ночи указан интервал фаз синодического цикла $Ph\ P_{beat}$.

блеска в каждом цикле имеют похожий одногорбый вид, длительность каждого горба (ширина горба) составляет практически весь период. В полосе V кривая блеска каждого цикла разделяется на два горба разной амплитуды. Амплитуда горбов в этой полосе изменяется от цикла к циклу. Следующая кривая блеска для JD 2458656 за период наблюдений охватывает 4 полных цикла вращения. Она демонстрирует кардинальные изменения профиля, происходящие в соседних циклах. Кривая блеска в течение первого цикла представляет собой узкий горб, длящийся всего половину периода и минимум блеска в виде ровного плато в течение остальной половины. Профиль второго цикла напоминает профиль первого, в третьем и четвертом цикле ширина горба стремительно увеличивается вдвое, а его профиль становится двухпиковым. Кривая блеска в ночь JD 2458657 содержит широкие горбы, длящиеся практически в течение всего периода вращения, а в ночь JD 2458660 вновь наблюдается профиль типа "узкий горб + плоское плато", как и в ночь JD 2458656. Подобная картина зарегистрирована и для JD 2459070, однако, на месте плато угадывается растущий горб небольшой амплитуды. В ночь JD 2459071 профиль кривых вращения опять широкий и двухпиковый.

В течение половины первого цикла видна одногорбая кривая, а в остальную половину - ровное плато в обеих полосах на уровне 16^m. В ночь JD 2458660 в течение трех орбитальных циклов видна одногорбая кривая, где горб имеет протяженность в половину орбитального цикла. Форма горба несимметричная, везде наблюдается резкий спад блеска, который может указывать на затмевающую составляющую области аккреции.

Кривые блеска по квазиодновременным наблюдениям в полосах BVRcIc представлены на рис.6. Они хорошо демонстрируют увеличение амплитуды колебаний с длиной волны вплоть до $2^m.5$ - 3^m в полосе Ic и наличие быстрых колебаний блеска, также растущих с длиной волны и с амплитудой, превосходящей одну звездную величину. По кривым блеска в разных полосах видна существенная разница в значениях минимума блеска, доходящая до $\sim 1^m$. В полосе B значимые колебания блеска практически отсутствуют.

По всем данным 2019-2022гг., полученным в полосах V и Ic, были построены периодограммы в окрестности орбитального периода и периода

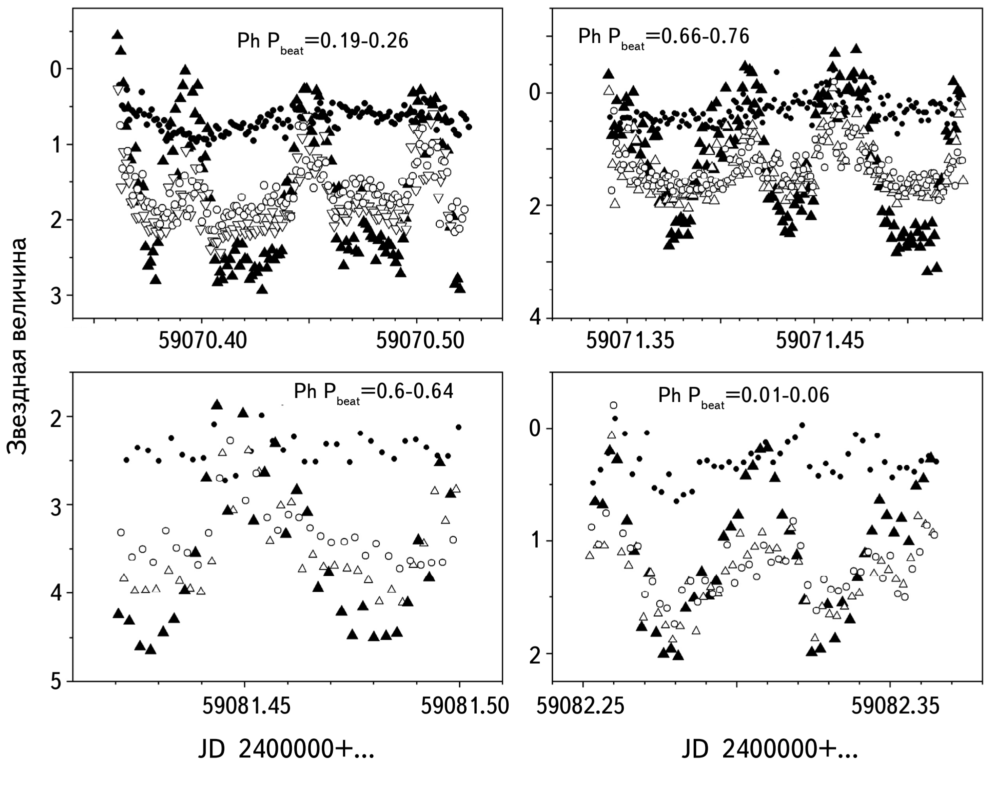

Рис.6. Кривые блеска в полосах BVRcIc, полученные на ЗТШ и на Терсколе. Заполненными кружками обозначены данные в полосе B, открытыми кружками - V, заполненными треугольниками - Ic, открытыми треугольниками - Rc. Указаны фазы периода биений (*Ph P$_{beat}$*).

вращения. Результат представлен на рис.7 (слева). Как и следовало ожидать, самый значимый пик на обеих периодограммах указывает на период вращения белого карлика 0.05645351(14) сут. Величины периодов, полученные в данной работе и Товмасяном и др. [9] в пределах точности совпадают в шестом знаке после запятой, что не позволяет корректно оценить скорость предполагаемой орбитально-вращательной синхронизации. С учетом погрешностей определения периодов видно, что мы получили более точную его величину 0.05645351(14) сут. Орбитальный период на периодограмме также присутствует, однако

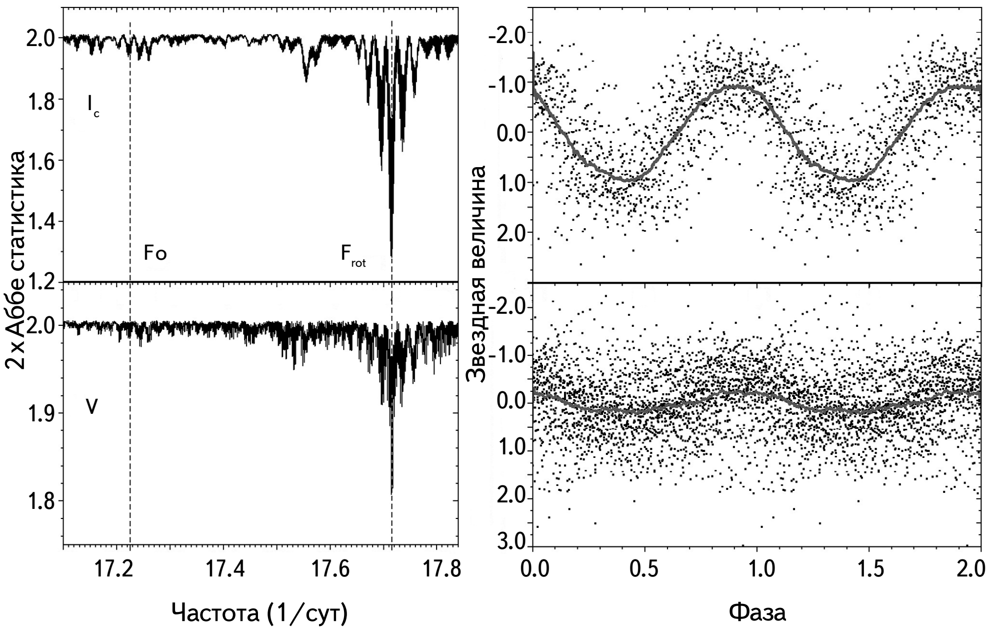

Рис.7. Слева: периодограммы для данных в полосах Ic и V в окрестности периода вращения и орбитального периода, построенные по наземным наблюдениям 2019-2022гг. Пунктирными линиями показаны расчетное положение орбитального периода (соответствующая частота $F_o = 17.225$ сут$^{-1}$) и периода вращения ($F_{rot} = 17.715$ сут$^{-1}$). Справа: фазовые кривые блеска с периодом вращения в полосах Ic (вверху) и V (внизу). Для удобства свертки воспроизведены дважды.

значимость его очень мала. На рис.7 (справа) приведены фазовые кривые блеска с периодом вращения, построенные согласно эфемериде

$$\mathrm{Max\,HJD} = 2455740.7035 + 0.05645351\mathrm{E}. \tag{2}$$

5. *Обсуждение. Синодический период.* Наземные и космические наблюдения показали, что наличие двугорбой модуляции блеска с синодическим периодом и зависимость амплитуды колебаний блеска с периодом вращения белого карлика от фазы синодического цикла - устойчивое явление в системе IGR 1955. Похожий эффект у асинхронного поляра BY Cam был зарегист-

рирован Мэйсоном и др. [17]. Такое поведение ассоциируется с периодическим изменением темпа переноса вещества от вторичного компонента в течение синодического периода. В случае BY Cam авторы описали сложность однозначной интерпретации наблюдаемых эффектов, повторяющихся с фазой синодического цикла, зависящих от изменения ориентации магнитного поля белого карлика. Однако они предложили как наиболее вероятную модель "магнитного клапана" (см. также предположение Андронова [18]) в качестве потенциального объяснения изменений интенсивности, зависящих от фазы биений, где магнитное поле белого карлика препятствует переносу вещества через внутреннюю точку Лагранжа L1, когда поток перпендикулярен оси магнитного поля, что объясняет наличие двугорбого или мультикомпонентного профиля кривой. Напомним, что максимальная амплитуда верхней огибающей кривой синодического периода IGR 1955 (за счет максимальной амплитуды кривых периода вращения) наблюдается, согласно эфемериде (1), во время нижнего соединения красного карлика. Это означает, что магнитное поле белого карлика в этот момент ориентировано наиболее благоприятным образом для максимального темпа аккреции и ориентация магнитной оси близка к ориентации линии, соединяющей центры компонент.

6. *Заключение*. Таким образом, многолетний мониторинг асинхронного поляра IGR 1955 выявил: 1. сильную и устойчивую во времени двугорбую модуляцию блеска с синодическим периодом 2.0425 сут, очевидно, связанную с периодическим колебанием темпа переноса вещества от вторичного компонента; 2. позволил уточнить величину периода вращения белого карлика 0.05645351(14) сут. Полученные данные согласуются с выводом Товмасяна и др. [9], что профиль кривых блеска с периодом вращения, как правило, одногорбый, что указывает на преимущественно однополюсную аккрецию. Дальнейшие исследования должны показать, возможно ли применение модели магнитного клапана для объяснения эффектов, наблюдаемых у IGR 1955.

Авторы благодарят рецензента за внимательное прочтение статьи и ценные замечания.

[1] ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН", Республика Крым, e-mail: eppavlenko@gmail.com
[2] Международный центр астрономических, медицинских и экологических исследований НАН Украины, Киев, Украина
[3] Институт Астрофизики Академии Наук Республики Таджикистан, Душанбе, Таджикистан
[4] Киевский Национальный университет Тараса Шевченко, Киев, Украина

PHOTOMETRIC STUDIES OF ASYNCHRONOUS POLAR IGR J19552+0044 IN 2019-2022

Ju.V.BABINA[1], E.P.PAVLENKO[1], N.V.PIT[1], K.A.ANTONYUK[1], A.A.SOSNOVSKIJ[1], V.G.GODUNOVA[2], I.A.IZVIEKOVA[2], G.I.KOKHIROVA[3], F.D.RAKHMATULLAEVA[3], A.O.SIMON[4], M.V.CHUPIRA[4]

The paper presents an analysis of multicolor photometric observations of the asynchronous polar IGR J19552+0044, obtained over 59 nights from 2019 to 2022 at the Crimean Astrophysical Observatory, as well as at the Terskol Peak, Sanglokh and Lesniky observatories and from TESS data. It is shown that the maximum amplitude of brightness variations (~$2^m.5$-3^m) is observed in the Ic band and is practically close to zero in the B band. The rotation period of the white dwarf has been refined to be 0.05645351(14) days. A dependence of the amplitude of the rotation period curve on the phase of synodic period was discovered.

Keywords: *cataclysmic variables: asynchronous polar: IGR J19552+0044*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.Warner*, Astrophys. Space Sci., **226**, 187, 1995.
2. *E.P.Pavlenko*, *P.A.Mason*, *A.A.Sosnovskij et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc, **479**, 341, 2018.
3. *A.D.Silber*, *D.Andrew*, *P.Szkody et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **290**, 25, 1997.
4. *P.A.Mason*, *J.F.Morales*, *C.Littlefield et al.*, Advances in Space Research, **66**, 1123, 2020.
5. *I.L.Andronov*, *A.V.Baklanov*, *V.Burwitz,* Astron. Astrophys., **452**, 941, 2006.
6. *C.Littlefield*, *P.Mason*, *P.Garnavich et al.*, Astrophys. J. Lett., **943**, 24, 2023.
7. *J.P.Halpern*, Astrophys. J., **934**, 8, 2022.
8. *R.Schwarz*, *A.D.Schwope*, *A.Staude et al.*, ASP Conference Proc., San Francisco: Astron. Soc. Pacif., **315**, 230, 2004.
9. *G.Tovmassian*, *D.González-Buitrago*, *J.Thorstensen et al.*, Astron. Astrophys., **608**, 9, 2017.
10. *N.Rea*, *F.Coti Zelati*, *P.Esposito et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **471**, 2902, 2017.
11. *J.P.Halpern*, Astrophys. J., **963**, 11, 2024.
12. *A.I.Kolbin*, *M.V.Suslikov*, *V.Yu.Kochkina et al.*, Astron. Lett., **49**, 475, 2023.

13. *H.S.Stockman*, *G.D.Schmidt*, *D.Q.Lamb*, Astrophys. J., **332**, 282, 1988.
14. *F.Bernardini*, *D. de Martino*, *K.Mukai et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **435**, 2822, 2013.
15. *R.J.Ricker*, Proceedings of the SPIE, **9143**, 15, 2014.
16. *J.Pelt*, Irregularity Spaced Data Analysis, User Manual - Helsinki, 1992.
17. *P.A.Mason et al.*, Astrophys. J., **938**, 142, 2022.
18. *И.Л.Андронов*, Природа, **5**, 26, 1987.