

ПАРАМЕТРЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ М-КАРЛИКА V647 Her

Бондарь Н.И., Алексеев И.Ю., Антонюк К.А., Пить Н.В.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия

PARAMETRS OF STARSPOTS ON THE SURFACE OF THE M-DWARF V647 HER

Bondar' N.I., Alekseev I.Yu., Antonyuk K.A., Pit' N.V.

Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Russia

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2023-35-38>

Based on photometric data obtained for the star V647~Her in 2019 and 2022 at the CrAO, as well as 2004 data from the SWASP catalog, low-amplitude brightness variations with $P_{rot} = 20.69$ d were found. Changes in the V-I color index indicate a presence of cool spots on its surface. It is found that the characteristics of rotational modulation, the amplitude and phase of the minimum, change, which is caused by the evolution of the spots and changes in their parameters. The temperature and area of the spots were determined within the framework of the zonal model using photometry for 1939–2022. The spots cover from 8 to 30% of the total surface of the star. Taking a temperature of the quiet photosphere of 3300 K, $T_{spot} = 2700-2800$ K, the characteristic time between minima of the star's activity is estimated of about 60 years.

Введение

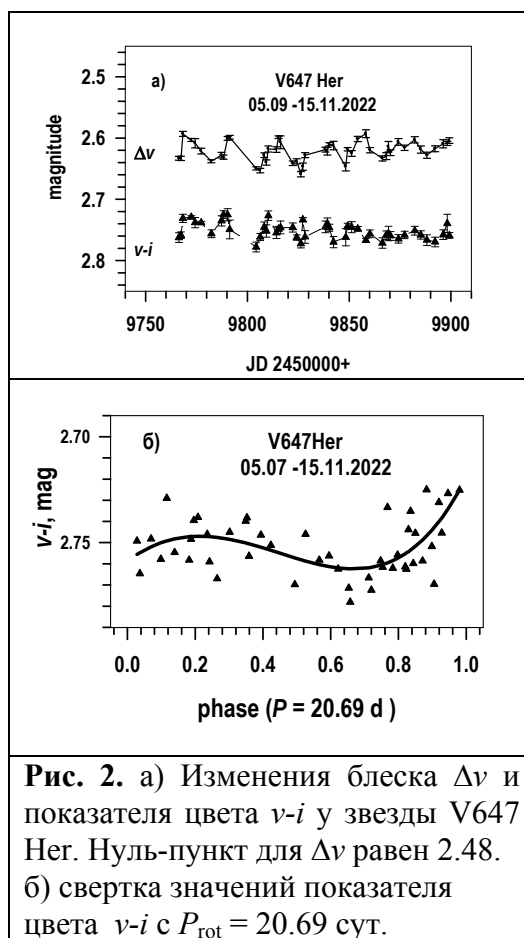
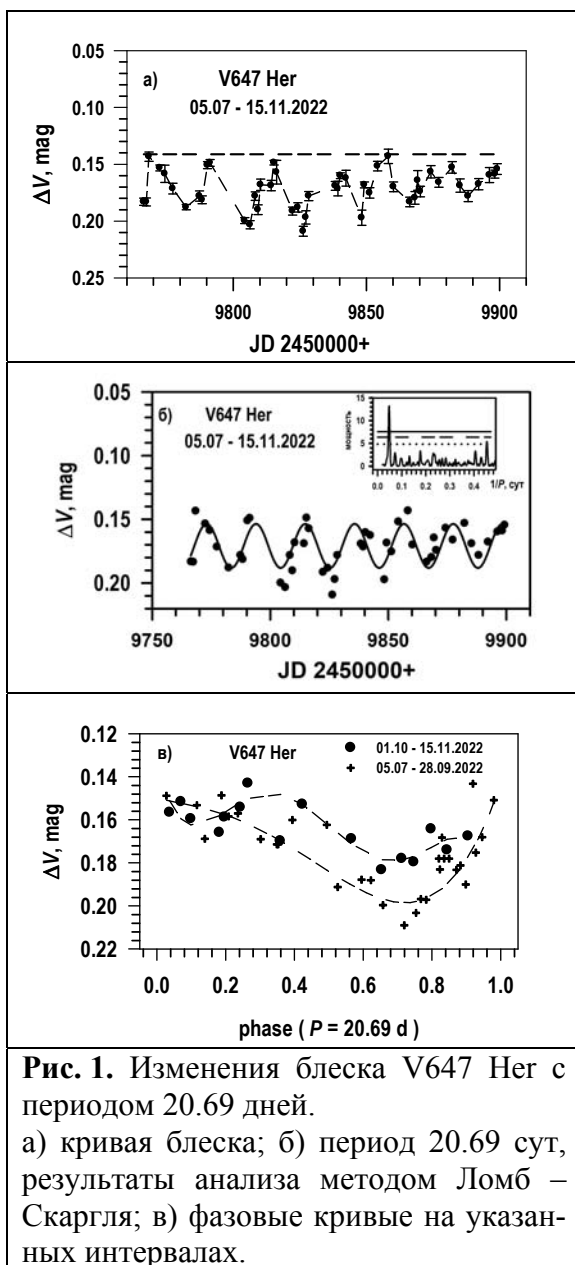
Звезды V647 Her ($V = 11^m.2$) и V639 Her ($V = 12^m.93$), образующие широкую астрометрическую двойную систему GJ 669AB, являются вспыхивающими красными карликами [1, 2]. Каждая из звезд системы GJ 669AB представляет интерес для изучения особенностей проявления активности у красных карликов, имеющих разное внутреннее строение. Согласно [3] звезда V639 Her, у которой масса меньше $0.35 M_{\odot}$ ($M = 0.31 M_{\odot}$), является полностью конвективной, а более массивная V647 Her ($M = 0.37 M_{\odot}$), имея развитую конвективную зону, еще сохраняет радиативное ядро.

Активность звезд зависит также от скорости осевого вращения. Для обеих звезд данные о периодах вращения, полученные в оптическом диапазоне по спектральным и фотометрическим наблюдениям существенно различаются [4]. В 2019 г. на 125 см рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) мы выполнили многоцветную фотометрию звезды V647 Her. Анализ поведения блеска по этим данным показал его малоамплитудные изменения, не более $0^m.05$, с периодом 20.69 дней и низкую вероятность изменений с периодом 1.098 дней [5]. Короткопериодические изменения были заподозрены ранее по данным каталога ASAS [6] и SuperWASP [7].

В этой статье по результатам анализа фотометрии 2019 г., рядом, полученным в КрАО в 2022 г. и данным 2004 г. из каталога SuperWASP рассмотрены характеристики переменности с периодом 20.69 сут. Показано, что наблюдаемая переменность блеска сопровождается покраснением звезды, что указывает на наличие холодных пятен на ее поверхности. Параметры пятен вычислены в рамках зональной модели, для расчета определены входные параметров по фотометрии с 1939 г. по 2022 г. Получены площади пятен в каждую приведенную эпоху и характерное время между минимумами активности процессов пятнообразования.

Переменность блеска и цвета по фотометрии 2022 г.

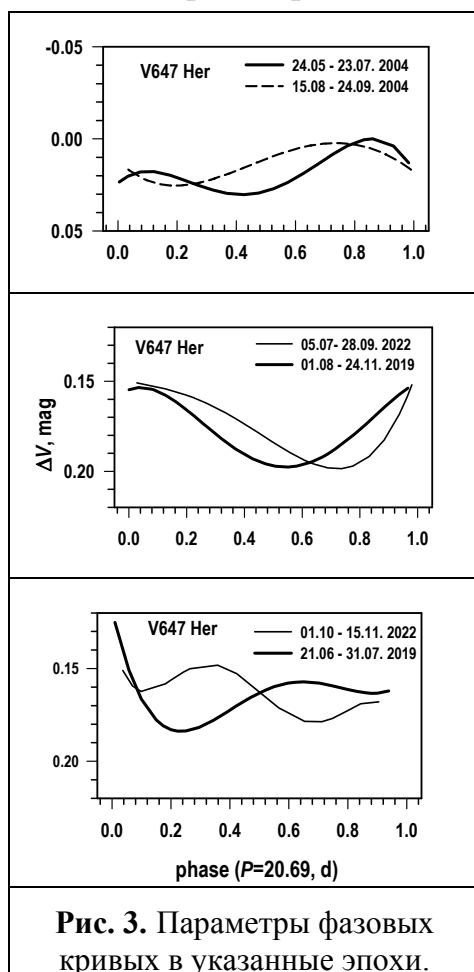
Наблюдения V647 Her в 2022 г. выполнены в полосах *BVRI* с 5 июля по 15 ноября. Описание аппаратуры, методов регистрации и обработки данных приведены в [5]. Кривая блеска на рис. 1а представляет усредненные в дату наблюдений ΔV -величины, определенные относительно измерений блеска звезды сравнения TYC 2082-2143-1 ($V = 11^m.22$), значение $\sigma < 0^m.007$.



Частотный анализ, выполненный методом Ломб-Скаглия, подтвердил присутствие переменности, $\Delta V = 0^m.03\text{--}0^m.06$, с периодом 20.69 сут (рис. 1б). Фазовые кривые построены с элементами $HJD = 2453128.5102 + 20.69E$ (рис. 1в). Видно, что амплитуды и фазы минимумов сохраняются в течение 40–80 дней. Анализ показателей цвета $V-I$ (рис. 2а, величины приведены в инструментальной системе) показал, что при изменении блеска звезда становится более красной, что свидетельствует о присутствии холодных пятен на ее поверхности. Показатели цвета также меняются с периодом вращения (рис. 2б), ряд остатков после вычитания периодичности 20.69 сут сосредоточен в пределах 2σ .

Вращательная модуляция блеска по фотометрии 2004 г., 2019 г. и 2022 г.

По результатам исследований поведения блеска звезды в 2004 г., 2019 г. и 2022 г. период вращения звезды составляет 20.69 сут. Фазовые кривые



характеризуют вращательную модуляцию блеска с этим периодом. Амплитуда вращательной модуляции меняется от сезона к сезону и на более длинной временной шкале (рис. 3). Также меняется фаза минимума, которая показывает положение запятненных областей на поверхности звезды. Как видно из таблицы, пятна могут наблюдаться на одной из полусфер или на обоих полушариях, как в октябре-ноябре 2022 г.

Таблица. Параметры вращательной модуляции.

Год	Дата	Фаза минимума	Амплитуда
2004	24.05 - 23.07	0.43	0.030
	15.08 - 24.09	0.17	0.026
2019	21.06 - 31.07	0.22	0.027
	01.08 - 24.11	0.55	0.044
2022	05.07 - 28.09	0.72	0.046
	01.10 - 15.11	0.66	0.028
	01.10 - 15.11	0.09	0.015

Амплитуды и фазы минимума обусловлены параметрами пятен и их локализацией на поверхности. Характеристики вращательной модуляции сохраняются в течение 2–4 оборотов звезды.

Определение параметров пятен

Для определения параметров пятен в рамках зональной модели [8, 9] принято значение температуры звезды $T_{\text{eff}} = 3300 \text{ K}$ [4], угол наклона оси вращения $i = 90^\circ$. По данным многолетней фотометрии максимальный блеск незапятненной фотосферы $V_{\text{max}} = 11^{\text{m}}.04$, значения показателей цвета $B-V = 1.55$, $V-R = 1.14$, $V-I = 2.67$ и отношения амплитуд вращательной модуляции в указанных полосах в каждый сезон $dB/dV = 0.96$, $dR/dV = 0.83$, $dI/dV = 0.55$. Для определения V_{max} построена сводная кривая блеска по данным из фотографического архива Зоннебергской обсерватории (1939–1991 гг.), из каталогов *Hipparcos* (1990–1993 гг.), *ASAS* (2003–2009 гг.), *SuperWASP* (2004–2007 гг.), *KWS* (2012–2022 гг.) и полученным в КрАО, данные из публикаций отмечены зачерненным кружком (рис. 4). Парамет-

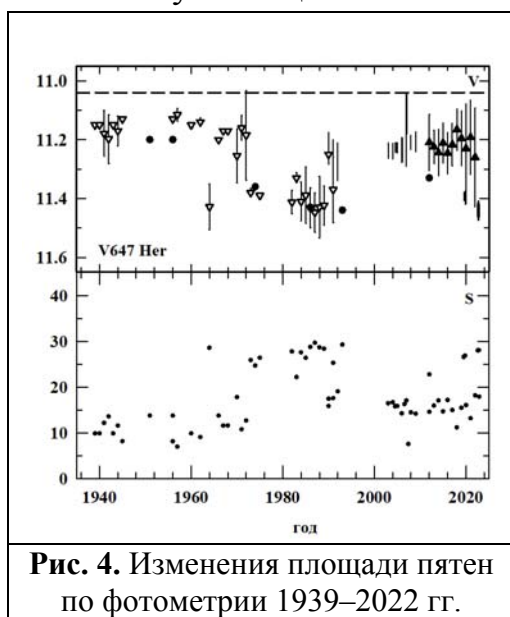


Рис. 4. Изменения площади пятен по фотометрии 1939–2022 гг.

ры пятен определены на интервале с 1939 г. по 2022 г. В принятой модели запятненности температура пятен $T_{\text{spot}} = 2740 \pm 60 \text{ K}$, площади пятен в процентах полной площади поверхности звезды меняются от 8 до 30% (нижний график рис. 4). Минимальная запятненность наблюдалась в 1945–1956 гг. и 2005–2009 гг., когда значение S_{spot} составляли 8% и 15% соответственно. Наибольшая запятненность, $\sim 30\%$, отмечена в 1982–1987 гг. В настоящее время по фотометрии 2019 г. и 2022 г. занимаемая пятнами площадь приближается к максимальному уровню, $S_{\text{spot}} \sim 28\%$. Харак-

терное время между эпохами минимальной запятненности, т.е. минимумами активности процессов пятнообразования, около 60 лет, длительность максимума активности – около 5 лет.

Литература

1. Roques P.E. // *PASP*, 1955, 67, 394, 34.
2. Shakchovskaya N.I., Sofina W. // *Inf. Bull. Var. Stars*, 730, 1972.
3. Chabrier G., Baraffe I. // *Astron. Astrophys.*, 1997, 327, 1039.
4. Quiroga-Nuñez L.H., Intema H.T., Callingham J. R., et al. // *Astron. Astrophys.*, 2020, 633, id.A130, 9 pp.
5. Bondar' N.I., Antonyuk K.A., Pit' N.V. // *Astrophysics*, 2022, 65, 483.
6. Kiraga M., Stępień K. // *Acta Astron.*, 2007, 57, 149.
7. Bondar N.I. // *Astron. Astrophys. Trans.*, 2019, 31(3), 295.
8. Алексеев И.Ю., Гершберг Р.Е. // *Астрон. журн.*, 1996, 73, 579.
9. Алексеев И.Ю. Запятненные звезды малых масс. Одесса: Астропринт, 2001. 137 с.