

РАЗВИТИЕ ПЯТЕН НА ПОВЕРХНОСТИ ПОЛНОСТЬЮ КОНВЕКТИВНОЙ ЗВЕЗДЫ V639 HER

Бондарь Н.И., Антонюк К.А., Пить Н.В.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия

DEVELOPMENT OF SURFACE STARSPOTS ON THE FULLY CONVECTIVE STAR V639 HER

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

Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Russia

The article presents photometric studies of the M-dwarf V639 Her (M4.5Ve, $M = 0.31M_{\odot}$) based on the results of CCD observations in 2019 at CrAO in the BV(RI)c bands. The light curves in the specified bands and the results of the periodogram analysis are given. The value of the rotation period of the star is found to be 1.457 days. The star is a fast rotator with the presence of low-amplitude variability in the visible and red regions; it is noted that, as the brightness decreases, the star becomes redder. Based on the phase light curves, the parameters of the rotational modulation – the amplitude and phases of the minimum – are determined; it is concluded that the starspots occupy both hemispheres of the star in the observed epoch, the distribution of spots and the stability of the parameters of the rotational modulation are maintained over an interval of 100 days.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-41-44>

Введение

Звезда V639 Her ($V = 12^m.93$) является слабым компонентом астрометрической двойной системы GJ 669 AB, удаленной на 10.75 пс [1]. Спектральный класс звезды M4.5 Ve, масса $M = 0.31M_{\odot}$, и согласно [2], она является полностью конвективной звездой. Проявления магнитной активности звезды наблюдаются во всех диапазонах. У нее обнаружены оптические вспышки [3] и эмиссия в линии Н-альфа, радиоизлучение исследуется на разных телескопах с 1976 г., рентгеновское излучение зарегистрировали спутники XMM и Chandra [1].

Скорость осевого вращения V639 Her определена недавно, значение $v \sin i = 7$ км/с согласуется с фотометрическим периодом 1.45 сут [4], если принять угол наклона оси вращения $i = 40^{\circ}$ [5]. Развитие фотосферных пятен у звезды не изучалось. В 2019 г. на 1.25 м рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории (КрАО) мы выполнили фотометрию системы GJ 669 AB в полосах BV(RI)_c с целью уточнения периодов вращения компонентов системы и изучения их фотосферной активности [6].

В этой статье представлены кривые блеска, полученные по данным фотометрии 2019 г. звезды V639 Her, результаты их периодограммного анализа и найденное значение периода вращения. На основе анализа вращательной модуляции блеска получены данные о присутствии холодных пятен и их распределении на поверхности звезды.

Переменность блеска и цвета по фотометрии 2019 г.

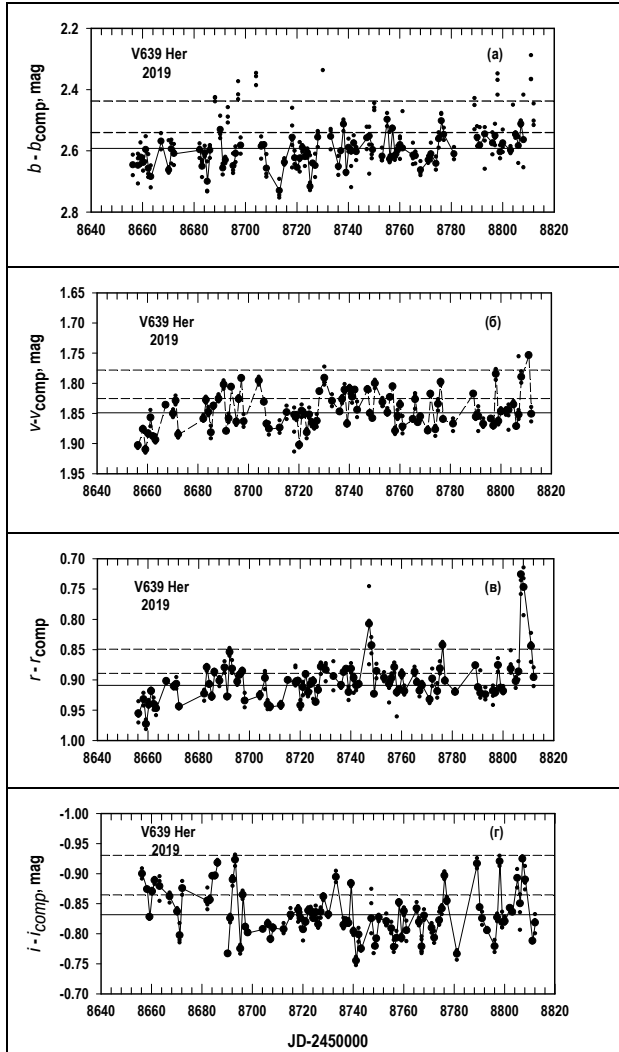


Рис. 1. Изменения блеска V639 Her по наблюдениям с 21.06 по 24.11 2019 г. Измеренные величины – малые кружки, усредненные по дате – большие кружки; линиями отмечены средние значения и уровни 1σ и 3σ .

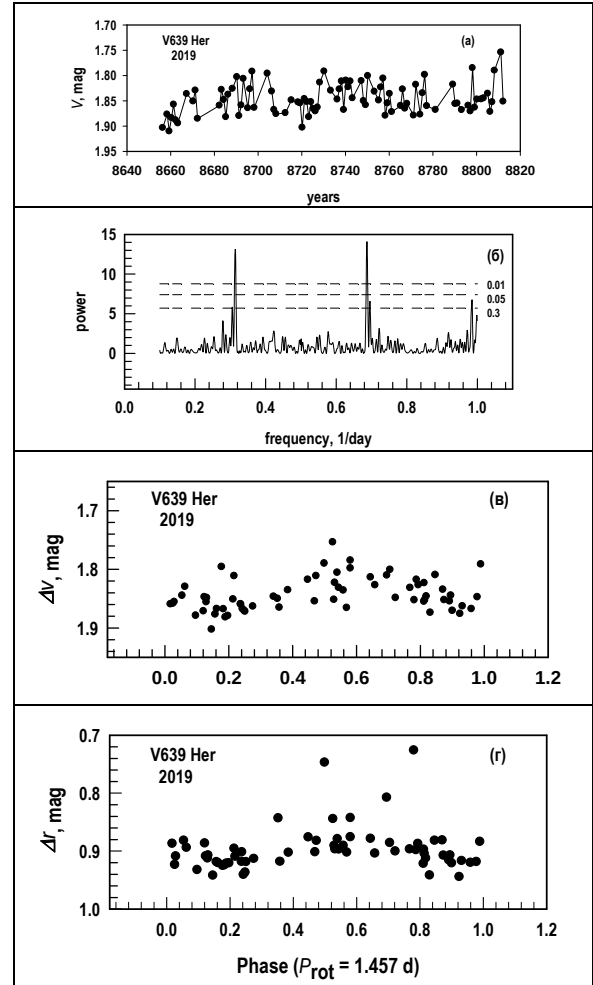


Рис. 2. (а) Ряд средних по дате V-величин; (б) частотный анализ методом Ломба-Скаргля, пик на периодограмме соответствует $P_{\text{rot}} = 1.45$ сут, $\text{FAP}(0.3, 0.05, 0.01)$ отмечены пунктирными линиями; (в, г) свертки в фильтрах V и R с $P_{\text{rot}} = 1.45$ сут.

Наблюдения V639 Her в 2019 г. выполнены в полосах $BV(RI)_c$ с 21 июня по 24 ноября. Описание аппаратуры, методов регистрации и обработки данных приведены в [6]. За 92 ночи наблюдений на интервале 156 дней было получено 280 измерения блеска звезды в каждом фильтре относительно звезды сравнения TYC 2082-2143-1. Звездные величины для звезды сравнения взяты из каталогов TYCHO и USNO-B1. Кривая блеска на рис. 1 представляет усредненные в дату наблюдений величины, определенные относительно звезды сравнения. Результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики блеска относительно звезды сравнения TYC 2082-2143-1.

Фильтр	Среднее значение, mag	σ , mag	Δ mag (min-max)
B	2.592	0.052	0.22
V	1.849	0.023	0.11
R	0.909	0.020	0.08
I	-0.832	0.032	0.17

С наименьшими ошибками получены ряды данных в V и R полосах (рис. 1б,в). По этим рядам выполнен поиск периодических изменений методами Ломба-Скаргля и Лафлера-Кинмана и принято значение периода, равное 1.4576 дней (рис. 2), с которым получены наилучшие свертки в полосах V и R. Рисунки 2(в,г) показывают изменения блеска в видимой и красной области спектра. С уменьшением блеска звезда становится более красной.

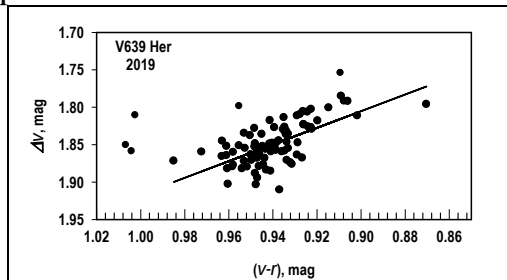


Рис. 3. Изменения блеска и цвета ($v-r$). Коэффициент корреляции $r^2 = 0.45$, $\sigma = 0.022$.

Характер связи между изменением блеска и показателем цвета ($v-r$) рассмотрен на диаграмме на рис. 3. и подтверждается для величин $v - (v-i)$, но практически не прослеживается на диаграмме $v - (v-b)$, что вызвано большими ошибками измерений в В-фильтре и возможным вкладом ярких образований.

Вращательная модуляция блеска

Для изучения характеристик вращательной модуляции блеска и изменений цвета были построены фазовые кривые с элементами $P_{\text{rot}} = 1.4576$ сут, $T_0 = 2458655.8974$. Характеристики вращательной модуляции представлены в таблице 2, фазовые кривые приведены на рис. 4.

Таблица 2. V639 Her. Характеристики вращательной модуляции.

Дата 2019 г.	JD-2450000	Интервал, сут	Фаза минимума	Амплитуда, mag	
				v	$v-r$
21.06 - 02.08	8656 - 8698	42	0.32	0.10	0.03
08.08 - 24.11	8704 - 8812	108	0.22, 0.92	0.07	0.03

На рис. 4а выделены два временных интервала: один длительностью 42 дня, когда амплитуда изменений блеска была максимальной, равной 0.1 mag, и наблюдался один минимум на фазе 0.32, и другой, на интервале 108 дней, когда амплитуда уменьшилась на 30% и наблюдалось два мини-

муму на фазах 0.22 и 0.92. Такой же характер изменений цвета ($v-r$) с периодом вращения показан на рис. 4б. Малоамплитудные периодические изменения блеска и одновременное покраснение звезды у красных карликов свидетельствует о присутствии холодных пятен на ее поверхности.

Изменения амплитуды и фазы минимума являются качественными показателями изменения параметров пятен и их расположения. В июне-июле значительная область запятнания выделяется на одном из полушарий, а в августе-ноябре пятна меньшей площади присутствовали на обеих полусферах звезды. Стабильность параметров пятен и их поверхностное распределение сохраняется около 100 дней.

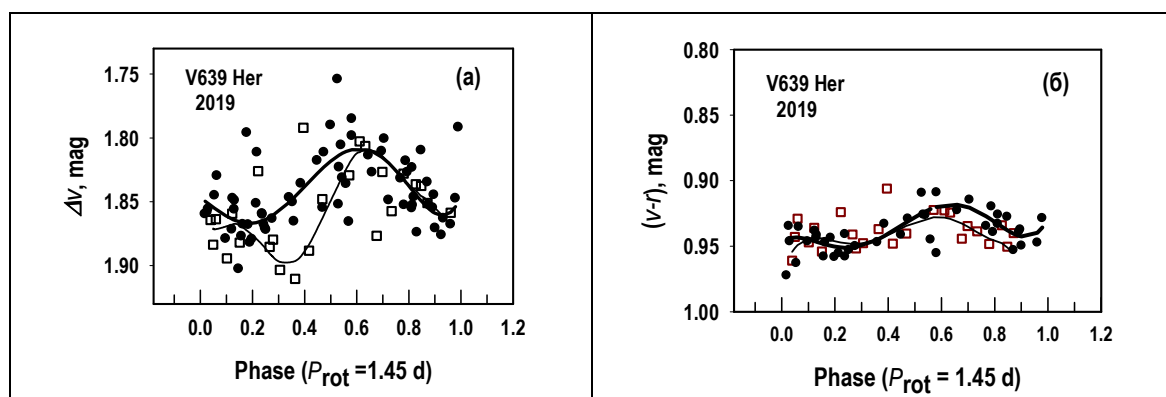


Рис. 4. Вращательная модуляция блеска (а) и цвета ($v-r$) (б) V639 Her в 2019 г. Интервал 21.06–2.08 – квадратики; 8.08–24.11 – кружки. Линии-аппроксимирующие полиномы.

Выводы

По результатам широкополосной фотометрии 2019 г. период вращения V639 Her равен 1.457 дней, что хорошо согласуется со значением, найденным в [4]. С этим периодом происходят изменения блеска и цвета звезды, при уменьшении блеска звезда становится краснее, что свидетельствует о присутствии холодных пятен на ее поверхности. Фазовые кривые показали, что области значительной запятненности в разные эпохи могут присутствовать на одном или на обоих полушариях. Параметры пятен и их поверхностное распределение сохраняются в течение 100 дней.

Литература

1. Quiroga-Nuñez L.H., Intema H.T., Callingham J.R., et al. // *Astron. Astrophys.*, 2020, 633, id.A130, 9 pp.
2. Chabrier G., Baraffe I. // *Astron. Astrophys.*, 1997, 327, 1039.
3. Roques P.E. // *PASP*, 1955, 67, 394, 34.
4. Hartman J. D., Bakos G.A., Noyes R.W., et al. // *Astron. Journ.*, 2011, 141, 166.
5. Pass E.K., Charbonneau D., Irwin I., J.M., Winters J.G. // *ApJ*, 2022, 936:109 (20pp).
6. Bondar' N.I., Antonyuk K.A., Pit' N.V. // *Astrophysics*, 2022, 65, 483.