

# ИЗМЕНЕНИЕ БЛЕСКА И ЦВЕТА МОЛОДОЙ ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ V645 CYG ПО ДАННЫМ ДОЛГОВРЕМЕННЫХ НАБЛЮЖДЕНИЙ

С. Ю. Горда, А. П. Бисярина, А. М. Соболев

*Коуровская астрономическая обсерватория Уральского федерального университета*

Приведены результаты 13-летнего (2009–2022) фотометрического исследования блеска молодой переменной звезды V645 Cyg, являющейся объектом Ae/Be Хербига и расположенной в области активного звездообразования. Наблюдения проводились в оптической части спектра в *VRI* фильтрах. За время наблюдений наряду с кратковременными, хаотическими изменениями блеска V645 Cyg небольшой амплитуды было зафиксировано монотонное увеличение общего блеска системы в полосе *V* на  $\sim 1^m$ , в *R* на  $\sim 1.^m4$  и в *I* на  $\sim 2^m$ , а также увеличение покраснения системы: показатель цвета *V* – *R* увеличился на  $\sim 0.3^m$ , а *R* – *I* на  $\sim 0.6^m$ . Монотонные изменения блеска и цвета V645 Cyg интерпретируются в рамках предположения об уменьшении оптической толщины газопылевого кокона в направлении на звезду и увеличения видимости нагретых излучением звезды областей газопылевой оболочки.

## CHANGES IN THE BRIGHTNESS AND COLOR OF YOUNG VARIABLE STAR V645 CYG FROM LONG-TERM OBSERVATIONS

S. Yu. Gorda, A. P. Bisyarina, A. M. Sobolev

*Kourouka observation of the Ural Federal University*

This paper presents the results of a 13-year (2009–2022) photometric study of the brightness of the young variable star V645 Cyg, which is a Herbig Ae/Be object located in a region of active star formation. Observations were carried out in the optical part of the spectrum in *VRI* filters. During the observation period, we found, along with short-term, chaotic changes in the V645 Cyg brightness of small amplitude, a monotonous increase in the total brightness of the system in the *V* band by  $\sim 1^m$ , in *R* by  $\sim 1.^m4$ , and in *I* by  $\sim 2^m$ , as well as an increase in the reddening of the system: color index *V* – *R* increased by  $\sim 0.3^m$  and *R* – *I* by  $\sim 0.^m6$ . The monotonous changes in the brightness and color of V645 Cyg are interpreted as a decrease in the optical depth of the gas-dust cocoon towards the star and relevant increase in the visibility of regions of the star and its immediate vicinity.

## Введение

Переменность V645 Cyg была открыта Хоффмейстером, Рольфс и Анертом в 1950 г. [1]. Несмотря на общее мнение, что V645 Cyg — молодой звездный объект, до сих пор нет единого мнения о его физических параметрах. Согласно одному из недавних исследований, V645 Cyg [2] — это молодая массивная звезда главной последовательности В-типа, которая уже прошла стадию протозвездной аккреции и освобождается от своего газопылевого кокона. Такие молодые звездные объекты редки, потому что они довольно массивны и быстро эволюционируют. Они обычно глубоко погружены в пылевую оболочку, и их излучение проявляется себя лишь в инфракрасном диапазоне [3]. V645 Cyg — один из немногих объектов такого класса, видимый в оптике. Одной из причин этого является ориентация плоскости околос звездного диска, практически совпадающая с картинной плоскостью [2, 4].

Исследование изменений блеска V645 Cyg проводилось в основном в ИК-диапазоне. Имеются только два ряда наблюдений в оптическом диапазоне, это самые первые фотографические наблюдения Хофмейстера и др. [1] 50-х гг. прошлого века и Шевченко и др. [5] 1985—2000 гг. В работе Мирошниченко и др. [2] на основе анализа фотометрических данных Шевченко и др. [5], полученных в *UBVR* — фильтрах на Майданакской обсерватории, указывается на возможное наличие 8-летнего периода переменности блеска звезды в оптическом диапазоне со средней амплитудой в цвете  $V \sim 0.6^m$  и снижение блеска в инфракрасном диапазоне на временах порядка 20 лет. Поскольку фотометрические наблюдения V645 Cyg в оптическом диапазоне проводились очень редко, а последние из них датируются 2000 г., то проведение новых наблюдений было крайне полезно, хотя бы в плане подтверждения периодического изменения блеска, обнаруженного Мирошниченко и др. [2].

## Фотометрия V645 Cyg в Коуровской обсерватории

Фотометрическое исследование переменной V645 Cyg, проводилось в течение 111 ночей с апреля 2009 по декабрь 2018 г. на телескопе-рефлекторе АЗТ-3 ( $D = 0.45$  м,  $F = 2.0$  м), а с декабря 2018 по апрель 2022 г. — на телескопе AstroSib 500RC ( $D = 0.5$  м,  $F = 4.0$  м) Коуровской астрономической обсерватории Уральского федерального университета. Наблюдения проводились в фильтрах *VRI*, реализующих систему, близкую к системе Джонсона — Казинса, с использованием ПЗС-камер Alta U6 фирмы Apogee с чипом Kodak KAF-1001E ( $1024 \times 1024$ , 24 мкм) и с 2015 г. PL A230 фирмы FLI с чипом E2V CCD230-42 ( $2048 \times 2048$ , 15 мкм). В качестве звезд сравнения и контрольной звезды в непосредственной близости от переменной были выбраны две звезды UCAC-3-281-203713 ( $m_v = 12.60^m$ ) и UCAC-3-281-203646 ( $m_v = 12.22^m$ ), соответственно.

После проведения фотометрической обработки, включающей в себя операции вычитания темновых кадров, деления на кадры плоского поля и определения блеска звезд методом апертурной фотометрии, было получено 111 усредненных за ночь значений разностей блеска V645 Cyg и звезды сравнения в фильтре *V*, 96 значений в фильтре *R* и 58 значений в фильтре *I*. Размер апертуры выбирался таким образом, чтобы включить в себя все излучение в целом ассоциирующееся с V645 Cyg в данном фильтре (включая видимые диффузные структуры).

Наряду с изменениями блеска V645 Cyg с амплитудами от нескольких сотых до десятых долей звездной величины на интервалах времени от суток до нескольких месяцев, на всем протяжении наших наблюдений, порядка 13 лет, наблюдался систематический рост блеска звезды. За это время среднее значение блеска V645 Cyg в фильтре *V* выросло на  $\sim 1.0^m$ , в фильтре *R* на  $\sim 1.4^m$  и в фильтре *I* на  $\sim 2.0^m$ . Одновременно с увеличением блеска наблюдалось и покраснение звезды. Так, за весь период наблюдений значение показателя цвета  $V - R$  увеличилось на  $\sim 0.3^m$ , а  $R - I$  — на  $\sim 0.6^m$ . В качестве примера кривые изменения блеска V645 Cyg в фильтре *V* и показателя цвета  $V - R$  за весь период наблюдений в Коуровской обсерватории приведены на рис. 1 и 2, соответственно. Изменение блеска в оптическом диапазоне в пределах  $\sim 0.5^m$  наблюдалось и ранее в данных, полученных Шевченко и др. [5] (см. работу Мирошниченко и др. [2]). Однако в той же работе отмечается, что показатели цвета  $V - R$ , а также  $B - V$  и  $U - B$  оставались стабильным в пределах  $0.1^m$ , что существенно меньше амплитуды изменения значений, полученных по наблюдениям в Коуровской обсерватории. Также нами не было обнаружено какой-либо цикличности в изменениях блеска V645 Cyg, тем более с периодом 8 лет, которая найдена Мирошниченко и др. [2] в наблюдениях Шевченко и др. [5].

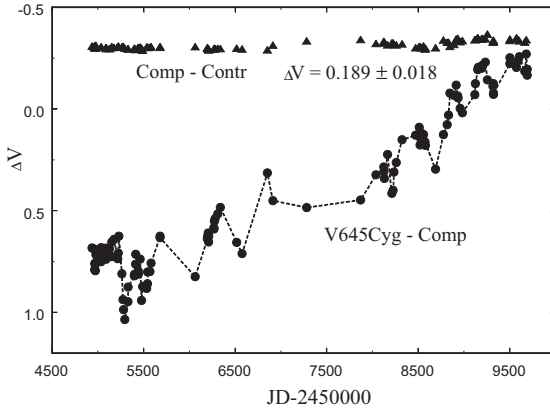


Рис. 1. Кривая изменения блеска V645 Cyg в фильтре V — кружки и разностей блеска звезд сравнения и контрольной — треугольники. В верхней части рисунка приведено усредненное за весь период наблюдений значение разностей блеска звезды сравнения и контрольной звезды, а также значение средней квадратичной ошибки

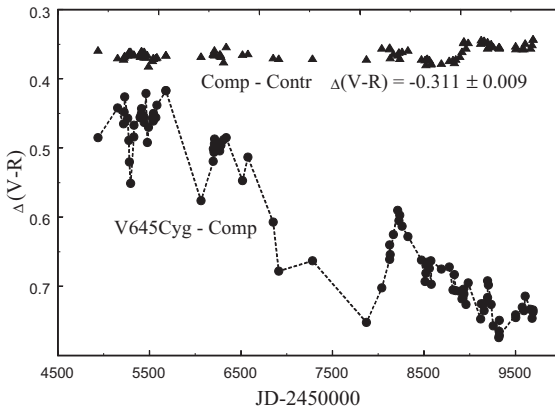


Рис. 2. Кривая изменения разностей показателей цвета V – R V645 Cyg и звезды сравнения. Обозначения те же, что на рис. 1

## Заключение

На основе результатов данного ряда наблюдений можно сделать определенные заключения о причинах изменений блеска и цвета V645 Cyg. Так, наблюдаемые изменения излучения и цвета могут быть обусловлены изменением угла наклона плоскости диска за счет прецессионного вращения, в процессе которого горячие структуры во внутренней области диска оказываются в большей степени видны наблюдателю. Другой возможной причиной, объясняющей переменность в оптике может быть дальнейшее рассеивание газопылевого кокона, окружающего звезду, в результате которого излучение из внутренних, нагретых излучением звезды, областей пылевой оболочки становится в большей степени видно наблюдателю. Более подробную информацию можно найти в нашей работе [6].

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, тема FEUZ-2023-0019.

## Библиографические ссылки

- [1] *Hoffmeister Cuno, Rohlfs Eva, Ahnert Paul.* Die veraenderlichen Sterne der noerdlichen Milchstrasse Teil VI // Veröffentlichungen der Sternwarte Sonneberg. — 1951. — Vol. 5. — P. 413–498.
- [2] *Miroshnichenko A. S., Hofmann K. H., Schertl D. et al.* A new spectroscopic and interferometric study of the young stellar object V645 Cygni // *Astron. Astrophys.* — 2009. — Vol. 498, № 1. — P. 115–126.
- [3] *Zinnecker Hans, Yorke Harold W.* Toward Understanding Massive Star Formation // *Ann. Rev. Astron. Astrophys.* — 2007. — Vol. 45, № 1. — P. 481–563.
- [4] *Val'ts Irina E., Slysh Viacheslav I., Voronkov Maksim A., Migenes Victor.* A Protoplanetary Disk in V645 Cyg As Seen with H<sub>2</sub>O and Methanol Masers // *Exotic Stars as Challenges to Evolution: Astronomical Society of the Pacific Conference Series* / ed. by Christopher A. Tout, Walter van Hamme : Astronomical Society of the Pacific Conference Series. — 2002. — Vol. 279. — P. 279.
- [5] *Shevchenko V. S., Grankin K. N., Ibragimov M. A. et al.* Periodic Phenomena in Ae/be Herbig Stars Lightcurves - Part One - Lightcurves Classification and Digital Analysis Methods // *Astrophys. Space. Sci.* — 1993. — Vol. 202, № 1. — P. 121–136.
- [6] *Gorda S. Yu., Bisyarina A. P., Sobolev A. M., Parfenov S. Yu.* Long-term brightness and color variations of the young variable star V645 Cyg // *Peremennye Zvezdy.* — 2022. — Vol. 42, № 11. — P. 87–105.