

БЫСТРАЯ ПЕРЕМЕННОСТЬ СИМБИОТИЧЕСКИХ ЗВЕЗД CSS 1102 И DQ SER

Н. А. Масленникова, А. А. Татарникова, А. М. Татарников
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Представлены результаты наблюдений малоизученных звезд CSS 1102 и DQ Ser. Анализ спектров позволил классифицировать CSS 1102 как симбиотическую звезду. Система состоит из холодного компонента — циркониевой звезды спектрального класса S4.5/2, горячего компонента с $40\,000 < T_{hot} < 55\,000$ К и туманности. Фотометрические наблюдения показали наличие быстрой переменности с характерным временем десятки минут в полосе B у обеих систем. Быстрая переменность у DQ Ser была обнаружена впервые, для CSS 1102 наши наблюдения подтвердили предположение о наличии такой переменности.

RAPID VARIABILITY OF THE SYMBIOTIC STARS CSS 1102 AND DQ SER

N. A. Maslennikova, A. A. Tatarnikova, A. M. Tatarnikov
Lomonosov Moscow State University

The results of observations of poorly studied stars CSS 1102 and DQ Ser are presented. According to the analysis of spectra, CSS 1102 was classified as a symbiotic star. The system consists of a cold component that is a zirconium star of spectral type S4.5/2, a hot component with $40\,000 < T_{hot} < 55\,000$ K, and a nebula. Photometric observations in the B band showed the existence of a rapid variability in both systems. For the first time, the rapid variability of DQ Ser was detected. Our observations of CSS 1102 confirmed the existence of the effect.

Введение

Симбиотические звезды — это особый класс взаимодействующих двойных систем, в спектрах которых наряду с линиями и полосами поглощения, характерными для холодных звезд (например, TiO), присутствуют эмиссионные линии, характерные для спектров планетарных туманностей (например, [OIII], [NeIII]).

Быстрая переменность блеска (фликкер-эффект) — очень редкое явление у симбиотических звезд, всего известно около десяти систем, демонстрирующих этот тип переменности. Но даже такое небольшое количество симбиотических звезд можно разделить на два подкласса с различными характеристиками переменности и физическими механизмами, вызывающими эту переменность: 1) небольшие амплитуды и узкие пики на периодограмме характерны для фликкер-эффекта типа промежуточных поляров (например, Z And $P = 28$ мин, $\Delta m_B = 2$ mmag); 2) большие амплитуды и широкий спектр мощности по полосе частот указывают на переменность, связанную с наличием в системе аккреционного диска (например, T CrB, RS Oph, CN Cyg).

В данной работе представлены результаты фотометрических и спектральных наблюдений малоизученных объектов, демонстрирующих быструю переменность: S-звезды CSS 1102 и симбиотической звезды DQ Ser.

CSS 1102 — малоизученный объект, включенный в общий каталог галактических S-звезд [1]. По данным AAVSO, видимый блеск меняется в диапазоне 12.6–13^m в полосе V .

CSS 1102 — кандидат [2] в симбиотические звезды с июня 2020 г. Также у нее было заподозрено наличие быстрой переменности блеска.

DQ Ser — малоизученная симбиотическая звезда [3]. В Общем каталоге переменных звезд-5.1 [4] отмечена как малоизученная медленная неправильная переменная (тип L), блеск которой изменяется в диапазоне 13.9–16.0^m.

Целью нашей работы является классификация CSS 1102 и определение параметров быстрой переменности у CSS 1102 и DQ Ser.

Анализ наблюдений

Фотометрические наблюдения CSS 1102 проводились 1.09.2020, 27.10.2020 и 10.07.2021 на 60-сантиметровом телескопе КГО ГАИШ МГУ в полосах *BVRcIc*, точность единичной оценки блеска лучше 0.01^m. Помимо многоцветных оценок блеска 1.09.2020 и 10.07.2021 были проведены мониторинги звезды в течение 75 и 125 мин в полосе *B* для поиска быстрой переменности. Фотометрические мониторинги DQ Ser в полосе *B* проводились на 60-сантиметровом телескопе Крымской астрономической станции ГАИШ МГУ 1.10.2021 и на 60-сантиметровом телескопе КГО ГАИШ МГУ 21.10.2021 и 27.10.2021. Также в КГО 6.11.2021 была проведена многоцветная фотометрия в полосах *BVRcIc* для оценки блеска DQ Ser. Спектральные наблюдения CSS 1102 проводились с помощью спектрографа TDS [5] на 2.5-метровом телескопе в КГО ГАИШ МГУ 31.08.2020 и 28.10.2020 с целью 1". Также наблюдался спектр S-звезды HD 64332 для моделирования холодного компонента CSS 1102. Все спектры были приведены к барицентру Солнечной системы и скорректированы за межзвездное поглощение.

Блеск CSS 1102 между 01.09.2020 и 10.07.2020 в полосах *B*, *V*, *Rc* изменился примерно на 0.2^m, в полосе *Ic* — на 0.08^m. Блеск DQ Ser 6.11.2021 составил в полосе *B* — 15.476 ± 0.005^m, в *V* — 14.088 ± 0.014^m, в *R* — 12.819 ± 0.005^m, в *I* — 11.363 ± 0.003.

Определение характерного времени быстрой переменности проводилось с помощью Фурье-анализа и вейвлет-анализа (его аппарат разработан А. Гроссманом и Дж. Морле [6]). Быстрая переменность блеска имеет небольшую относительную амплитуду и иногда несколько характерных времен, поэтому при усреднении по всей кривой блеска спектральная плотность мала. Для более уверенного выделения характерного времени сначала оно оценивалось с помощью вейвлет-преобразования, а затем уточнялось с помощью дискретного преобразования Фурье. В вейвлет-преобразовании использовался гладкий базисный вейвлет «Мексиканская шляпа», который описывается функцией $\psi(x) = (x^2 - 1)e^{-\frac{x^2}{2}}$.

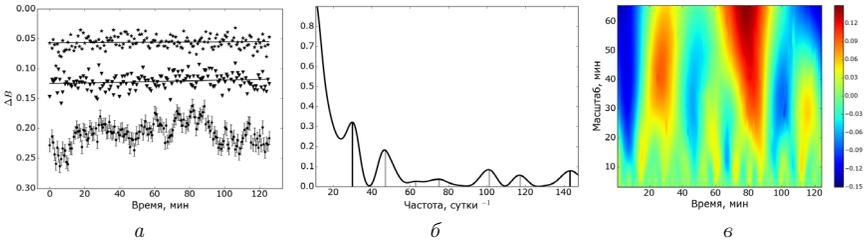


Рис. 1. Кривые блеска в полосе *B* CSS 1102 (точки) и контрольных звезд (звездочки и треугольники) (а); спектр мощности (черные вертикальные линии — характерные времена быстрой переменности, серые — ложные периоды) (б) и спектр коэффициентов вейвлет-преобразования по данным мониторинга 10.07.2021 (в)

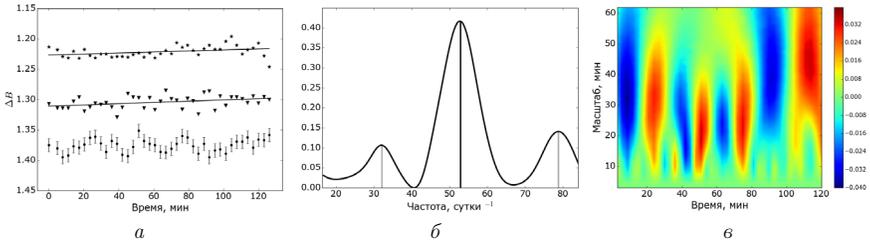


Рис. 2. Кривые блеска в полосе B DQ Ser (точки) и контрольных звезд (звездочки и треугольники) (a); спектр мощности (черная вертикальная линия — характерное время быстрой переменности, серые — ложные периоды) (b) и спектр коэффициентов вейвлет-преобразования по данным мониторинга 21.10.2021 (c)

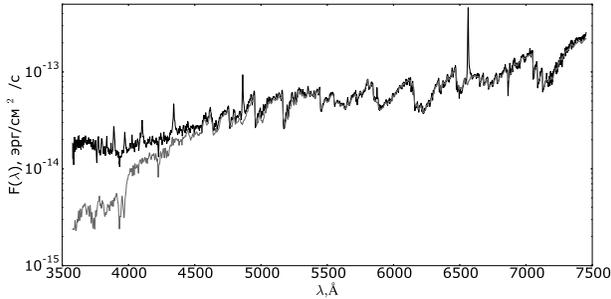


Рис. 3. Спектры CSS 1102 (черная линия) и HD 64332 (серая линия), скорректированные за межзвездное покраснение

По данным мониторинга CSS 1102 01.09.2020, характерное время изменения блеска составило 35–40 мин. Характерная амплитуда быстрой переменности блеска составляла 0.04 – 0.05^m . Кривая блеска CSS 1102, полученная 10.07.2021, показана на рис. 1, a . Характерное время быстрой переменности составило 48 и 10 мин, характерная амплитуда — 0.04 и 0.02^m соответственно (на рис. 1, b представлен спектр мощности Фурье-преобразования, на рис. 1, c — спектр коэффициентов вейвлет-преобразования). Таким образом, значительные амплитуды и широкий спектр мощности по полосе частот показывают, что быстрая переменность CSS 1102 связана с аккреционным диском.

Наличие быстрой переменности блеска у DQ Ser было заподозрено по данным мониторинга 1.10.2021, но недостаточно высокая точность измерений не позволила определить ее параметры. По данным мониторинга в полосе B 21.10.2021 (рис. 2, a) характерное время изменения блеска составило 27 мин, характерная амплитуда 0.018^m . Спектр мощности преобразования Фурье и спектр коэффициентов вейвлет-преобразования представлены на рис. 2, b и c соответственно. 27.10.2021 было найдено два характерных времени быстрой переменности — 50 и 10–15 мин, характерная амплитуда 0.013 и 0.009^m соответственно.

На рис. 3 представлены спектры CSS 1102 и S-звезды HD 64332 спектрального класса S4.5/2. Сравнивая их SED, можно предположить, что холодный компонент CSS 1102 также относится к звездам S4.5/2 ($T_{eff} \approx 3400$ K). В спектре хорошо видны молекулярные полосы ZrO, TiO и полоса YO (6132 \AA). Такой спектр свидетельствует о том, что красный гигант находится на стадии обогащения своей атмосферы элементами s-процесса. Линей-

чатый эмиссионный спектр CSS 1102 содержит мало линий. Преобладают линии бальмеровской серии водорода. Бальмеровский декремент ($\frac{H_{\gamma}}{H_{\beta}} = 0.42 \pm 0.08$, $\frac{H_{\delta}}{H_{\beta}} = 0.29 \pm 0.09$) указывает, что в CSS 1102 водородные линии образуются в туманности. В спектре также присутствуют линии HeI и слабые запрещенные линии [NeIII], подтверждающие предположение о симбиотической природе объекта. К сожалению, в спектре нет линий ионов с высокими потенциалами ионизации (например, HeII 4686 Å), поэтому для температуры горячего компонента можно дать только грубую оценку $40\,000 < T_{hot} < 55\,000$ К [7].

Заключение

Согласно спектральным наблюдениям, полученным на 2.5-метровом телескопе в КГО ГАИШ МГУ 31.08.2020 и 28.10.2020, CSS 1102 является симбиотической звездой. Система состоит из холодного компонента — циркониевой звезды спектрального класса S4.5/2, горячего компонента с $40\,000 < T_{hot} < 55\,000$ К и туманности.

Фотометрические наблюдения в полосе *B* выявили наличие быстрой переменности блеска у CSS 1102. 1.09.2021 и 10.07.2021, характерное время быстрой переменности составляло около 40 мин, характерная амплитуда 0.04^m ; 10.07.2021 в спектре мощности сигнала также наблюдался дополнительный пик около 10 мин, амплитуда составляла 0.02^m . Таким образом, быстрая переменность блеска CSS1102, вероятно, связана с аккреционным диском.

По данным наблюдений DQ Ser, в полосе *B* у нее была открыта быстрая переменность блеска, что, вероятно, указывает на наличие у этой системы фликкер-эффекта, который встречается у весьма небольшого числа симбиотических звезд; 21.10.2021 характерное время изменения блеска составило 27 мин, характерная амплитуда 0.018^m ; 27.10.2021, было найдено два характерных времени быстрой переменности — 50 и 10–15 мин, характерная амплитуда 0.013 и 0.009^m .

Библиографические ссылки

- [1] *Stephenson C. B.* A general catalogue of S stars // Publications of the Warner & Swasey Observatory. — 1984.
- [2] *Waagen Elizabeth O.* Light curves for symbiotic star ASAS J190559-2109.4 // AAVSO Alert Notice. — 2020. — Vol. 719. — P. 1.
- [3] *Cieslinski D., Steiner J. E., Elizalde F., Pereira M. G.* Identification of DQ Serpentis and DT Serpentis as symbiotic stars // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. — 1997. — Vol. 124. — P. 57–60.
- [4] *Samus N. N., Kazarovets E. V., Durlевич O. V. et al.* General Catalogue of Variable Stars: Version GCVS 5.1 // Astr. Rep. — 2017. — Vol. 61, iss. 1. — P. 80–88.
- [5] *Potansin S. A., Belinski A. A., Dodin A. V. et al.* Transient Double-Beam Spectrograph for the 2.5-m Telescope of the Caucasus Mountain Observatory of SAI MSU // Astr. Let. — 2020. — Vol. 46, iss. 12. — P. 836–854.
- [6] *Grossmann A., Morlet J.* Decomposition of Hardy Functions into Square Integrable Wavelets of Constant Shape // SIAM Journal on Math. Analysis. — 1984. — Vol. 15. — P. 723.
- [7] *Murset U., Nussbaumer H.* Temperatures and luminosities of symbiotic novae // Astron. and Astrophys. — 1994. — Vol. 282. — P. 586–604.