АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ BE CETI – АНАЛОГА МОЛОДОГО СОЛНЦА

Бондарь Н.И.¹, Кацова М.М.²

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия*

²*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского Государственного Университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

ACTIVITY IN THE YOUNG SOLAR ANALOG BE CETI

Bondar' N.I.¹, Katsova M.M.²

¹*Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Russia*

²*Sternberg State Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia*

BE Cet is a young solar analog with an age of 0.6 Gyr and a rotation period of 7.655 d. According to chromospheric and photospheric indices its activity is higher than the solar one. Analysis of photometric data on the time interval between 1977 and 2019 shows the presence of only 6.76-yr cyclic variations in the mean brightness with an amplitude of 0.02^m . The obtained cycle is 1–2 yr shorter than the known chromospheric cycle, whose length was found to be 9 yr or 7.6 yr, and its parameters, A_{cyc} and P_{cyc} , could change slightly in different epochs. The short-term light variations due to rotational modulation occur with an increase in amplitude up to 0.05^m near the brightness maximum and a decrease in the minimum. Some events of a rapid and short-time increase in brightness of 0.2–0.6 mag may be considered as flares, but to study flare processes, regular observations are required.

DOI: 10.31725/0552-5829-2021-59-62

Введение

Изучение активности звезд солнечного типа и её особенностей у молодых объектов и превосходящих возраст Солнца важно для понимания эволюции активности и решения сопутствующих задач, в том числе, прогнозирования уровня активности. По своим физическим параметрам и фотометрическим показателям звезда BE Cet ($V = 6.39$) является близким к нам ($d = 20.4$ пк) молодым аналогом Солнца, её возраст около 600 млн лет [1–4]. Хромосферная активность звезды изучалась с 1966 г. в рамках НК проекта [5] и продолжает изучаться в современных обзорах линий Ca II H&K у звезд MW (Mount Wilson) программы. Значение $\langle S \rangle$ -индекса BE Cet равно 0.35, в 2 раза больше, чем у Солнца. Изменения S -индекса звезды происходят циклически, выделены основной цикл 9 лет и многолетний тренд 22 года [5, 6]. По 36-летним данным в [7] отмечено присутствие основного цикла 7.6 лет, несколько коротких циклов, от 2 до 5 лет, и многолетний тренд. Возрастание S -индекса сопровождается уменьшением яркости BE Cet, что свойственно молодым звездам с высоким уровнем активности, в то время как у Солнца и близких по возрасту звёзд наблюдается корреляция между S -индексом и изменением полного потока [8]. Поиск

циклов, обусловленных развитием холодных фотосферных пятен, выполнен только по фотометрии 1986–2000 гг. [9]. Авторы обнаружили малоамплитудный цикл 6.7 года и отметили отсутствие других циклов.

В настоящей работе приведены результаты поиска циклов по коллекции данных с 1977 по 2019 гг., обсуждаются стабильность параметров цикла, проявления быстрой переменности – вращательная модуляция блеска и кратковременные его повышения как свидетельства вспышечной активности.

Циклическая переменность фотосферной активности

Фотометрический ряд, рассмотренный в [9], покрывает 14-летний интервал. Полученные авторами выводы о цикле 6.7 лет и отсутствии 22-летнего тренда отличаются от результатов многолетних исследований хромосферной активности [5–7]. Для уточнения, не обусловлены ли эти различия длительностью фотометрического ряда и изучения стабильности

цикла 6.7 лет, мы сформировали новый ряд на интервале с 1977 г. по 2019 г., используя данные о блеске звезды с 2002 г. по 2009 г. из фотометрического каталога All-Sky Automated Survey (ASAS) [10] и за 2010–2019 гг. из каталога Kamogata Wide-field Survey (KWS) [<http://kws.cetus-net.org/~maehara/VSdata.py>], а также полученные в 1977–1978 гг. [11]. Поиск цикла выполнен по рядам сезон-

ных значений блеска методами Хартли и Скаргля по программе AVE [<http://www.gea.cesca.es>]. На рис. 2 циклы представлены полиномами 6-й степени, проведенным по усредненным значениям сезонного блеска в бинах 0.05 фазы цикла на всём интервале исследования и в выделенные эпохи.

Мы рассмотрели, можно ли считать значение ± 0.7 [9] совпадающим с новым значением.

Рис. 2. Циклические изменения фотосферной активности. Слева – цикл 6.76 лет (жирная линия), определенный на интервале 1977–2019 гг., и его проявление в 1977–2000 гг. (тонкая линия) и 2002–2019 гг. – точки. Справа жирной линией показан цикл 6.7 лет в 1977–2000 гг., точками – в 2002–2019 гг. Чёрточки отмечают ошибки усредненных в бинах сезонных значений блеска.

На рис. 2 видно отличие свёрток с $P_{\text{сис}} = 6.7$ лет в 1977–2000 гг. и в 2002–2019 гг. – сдвиг фазы максимума цикла и различие амплитуды. Найденный нами по всему ряду цикл 6.76 лет обнаруживается и на указанных интервалах. Амплитуда цикла $A_{\text{сис}} = 0.02^m$. Фотометрические данные 1977–2000 гг. полу-

чены с большей точностью, чем данные каталогов, поэтому проблема стабильности параметров цикла остается для рассмотрения по равноточным данным.

Вращательная модуляция блеска и возможные вспышки

Амплитуда вращательной модуляции является входным параметром для моделирования запятнённости поверхности звезды. Вращательная модуляция рассмотрена нами по наиболее плотным данным каталога KWS (рис. 3а). Фазовые кривые построены с периодом вращения 7.655 дней [11] для интервалов вблизи минимума 2014 г. и максимума блеска в 2018 г.

Рис. 3. Быстрая переменность блеска BE Cet по данным KWS (а), амплитуда вращательной модуляции в разные эпохи активности (б), возможные вспышки (с).

Амплитуда вращательной модуляции при выходе к максимуму блеску составляет 0.05^m , а в минимуме уменьшается до 0.03^m , что указывает на более равномерное распределение пятен в эту эпоху (рис. 3b). В сериях наблюдений на рис. 3с отмечены кратковременные повышения блеска, однако патрульные наблюдения лишь позволяют обратить внимание на эти события, как на возможные вспышки, но не дают информации об их профиле и длительности. В обоих случаях повышение блеска $\Delta V = \langle V \rangle - V_{\max}$ на 0.2^m и 0.6^m подтверждается несколькими измерениями, максимальное поярчение, представленное одним измерением, отнесено к случайному. Отметим также, что вспышки появляются вне фазы минимума, т.е. в областях, удаленных от холодных пятен.

Обсуждение и выводы

Согласно показателям хромосферной и фотосферной активности звезда BE Cet, аналог молодого Солнца в возрасте 600 млн лет, относится к группе звёзд с более высоким уровнем активности, чем у современного Солнца. В отличие от Солнца, у звезды длительность цикла хромосферной активности на 1–2 года длиннее, чем цикл вариаций блеска 6.76 лет, обусловленных развитием пятен. Амплитуда цикла $A_{\text{сyc}} = 0.02^m$, что указывает на порядок большую степень запятнённости фотосферы, чем у Солнца. Параметры фотосферного цикла могут меняться, стабильность цикла требует дальнейшего изучения.

Амплитуда вращательной модуляции возрастает до 0.05^m в эпохи минимума активности (приближения к максимуму блеска). Отмечены также случаи кратковременного увеличения яркости звезды, возможно оптические вспышки, которые могут быть уверенно обнаружены при регулярном мониторинге.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ, проект №19-02-00191.

Литература

1. Eggen O.J. // MNRAS, 1960, 120, 540.
2. Hardorp J. // AA, 1978, 63, 383.
3. Cayrel de Strobel G., Knowles N., Hernandez G., Bentolila C. // AA, 1981, 94, 1.
4. Gutispoto G., Messina S., Rodono M. // AA, 2003, 400, 659.
5. Baliunas S. L., Donahue R.A., Soon W.H., et al. // ApJ, 1995, 438, 269.
6. Boro Saikia S., Lüftinger T., Folsom C.P., et al. // AA, 2018, 620, id.L11, 12 pp.
7. Oláh K., Kóvári Zs., Petrovay K., et al. // AA, 2016, 590, A133.
8. Radick R.R., Lockwood G.W., Ski B.A., Baliunas S.L. // ApJS, 1998, 118, 239.
9. Messina S., Guinan E.F. // AA, 2002, 393, 225.
10. Pojmanski G. // ActAstron., 1997, 47, 467.
11. Chugainov P.F. // IzKry., 1980, 61, 127.