

АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ β SCL ПО НАБЛЮДЕНИЯМ КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА TESS

И.С.САВАНОВ

Поступила 25 апреля 2019

Принята к печати 13 сентября 2019

Выполнено исследование вращательной и вспышечной активности химически пекулярной звезды B9.5IIIpHgMnSi β Scl по данным архива космической миссии TESS. На кривой блеска звезды хорошо видны проявления вращательной модуляции блеска, а также две вспышки, которые обладают структурой, характерной для вспышек звезд позднего спектрального класса - резкий подъем, пик, стадия затухания. На построенном спектре мощности имеется пик, соответствующий периоду вращения 1.91 ± 0.09 суток. По стандартной методике, принятой при анализе вспышечной активности звезд по наблюдениям космического телескопа Кеплер и миссией TESS, найдена энергия излучения в двух вспышках. Энергия, излученная в первой вспышке, оказалась равной $3 \cdot 10^{36}$ эрг, а во второй - $4.5 \cdot 10^{35}$ эрг. Найденные нами величины находятся в согласии с литературной оценкой для первой вспышки. Обсуждаются аргументы в пользу и против того, что вспышки произошли на β Scl, а не на возможном компаньоне на угловом расстоянии в 0.641 угл. с.

Ключевые слова: *звезды: фотометрия: переменность: активность: пятна: вспышки*

1. *Введение.* Основная цель работы космической миссии TESS [1] состоит в обнаружении и исследовании экзопланет. Кроме того, полученные TESS данные позволяют проводить широкий круг астрофизических исследований, в том числе изучение вращения и активности звезд различных спектральных классов. В ряде исследований содержатся результаты анализа кривых блеска горячих звезд (спектральных классов A-B и O). Авторами [2] были получены предварительные результаты анализа первых наблюдений (сектора 1 и 2) продолжительностью 55 суток. Позднее, в [3] была представлена классификация объектов первых сетов наблюдений по типам переменности, включая выделение звезд, обладающих вращательной модуляцией блеска. Особый интерес к этому типу объектов обусловлен тем, что вращательная модуляция напрямую связана с их поверхностными неоднородностями (пятнами) и дает возможность провести высокоточные определения периода вращения (P).

Указанные обстоятельства и обнаружение вспышечной активности ряда объектов требуют более углубленного изучения физики явлений, происходящих

в верхних слоях атмосфер В и А звезд. Обзор результатов исследований активности звезд спектрального класса А по наблюдениям космического телескопа Кеплер можно найти в статьях Балона (см., ссылки в [3]) и в наших публикациях (см., например, [4]).

Нами был выполнен анализ одного объекта, рассмотренного авторами [3] - β Scl (HR 8937, HD 221507), который является яркой ($U=3^m.92$, $B=4^m.28$, $V=4^m.37$), химически пекулярной звездой В9.5IIIp HgMnSi класса. Параллакс β Scl составляет 17.9406 ± 0.4534 mas, она обладает высоким собственным движением. Данные приведены согласно базе данных simbad.u-strasbg.fr и архиву GAIA DR2.

Вопрос о двойственной природе β Scl до конца не решен [5]. По результатам исследований переменности лучевой скорости и эквивалентных ширин спектральных линий Hg, Mn и Y, авторами [6] был найден период ее вращения - $P=1.93$ суток. Авторы [7] по линиям Y II установили присутствие у β Scl слабого магнитного поля $\langle Bz \rangle = 78 \pm 25$ Гс, причем только по линиям Mn II величина поля составила 75 ± 23 Гс.

2. Описание наблюдений и их обработка. Как и в [2,3] для β Scl мы использовали данные из архива космической миссии TESS (сектор 1 и сектор 2), полученные с временным разрешением в 2 минуты. Обработка данных была аналогичной проводимой нами ранее при анализе данных из архива космического телескопа Кеплер (см., например, [8]).

На рис.1a представлена кривая блеска β Scl. Хорошо заметны периодическая модуляция блеска и события во временном интервале 1356-1357 сут., которые можно характеризовать как вспышки (рис.1c). Несмотря на малую величину фотометрической переменности блеска этого объекта (порядка сотых долей процента), высокоточные наблюдательные данные телескопа TESS позволяют надежно судить о периодичности изменений блеска, открытых в [3]. Согласно этому источнику, период вращения β Scl составляет 1.916 сут. (0.522 day^{-1}). На построенном нами спектре мощности (рис.1b) имеется пик $P=1.91 \pm 0.09$ сут.

Звезда β Scl входит в число трех объектов, у которых в [3] были открыты вспышки. При этом в [3] упоминается лишь одна вспышка, энергия которой оценивается равной порядка 10^{36} эрг. На рис.1c хорошо видны две вспышки, которые обладают структурой, характерной для вспышек звезд позднего спектрального класса - резкий подъем, пик, стадия затухания. Нет никаких сомнений в достоверности вспышек, поскольку на профиль каждой из них приходится несколько десятков измерений. Других вспышек обнаружено не было.

Энергия излучения во вспышке была вычислена нами по стандартной методике, принятой при анализе вспышечной активности звезд по наблюдениям космического телескопа Кеплер [9]. Данная методика уже неоднократно

использовалась для определений энергетики вспышек звезд по наблюдениям миссии TESS с учетом изменения полосы пропускания TESS - см., например, описание в [10], в котором вспышка характеризуется чернотельным излучением.

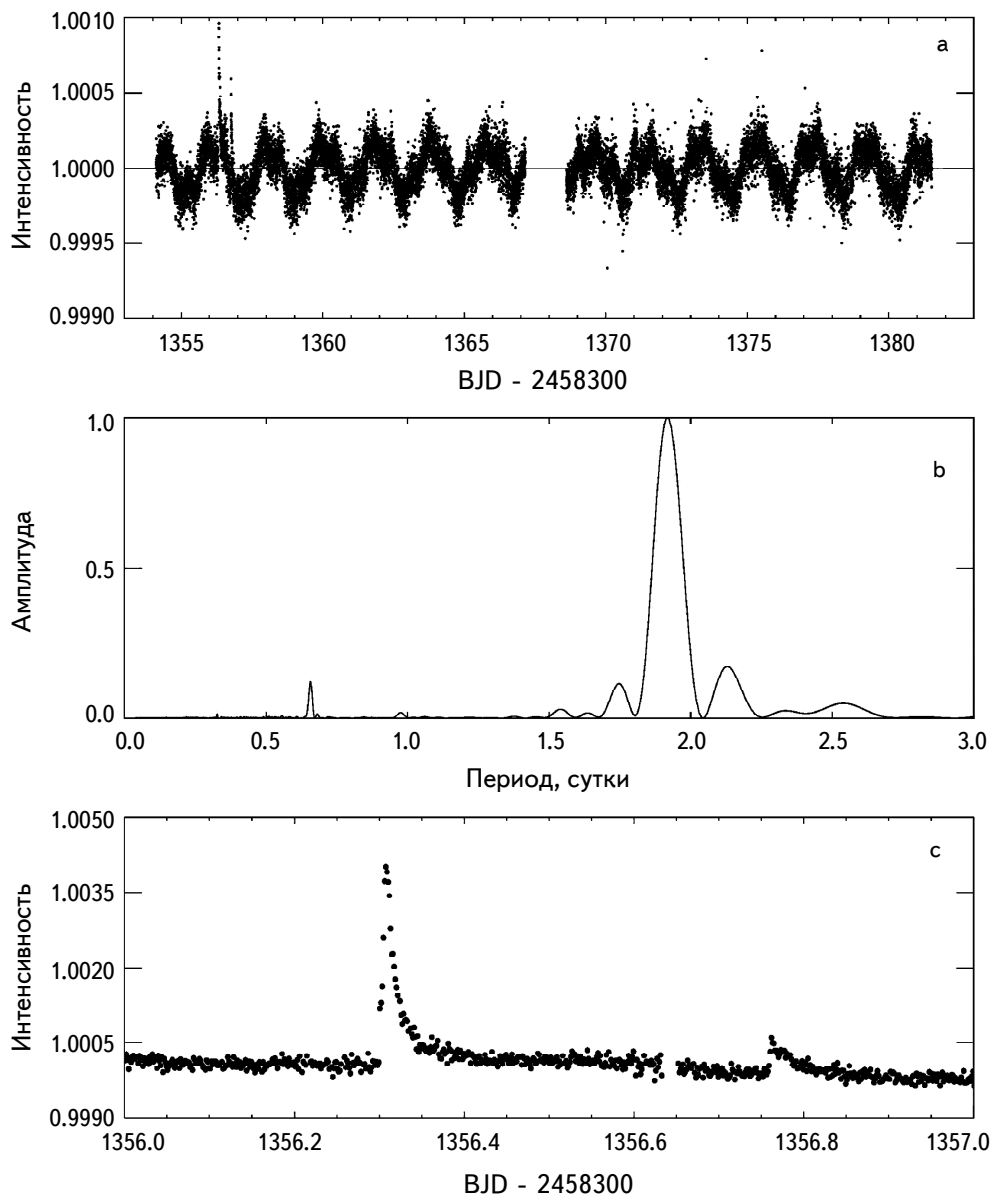


Рис.1. а) Кривая блеска β Scl по наблюдениям с космической миссией TESS. б) Спектр мощности, пик соответствует периоду вращения звезды $P = 1.91 \pm 0.09$ сут. в) Часть кривой блеска, содержащая две вспышки. На верхней и нижней диаграммах по оси ординат - нормированная на среднее значение интенсивность излучения, по оси абсцисс - время.

Измеренная нами относительная энергия вспышки RE составила 1.8 с для первой вспышки и 1.6 с - для второй. Вычисленная по формулам (5)-(9) из [10] энергия, излученная в первой вспышке, оказалась равной $3 \cdot 10^{36}$ эрг, а во второй - $4.5 \cdot 10^{35}$ эрг. Найденные нами величины находятся в согласии с оценкой из [3] для первой вспышки. Для сравнения укажем, что значения энергии солнечных вспышек составляют от 10^{27} эрг до 10^{32} эрг, а энергии вспышек красных карликовых звезд примерно в 10 - 1000 раз больше - см. в [10,11].

Указанные оценки верны в случае, если вспышки произошли на горячей звезде β Scl. Авторы [5] при анализе результатов своего обзора 56 пекулярных звезд с NAOS-CONICA на VLT сделали заключение о возможном компаньоне β Scl на угловом расстоянии в 0.641 угл. с. В этом случае, вероятнее всего, при наблюдениях космического телескопа TESS регистрируется общий блеск от двух компонентов (см. рис.1 в [5]). Наличие второго компонента позволяет также сделать предположение, что вспышки могут происходить на нем, поскольку вспышки на звездах солнечного типа и более холодных хорошо известны и многократно изучались (в [5] не приводится никаких данных о компоненте). В итоге мы не можем полностью исключить вероятность того, что две обсуждаемые нами вспышки произошли не на β Scl, а на другой звезде, вне зависимости от того, является ли она вторым компонентом системы или нет (эффект проекции).

К аналогичному заключению мы пришли в нашем исследовании [12] вспышечной активности KIC 1294756, которая была ранее отмечена в [13,14]. Нами было сделано предположение о том, что вспышки могут происходить не на самой изучаемой звезде спектрального класса A (BD +36 3554 A), а на близлежащем компоненте BD +36 3554 B позднего спектрального класса.

Однако в пользу того, что вспышки произошли на β Scl может свидетельствовать следующее обстоятельство. Автором [13] на основе сопоставления энергий вспышек, возможно происходящих на A-F звездах, было установлено эмпирическое соотношение вида $\log E = 3 \log(R/R_{\odot}) + 34.14$ (соотношение и данные представлены на рис.11 в [13], R - радиус звезды, $R_{\odot}$ - радиус Солнца). Если мы воспользуемся оценками параметров звезды из [3] (табл.1), то можем получить оценку радиуса β Scl, которая составляет 6.5 радиусов Солнца.

Тогда, согласно указанной зависимости, соответствующая этому радиусу величина $\log E$ составит 36.58. Для найденных нами энергий вспышки, значения $\log E$ равны 36.48 и 35.65, что хорошо согласуется с предложенной в [13] зависимостью.

Подчеркнем, что связь между величинами E и R была установлена в [13]

по наблюдениям телескопа Кеплер до начала работы миссии TESS. Можно заключить, что β Scl принадлежит к числу объектов спектральных классов A-F, исследованных в [13] по наблюдениям космического телескопа Кеплер, проявивших вспышки наибольших энергий.

3. *Заключение.* Цель нашего исследования состояла в изучении вращательной и вспышечной активности химически пекулярной звезды B9.5IIIpHgMnSi β Scl по данным архива космической миссии TESS. Подтверждены вращательная модуляция блеска и вероятная вспышечная активность этой звезды, установленные в [3].

Наличие пятен на поверхности HgMn звезд и их эволюция со временем не вызывают сомнений - из всех многочисленных исследований укажем, например, лишь [15-17]. Вопрос о вспышечной активности объектов этого типа пекулярности является новым и требующим изучения. В настоящее время список вспыхивающих звезд среди объектов спектрального класса A и B по наблюдениям космического телескопа Кеплер составляет несколько десятков [13,18]. Новые наблюдения с миссией TESS должны существенно увеличить число горячих звезд, у которых присутствует вспышечная активность. Более чем для половины объектов из уже имеющегося списка можно найти свидетельства о том, что вспышки либо являются артефактами, либо происходят на более холодном, пространственно неразрешенном компоненте [14]. В случае β Scl требуются новые исследования, посвященные установлению двойственности объекта и уточнению характеристик компаньона. С другой стороны, требуется анализ эмпирических соотношений, связывающих энергии вспышек с основными параметрами звезд, а также теоретические исследования возможности генерации вспышек с энергиями 10^{33} - 10^{36} эрг в случае звезд с температурой выше 8000 К. Наличие вспышек должно указывать на присутствие локальных магнитных полей у A-F звезд, подобных полям у звезд поздних спектральных классов. Согласно современным представлениям, у таких звезд отсутствует развитая приповерхностная конвективная область. Рентгеновские наблюдения свидетельствуют об отсутствии корон у A - поздних B звезд. Но, в принципе, появление слабых магнитных полей на поверхности этих объектов теоретически допустимо - см., например, [19] и ссылки в этой публикации. Согласно [19], поверхностные слабые магнитные поля могут быть связаны с присутствием небольших конвективных зон, связанных с зонами ионизации водорода и гелия (см. рис.2 в [19]). Наличие этих зон может привести к появлению в результате действия динамо механизма магнитных полей порядка нескольких гаусс, а проявлением появившихся магнитных полей могут быть пятенная и вспышечная активности.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-12-00423).

Институт астрономии Российской академии наук, Москва,
Россия, e-mail: igs231@mail.ru

ACTIVITY OF β SCL FROM TESS OBSERVATIONS

I.S.SAVANOV

The rotational and flare activity of a chemically peculiar star B9.5IIIpHgMnSi β Scl was studied using the data from the archive of the TESS space mission. On the light curve of the star there are clearly visible manifestations of the rotational modulation of the brightness, as well as two flashes that have a structure characteristic of flares of late type stars. On the constructed power spectrum there is a peak corresponding to a rotation period of 1.91 ± 0.09 days. According to the standard method adopted in the analysis of the flare activity of stars with Kepler space telescope and TESS mission, the radiation energy in two flares was found. The energy of the first flare is equal to be $3 \cdot 10^{36}$ erg, and in the second - $4.5 \cdot 10^{35}$ erg. Our estimations are in agreement with the literary source for the first flare. Arguments in favor of and against the fact that flares occurred on β Scl, and not on a possible companion (at an angular separation of 0.641 arcsec) are discussed.

Keywords: *stars: photometry: variability: activity: spots: flares*

ЛИТЕРАТУРА

1. G.R.Ricker, J.N.Winn, R.Vanderspek et al., SPIE Conf. Series, **9143**, 20, 2014.
2. M.G.Pedersen, S.Chowdhury, C.Johnston et al., Astrophys. J, **872**, 9, 2019.
3. L.A.Balona, G.Handler, S.Chowdhury et al., Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **485**, 3457, 2019.
4. I.S.Savanov, Astron. Rep., **62**, 814, 2018.
5. M.Scholler, S.Correia, S.Hubrig et al., Astron. Astrophys., **522**, 85, 2010.
6. M.Briquet, H.Korhonen, J.F.Gonzalez et al., Astron. Astrophys., **511**, 71, 2010.

7. *S.Hubrig, J.F.Gonzalez, I.Ilyin et al.*, Astron. Astrophys., **547**, 90, 2012.
8. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **55**, 890, 2011.
9. *T.Shibayama, H.Maehara, S.Notsu et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **209**, 5, 2013.
10. *M.N.Günther, Z.Zhan, S.Seager et al.*, 2019, arXiv190100443G.
11. *P.E.Гершберг*, Активность солнечного типа звезд главной последовательности, Симферополь, Антика, 2015, 6Вс.
12. *I.S.Savanov*, Astron. Rep., (в печати), 2019.
13. *L.A.Balona*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **447**, 2714, 2015.
14. *M.G.Pedersen, V.Antoci, H.Korhonen et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **466**, 3060, 2017.
15. *O.Kochukhov, S.J.Adelman, A.F.Gulliver et al.*, Nature Physics, **3**, 526, 2007.
16. *S.Hubrig, J.F.Gonzalez, I.Savanov et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **371**, 1953, 2006.
17. *V.Makaganiuk, O.Kochukhov, N.Piskunov et al.*, Astron. Astrophys., **539**, A142, 2012.
18. *T. Van Doorsselaere, H.Shiriyati, J.Debosscher*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **232**, 26, 2017.
19. *M.Cantiello, J.Braithwaite*, 2019, arXiv190402161C.

