

KIC 2142183 – КАНДИДАТ В ЗВЕЗДЫ ТИПА FK Com

© 2022 г. И. С. Саванов^{1, *}, Е. С. Дмитриенко², С. Дзян^{3, 4}, Х. Ванг^{3, 4},
М. Е. Сачков¹, А. С. Шугаров¹, В. Б. Пузин¹

¹ Институт астрономии Российской академии наук, Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

³ Национальная обсерватория Китая, Китайская академия наук, Пекин, Китай

⁴ Университет Китайской академии наук, Пекин, Китай

*E-mail: isavanov@inasan.ru

Поступила в редакцию 21.09.2022 г.

После доработки 20.10.2022 г.

Принята к публикации 20.10.2022 г.

По результатам анализа фотометрических наблюдений с космическим телескопом Кеплер исследована звезда KIC 2142183, которая ранее была отмечена, как быстро вращающийся гигант, обладающий вспышечной активностью. Нами выполнены оценки параметров запятненности S для KIC 2142183 (5–14% от площади всей видимой поверхности звезды) и дифференциального вращения звезды (величина параметра $\Delta\Omega$ находится в пределах 0.022–0.068 рад/сут). KIC 2142183 обладает высокой вспышечной активностью: в литературе приведены сведения о 100 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8 до 36.3. Результаты исследования и имеющиеся в литературе данные позволяют считать KIC 2142183 вероятным кандидатом в звезды типа FK Com. Сделан вывод о достаточно хорошем согласии характеристик (вращение, вспышечная и пятенная активность) гигантов KIC 2142183 и ранее изученного кандидата KIC 6428626. Площадь пятен на поверхности обеих звезд-гигантов в абсолютной мере не просто существенно превосходит суммарную площадь пятен на Солнце, а больше площади всей видимой поверхности Солнца. Обе звезды обладают высокой вспышечной активностью.

Ключевые слова: звездная активность, поверхностные пятна, KIC 2142183

DOI: 10.31857/S0004629922120052

1. ВВЕДЕНИЕ

Звезды типа FK Com образуют крайне малочисленную группу одиночных быстро вращающихся хромосферно активных звезд спектральных классов G–K. Кроме самого прототипа – звезды FK Com, к их числу в настоящее время относят еще лишь две звезды – ET Dra (BD+70959) и HD 199178. Несмотря на большой интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com (см., напр., обсуждение в работах [1, 2]) и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия достоверно не были выявлены другие звезды этого типа.

Проблемы изучения быстро вращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов рассматриваются в работах [3, 4].

В серии наших предыдущих работ (обзор приведен в статье [2]) мы сделали попытку выявления новых кандидатов звезд типа FK Com по изучению их фотометрической переменности на основе данных архива наблюдений на космическом

телескопе Кеплер. С этой целью по имеющимся литературным данным были выбраны объекты [2], параметры которых соответствуют звездам типа FK Com по температурному диапазону, ускорению силы тяжести и периоду вращения. Нами были сделаны оценки параметров запятненности и дифференциального вращения этих объектов. Были найдены положения доминирующей активной области (долготы) на поверхности звезд и прослежена их эволюция со временем. Сводку основных сведений об этих и других изученных нами объектах – кандидатах в звезды типа FK Com, и ссылки на оригинальные статьи, опубликованные по этой тематике в последние годы, можно найти в работе [2].

Ранее мы уже рассматривали объекты из выборки звезд-гигантов в списке [5], которые обладают вспышками, быстрым вращением, и для которых не было найдено указаний на их двойственность. Можно предположить, что такие объекты могут быть вероятными кандидатами в звезды типа FK Com. Наше внимание привлекла

малоизученная звезда KIC 2142183. База астрономических данных SIMBAD содержит всего три ссылки на литературные источники, посвященные изучению этого объекта. Звезда характеризуется в каталоге 2MASS (J 19060250+3735442) как Rotationally variable Star, имеет яркость 13.642^m в полосе пропускания аппаратуры телескопа Кеплер. Ее эффективная температура равна 4860 K, логарифм ускорения силы тяжести 3.051, период вращения $P_{\text{rot}} = 3.62^d$ (см. также [6]). Согласно базе данных SIMBAD и данным архива наблюдений космического телескопа Кеплер, KIC 2142183 имеет радиус $4.624 R_{\odot}$. По результатам исследования [6] звезда обладает высокой вспышечной активностью: за время наблюдений на телескопе Кеплер было зарегистрировано 143 вспышки с энергией $\lg E = 34.8\text{--}36.3$.

2. АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ KIC 2142183

Мы провели анализ всех имеющихся для KIC 2142183 данных в архиве космического телескопа Кеплер (17 сетов наблюдений). Их обработка была аналогична примененной в наших предыдущих работах [2]. Первоначально мы проанализировали данные каждого из 17 сетов. Для примера, на рис. 1 и 2 представлены кривые блеска KIC 2142183, соответствующие им спектры мощности и фазовые диаграммы для наблюдений в девяти и восьми сетках соответственно. Хорошо заметны периодическая модуляция блеска, обладающая заметной переменностью амплитуды, а также многочисленные вспышки. На построенных нами по набору для каждого сета спектрах мощности имеются пики, соответствующие величине периода вращения звезды P_{rot} на широте, на которой в данный интервал наблюдений находилась доминирующая группа пятен. Было найдено, что соответствующие максимальные величины P меняются от 3.544^d до 3.675^d (среднее значение 3.614^d) и находятся в согласии с оценками, имеющимися в литературе: 3.637^d [5] и 3.62^d [6]. Амплитуда переменности блеска лежит в пределах 6–14% от уровня среднего блеска звезды. Данные на рис. 1 и 2 хорошо иллюстрируют высокий уровень активности звезды.

При дальнейшем анализе нами было отобрано в совокупности 64 794 единичных измерений за период наблюдений около 3.9 лет. Для каждого интервала наблюдений соответствующие измерения были нормированы на среднее значение, все данные были объединены в единый массив (рис. 3, сверху). Рассчитанный спектр мощности (рис. 3, средняя и нижняя диаграммы) характеризуется набором пиков, в том числе изолированным пи-

ком с периодом 3.637^d , совпадающим с найденным в работе [5].

Рассчитанный амплитудный спектр мощности (см. нижнюю панель рис. 1 и 2, содержащую главный пик) свидетельствует о достаточно сложном характере изменений кривых блеска звезды, действительно присущем звездам с вращательной модуляцией блеска. Как мы указывали ранее (например, в работе [7]), происхождение каждого из этих пиков может быть связано с наличием пятен (или групп пятен), расположенных на различных широтах звезды, которая обладает дифференциальным вращением. При этом изменения периодов переменности блеска могут быть обусловлены изменениями и эволюцией (появлением и исчезновением) активных областей, лежащих на различных широтах на поверхности звезды. Значения периодов, относящихся к двум доминирующим пикам на периодограммах, в порядке убывания соответствующих им амплитуд изменений блеска равны $P_1 = 3.637^d$ и $P_2 = 3.500^d$. Величина погрешности определения периодов лежит в интервале 0.001–0.005^d. Период, относящийся к максимальной амплитуде (P_1), интерпретируется нами как период вращения звезды на широте, соответствующей расположению наибольшего холодного пятна (активной области).

Как и в работе [8], мы выполнили оценку параметра $A_1 = \text{abs}(P_2 - P_1)/P_{\text{max}}$, $P_{\text{max}} = \max(P_1, P_2)$, характеризующего дифференциальное вращение звезды. Аналогично можно определить $A_2 = \text{abs}(P_2 - P_1)/P_{\text{min}}$, $P_{\text{min}} = \min(P_1, P_2)$.

Величины A_1 и A_2 фактически характеризуют верхнюю и нижнюю границы величины параметра дифференциального вращения звезды $\Delta\Omega$ и составляют 0.0377 и 0.0391 соответственно. Они превосходят величину $A = 0.01$, рассматриваемую в [8] как предел обнаружения.

Выполненная нами оценка параметров дифференциального вращения звезды $\Delta\Omega = 0.068$ рад/сут (т.е. различие угловых скоростей вращения на экваторе и на полюсе) позволила сравнить полученные данные с опубликованными в работе [8], содержащими определения параметров дифференциального вращения 12 300 звезд. Символы на рис. 4 представляют данные для исследуемой в настоящей работе звезды KIC 2142183, для KIC 5428626 [13], а также для объектов, рассматриваемых ранее нами в качестве других кандидатов в звезды типа FK Com (см. [9, 10]). На рис. 4 приведены эмпирическая зависимость из работы [11] (пунктирная линия) и зависимости согласно теоретическим предсказаниям из статьи [12] (сплошные линии). Для KIC 2142183 полученный результат свидетельствует об очень хорошем согласии с данными нашего предыдущего исследования [9] и с результатами для

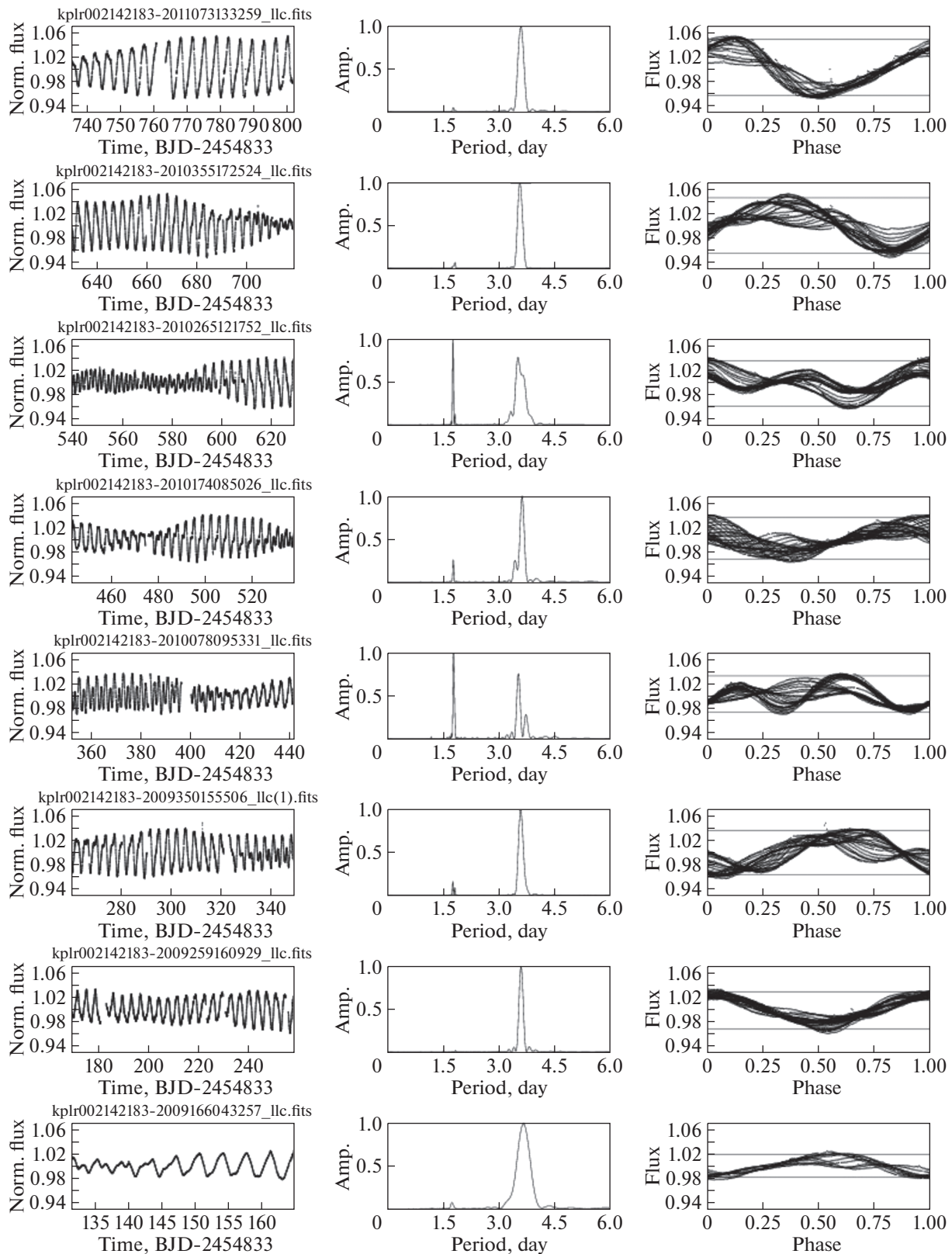


Рис. 1. Слева — кривые блеска для KIC 2142183, в центре — спектры мощности переменности блеска, справа — фазовые диаграммы переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). Данные приведены для наблюдений в 1–9 сетях.

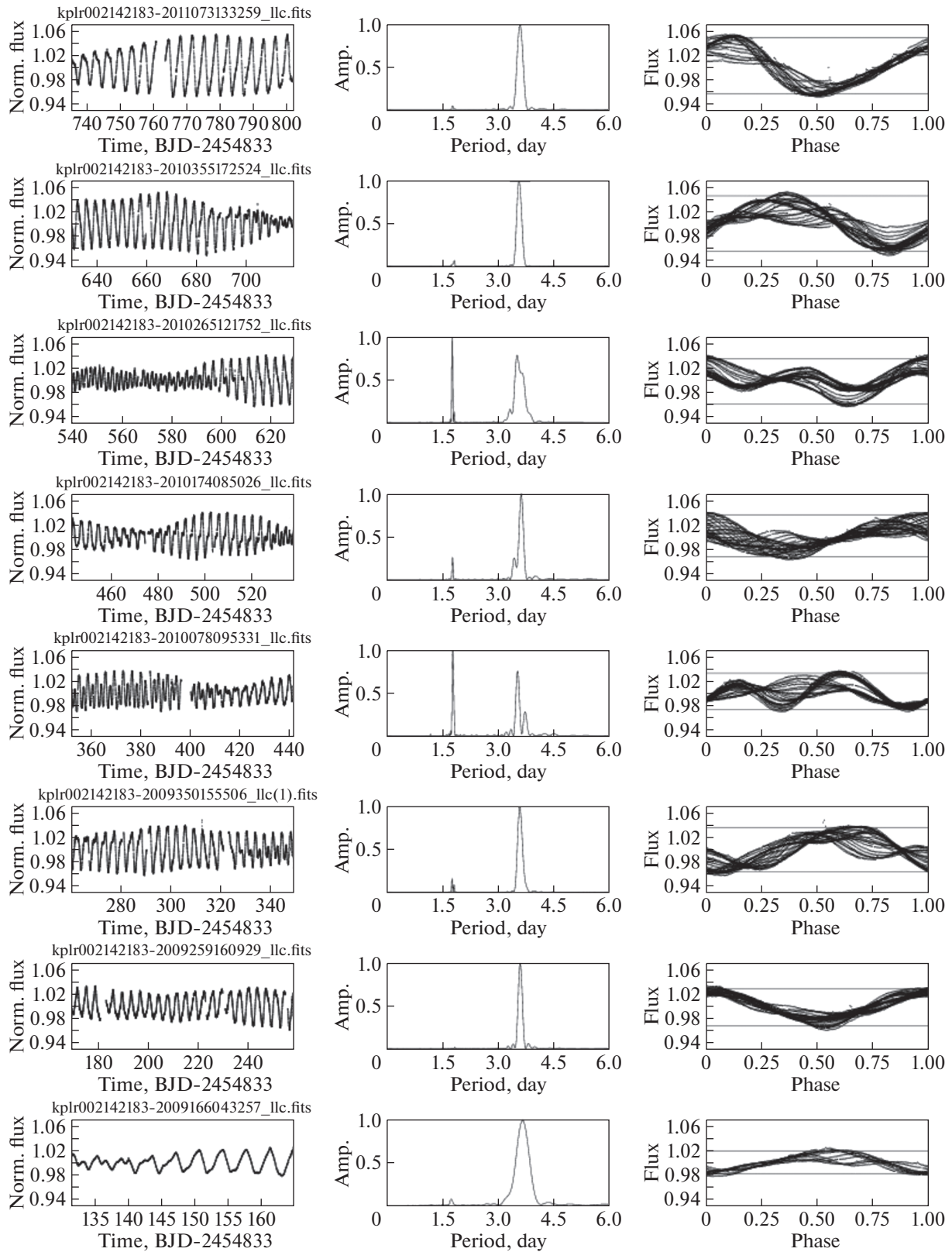


Рис. 2. То же, что на рис. 1, для наблюдений в 10–17 сетях.

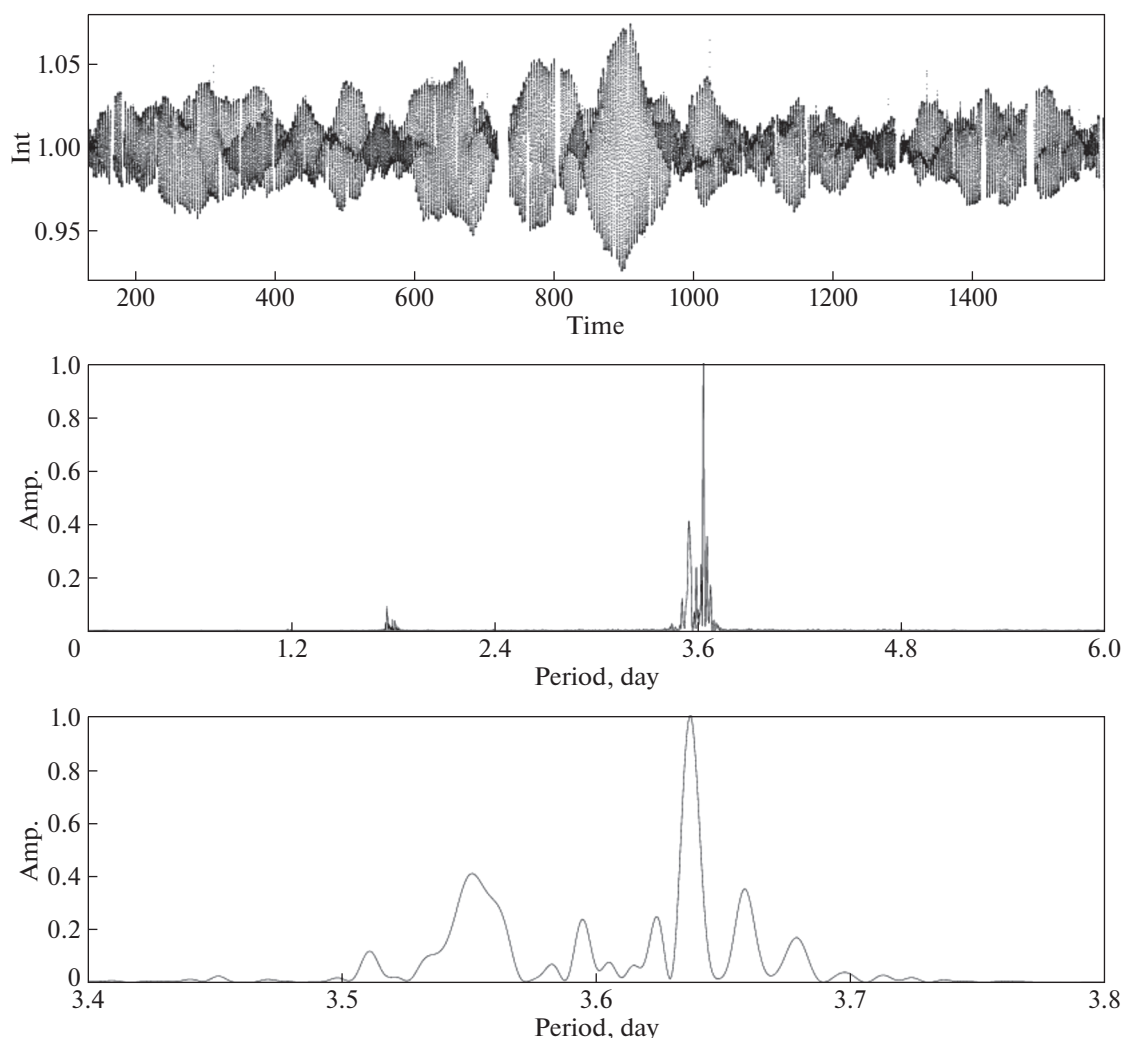


Рис. 3. Верхний ряд: кривая блеска KIC 2142183 (по оси абсцисс — время в сутках), в середине — спектр мощности переменности блеска в интервале периодов 0–6^d, внизу — спектр мощности переменности блеска в интервале периодов 3.4–3.8^d.

KIC 5428626 [13]. Все эти величины $\Delta\Omega$ выше, чем были получены для объектов, изученных нами ранее [10] (звезды, подобные HD 199178). При этом для всех данных имеется согласие с результатами для 12 300 звезд из [8] и с теоретической зависимостью.

Кроме того, для KIC 2142183 нами было определено так называемое время запаздывания $P(LT)$, когда области на экваторе вновь сравниваются с отстающими или опережающими их активными областями на другой широте. Оценки величин $P(LT)$ были получены из анализа спектров мощности изменений амплитуд переменности кривых блеска звезд. Мы обратили внимание на два пика с величинами $P(LT)$ в 120^d и 280^d. Им соответствуют величины $\Delta\Omega$, равные 0.52 и 0.22 рад/сут, соответствующий диапазон измене-

ния параметра на рис. 4 обозначен вертикальной жирной сплошной линией. Следует отметить, что все указанные выше величины приведены как оценки и могут рассматриваться в качестве предельных, поскольку мы не знаем, на какой широте расположены активные области, вызывающие вращательную модуляцию блеска звезд.

Запятненность S поверхности звезды была найдена с помощью методики, широко используемой в наших предыдущих исследованиях [2]. Параметр S определяется как отношение площади всех пятен на поверхности звезды к площади всей ее видимой поверхности. Наша оценка показала, что величина параметра S для KIC 2142183 достаточно велика и находится в пределах от 5 до 14% (точность определения менее 0.1%).

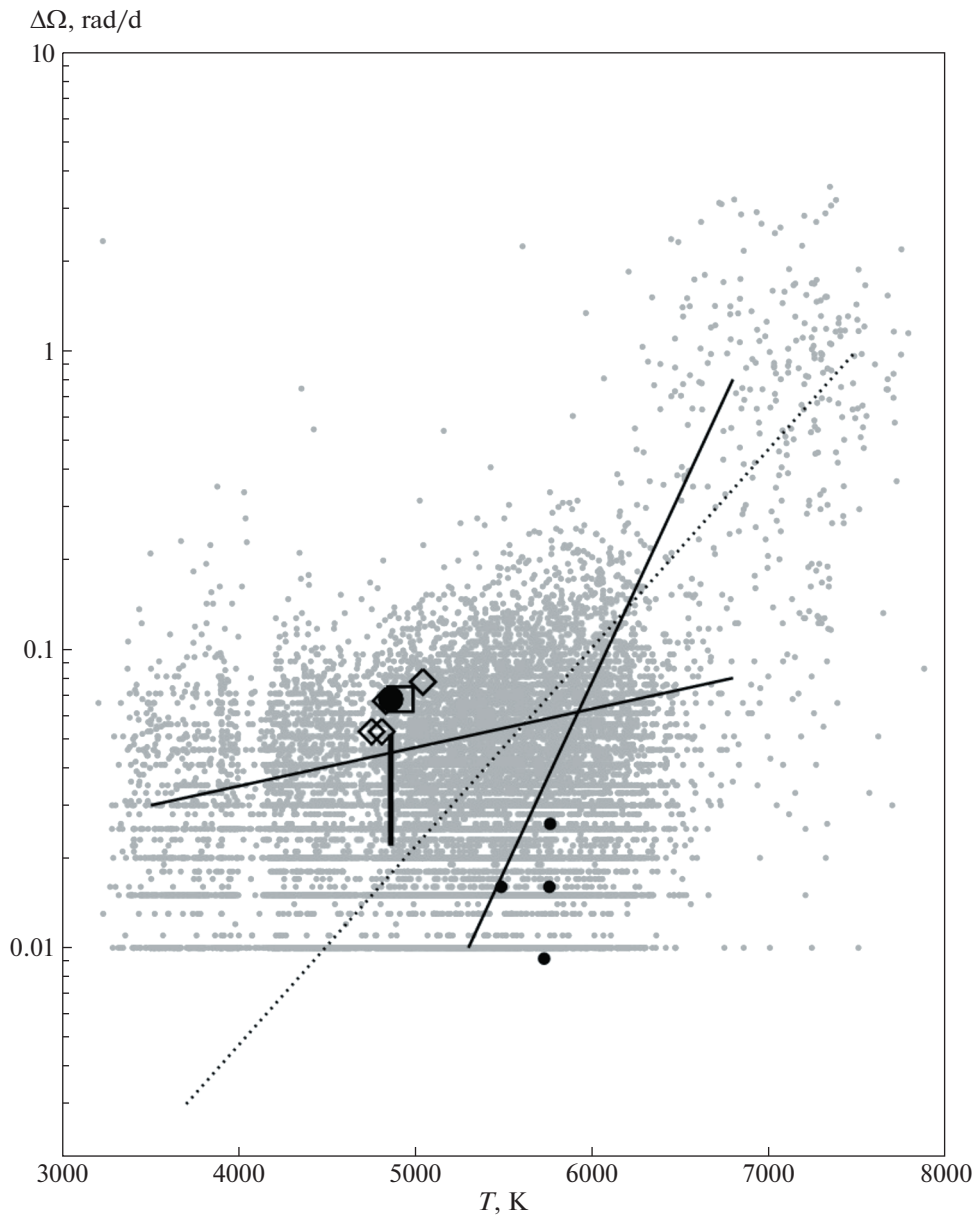


Рис. 4. Зависимость параметра дифференциального вращения $\Delta\Omega$ от эффективной температуры звезды. Крупный кружок — данные для KIC 2142183, маленькие кружки и ромбы — данные из работ [9, 10] соответственно. Квадрат — данные для KIC 5428626 ([13]). Светлые кружки — данные [8] для 12 300 звезд. Эмпирическая зависимость из [11] представлена пунктирной линией, теоретические предсказания из [12] показаны сплошными линиями, вертикальной сплошной линией обозначен диапазон изменений параметра $\Delta\Omega$, найденного нами для KIC 2142183 по оценкам диапазона изменений параметра $P(LT)$.

Кроме того, согласно обновленным данным архива телескопа Кеплер, принимая оценку радиуса звезды $4.624 R_{\odot}$, мы получили величину A площади пятен на поверхности звезды в абсолютной мере (в миллионных долях видимой полусферы Солнца, м.д.п.). Если площадь большой группы пятен на Солнце может составлять 1–2 тысячи м.д.п., то площадь пятен на поверхности KIC 2142183 в различные интервалы наблюдений

многократно превосходит ее и находится в пределах от 7.3×10^5 до 2.5×10^6 м.д.п.

3. ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Каталог вспышек [6], зарегистрированных основной миссией Кеплер, включает сведения о 162262 вспышках для 3420 звезд. Тщательный анализ, проведенный авторами каталога, позво-

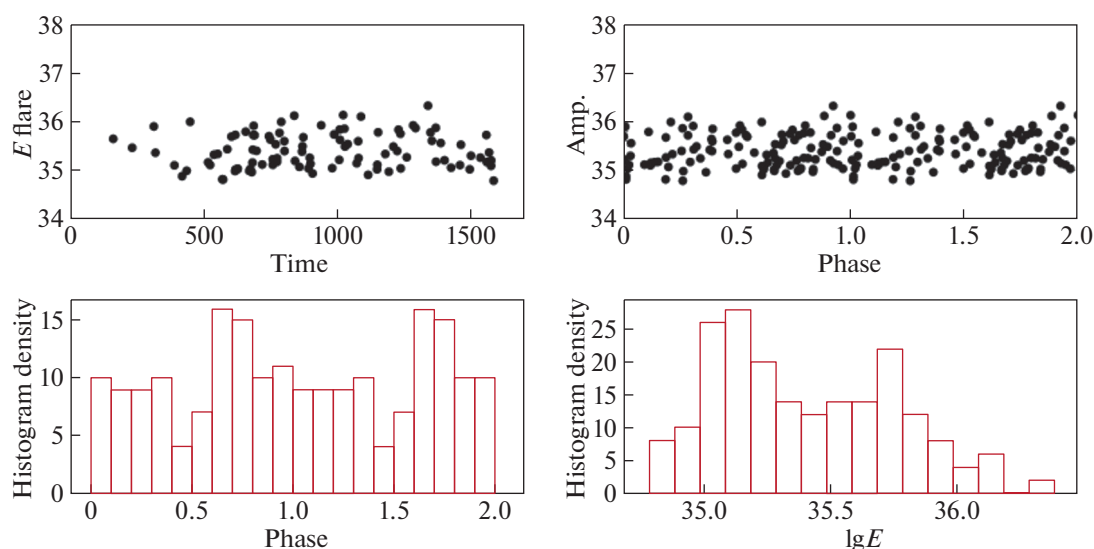


Рис. 5. Верхний ряд, слева — изменения вспышечной активности объекта (величин $\lg E$) в течение наблюдений на космическом телескопе Кеплер (по оси абсцисс — время в сутках); справа — фазовая кривая для $P_{\text{rot}} = 3.637^d$, построенная по этим данным. Нижний ряд — гистограммы распределения фаз (слева), соответствующих вспышкам, и величин $\lg E$ (справа).

лил выявить проблемы, связанные с наличием в такого рода каталогах различных ложных сигналов и артефактов. Одним из удивительнейших открытий, сделанных на основе данных космического телескопа Кеплер, является обнаружение звездных супервспышек с энергией от 10^{33} до 10^{38} эрг. В связи с супервспышками, зарегистрированными миссией Кеплер, следует отметить, что механизм, способный обеспечить магнитную энергию, достаточную для появления столь мощных явлений на звездах-гигантах, предложен в работе Кацовой и др. [14]. Несмотря на то что рассмотренные в данной работе сильные вспышки происходят на гигантах, вращающихся медленнее, чем звезды типа FK Com, возможно, высказанные в этой работе идеи смогут прояснить природу активности этих объектов.

Другое привлекающее внимание обстоятельство состоит в выделении в работе [6] группы звезд гигантов, обладающих вспышечной активностью (см. [6], табл. 3). Процессы генерации магнитных полей в оболочках звезд гигантов и происхождение вспышечной активности звезд высокой светимости до конца не ясны и требуют дальнейших всесторонних исследований. Наличие второго, в том числе, активного компонента в двойной системе не всегда может дать объяснение наблюдаемым вспышкам.

В работе [5] из первоначальной выборки 706 звезд гигантов-кандидатов выделили в окончательный список 61 объект, значительную долю которых, возможно, составляют двойные систе-

мы. В настоящее время имеется подтверждение двойственности для 11 из них. Авторы цитируемой работы рассматривают аргументы в пользу предположения о едином механизме генерации вспышек для звезд гигантов и карликов. Как было отмечено выше, наше внимание привлекли объекты (включая KIC 2142183), входящие в выборки гигантов в списке [5], для которых не было указаний на их двойственность. Очевидно, что такие объекты могут быть рассмотрены как новые кандидаты в звезды типа FK Com.

Как в каталоге [6], так и в [5] содержатся данные о вспышечной активности KIC 2142183. Всего представлены сведения о 100 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8 до 36.3. На рис. 5 приведены данные об изменении вспышечной активности объекта в течение периода наблюдений на космическом телескопе Кеплер, и фазовая кривая, построенная по этим данным (верхний ряд, слева и справа соответственно). В первые 400 и последние 300 суток наблюдений звезда проявляла меньшую вспышечную активность. Спектр мощности изменений величин $\lg E$ со временем характеризуется значительной зашумленностью, на нем не наблюдается ярко выраженных пиков, в частности, отсутствует пик, соответствующий периоду вращения звезды P_{rot} . Однако можно высказать предположение о большем числе вспышек, приходящемся на интервал фаз 0.6–1.0. Об этом же свидетельствует и гистограмма распределения фаз, на которых происходили вспышки (рис. 5, нижний ряд, слева).

Отметим, что можно предположить, что распределение энергии вспышек не носит симметричный вид (рис. 5, нижний ряд, справа). Распределение величин $\lg E$ имеет продолжение вплоть до величины 36.4, подобный характер имеет большинство гистограмм для объектов, изученных в [5].

4. СОПОСТАВЛЕНИЕ АКТИВНОСТИ ЗВЕЗД KIC 2142183 И KIC 6428626

Ранее в [13] по результатам анализа фотометрических наблюдений на космическом телескопе Кеплер была исследована звезда KIC 6428626, которая ранее, как и KIC 2142183, была отмечена как быстро вращающийся гигант, обладающий вспышечной активностью. Нами были выполнены оценки параметров запятненности S для KIC 6428626 (7–12% от площади всей видимой поверхности звезды) и дифференциального вращения звезды (величина параметра $\Delta\Omega$ составляет 0.016 рад/сут). Были найдены положения доминирующей активной области (долготы) на поверхности звезды и прослежена их эволюция со временем – возможные циклические изменения положения с характерным временем около 400 сут. Ранее аналогичный вывод о существовании циклических изменений положений активных областей был сделан для звезды FK Com – прототипа исследуемых нами звезд. KIC 6428626 обладает высокой вспышечной активностью: в литературе приведены сведения о 143 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8 до 37.4. Наш анализ и имеющиеся в литературе данные для KIC 6428626 позволили рассмотреть возможность ее принадлежности к группе звезд типа FK Com.

Обе исследуемые звезды (KIC 6428626 и KIC 2142183) являются быстро вращающимися гигантами с величинами периодов фотометрической переменности блеска $2.5\text{--}2.6^d$ и $3.5\text{--}3.7^d$ соответственно.

Площадь пятен на поверхности обеих звезд-гигантов в абсолютной мере существенно превосходит площадь пятен на Солнце, более того, эта величина сопоставима или даже больше площади всей видимой поверхности Солнца. Для KIC 2142183 величина параметра A в различные интервалы наблюдений находится в пределах от 7.3×10^5 до 2.5×10^6 м.д.п., а для KIC 6428626 составляет $(1.0\text{--}2.6) \times 10^6$ м.д.п.

Обе звезды обладают высокой вспышечной активностью: в литературе приведены сведения о 143 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8–37.4 для KIC 6428626 и о 100 вспышках с $\lg E$ в диапазоне от 34.8–36.3 для KIC 2142183.

Таким образом, можно сделать вывод о достаточно хорошем согласии характеристик (вращение, вспышечная и пятенная активность) гигантов KIC 6428626 и KIC 2142183.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам анализа фотометрических наблюдений на космическом телескопе Кеплер нами была изучена звезда KIC 2142183, которая в [5] рассмотрена как вспыхивающий быстро вращающийся гигант (100 вспышек, период вращения $P_{\text{rot}} = 3.6^d$). С учетом результатов нашего исследования и имеющихся в литературе данных KIC 2142183 может быть причислена к числу кандидатов для установления принадлежности к группе звезд типа FK Com. Наш анализ подтвердил данные о быстром вращении и высокой вспышечной активности KIC 2142183. Поскольку блеск звезды в полосе K составляет 13.642^m , наземные спектральные наблюдения могут быть проведены только на телескопе с большой апертурой (например, не менее 4 м). Если в результате дальнейших исследований звезда будет отнесена к группе звезд типа FK Com, то она, как и FK Com [15], станет перспективным объектом наблюдений в программе международной космической обсерватории Спектр-УФ [16].

В настоящей работе использовались сведения из астрономической базы данных SIMBAD и архива космического телескопа Кеплер.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ и ГФЕН в рамках проекта № 21-52-53022, NSFC-RFBR-12111530005.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. Costa, B. L. Canto Martins, J. P. Bravo, F. Paz-Chinchón, et al., *Astrophys. J. Letters* **807**, id. L21 (2015).
2. S. Savanov, *Astrophys. Bull.* **74**, 288 (2019).
3. M. H. Pinsonneault, Y. Elsworth, C. Epstein, S. Hekker, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **215**, id. 19 (2014).
4. J. Tayar, T. Ceillier, D. A. Garcíá-Hernández, N. W. Troup, et al., *Astrophys. J.* **807**, id. 82 (2015).
5. K. Oláh, Z. Kővári, M. N. Günther, K. Vida, P. Gaulme, B. Seli, and A. Pál, *Astron. and Astrophys.* **647**, id. A62 (2021).
6. H. Yang and J. Liu, *Astrophys. J. Suppl.* **241**, id. 29 (2019).
7. V. B. Puzin, I. S. Savanov, E. S. Dmitrienko, I. I. Romanuk, E. A. Semenko, I. A. Yakunin, and A. Yu. Burdanov, *Astrophys. Bull.* **71**, 189 (2016).

8. *T. Reinhold and L. Gizon*, *Astron. and Astrophys.* **583**, id. A65 (2015).
9. *V. B. Puzin, I. S. Savanov, and E. S. Dmitrienko*, *Astron. Rep.* **58**, 471 (2014).
10. *V. B. Puzin, I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko*, *Astron. Rep.* **61**, 693 (2017).
11. *J. R. Barnes, A. Collier Cameron, J.-F. Donati, D. J. James, S. C. Marsden, and P. Petit*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **357**, L1 (2005).
12. *M. Küker and G. Rüdiger*, *Astron. Nachricht.* **332**, 933 (2011).
13. *I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko*, *Astrophys. Bull.* **77**, 150 (2022).
14. *M. M. Katsova, L. L. Kitchatinov, D. Moss, K. Oláh, and D. D. Sokoloff*, *Astron. Rep.* **62**, 513 (2018).
15. *T. R. Ayres, V. Kashyap, S. Saar, D. Huenemoerder, et al.*, *Astrophys. J. Suppl.* **223**, id. 5 (2016).
16. *B. Shustov, A. Gomex de Castro, M. Sachkov, J. Vallego, et al.*, *Astrophys. Space Sci.* **363**, 4 (2018).