

УДК 524.31-56

KIC 5428626 — НОВЫЙ КАНДИДАТ В ЗВЕЗДЫ ТИПА FK COM© 2022 И. С. Саванов^{1*}, Е. С. Дмитриенко²¹Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия²Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119234 Россия

Поступила в редакцию 18 февраля 2022 года; после доработки 14 марта 2022 года; принята к публикации 15 марта 2022 года

По результатам анализа фотометрических наблюдений на космическом телескопе Кеплер исследовалась звезда KIC 5428626, которая ранее была отмечена как быстровращающийся гигант, обладающий вспышечной активностью. Нами были выполнены оценки параметров запятненности S этого объекта (7–12% от площади всей видимой поверхности звезды) и его дифференциального вращения (величина $\Delta\Omega$ составляет 0.016 рад./сут.). Были найдены положения (долготы) доминирующей активной области на поверхности звезды и прослежена их эволюция со временем: возможны циклические изменения положений с характерным временем около 400 сут. Ранее аналогичный вывод о существовании циклических изменений положений активных областей был сделан для звезды FK Com — прототипа изучаемых нами звезд. KIC 5428626 обладает высокой вспышечной активностью. В литературе приводятся сведения о 143 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8 до 37.4. Результаты исследования и имеющиеся в литературе данные позволяют считать KIC 5428626 привлекательным объектом для установления его возможной принадлежности к группе звезд типа FK Com.

Ключевые слова: *звезды: активность* — *звезды: отдельные: KIC 5428626*

1. ВВЕДЕНИЕ

Звезды типа FK Com образуют крайне малочисленный класс одиночных быстровращающихся хромосферно-активных звезд спектральных классов G–K. Кроме самого прототипа — звезды FK Com — к их числу в настоящее время относят еще две звезды: ET Dra (BD + 70°959) и HD 199178. Несмотря на многочисленные активные попытки уточнения эволюционного статуса звезд типа FK Com (см., например, обсуждение в Costa et al. (2015), Savanov (2019)) и установления их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия достоверно не были выявлены другие звезды этого типа.

Интерес к быстровращающимся одиночным гигантам поздних спектральных классов вызван самим фактом их существования, которое является исключением из общего правила медленного осевого вращения гигантов, предсказываемого теорией звездной эволюции. Природа объектов с такими свойствами остается невыясненной. Гипотезы их образования предполагают проявление действия процессов, связанных со слиянием компонентов в тесной двойной системе, с резким гипотетическим

выносом углового момента из недр звезды, с передачей момента вращения из околосредного окружения и прочее (см. обсуждения в работе Costa et al. (2015)). Звезды типа FK Com несомненно занимают первые места в списке такого рода объектов. Проблемы изучения быстровращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов рассматривают и Pinsonneault et al. (2014), Tayar et al. (2015).

Costa et al. (2015) пришли также к важному заключению о необходимости наблюдений звезд данного типа в ИК-диапазоне (вплоть до 22 мкм) вследствие обнаружения ими избытка ИК-излучения примерно у половины объектов из их списка. При анализе гипотез возникновения быстровращающихся гигантов этот факт, возможно, мог бы служить указанием на значительное влияние околосредного окружения на их появление.

К настоящему времени число открытых быстровращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов все еще остается невелико.

В серии наших предыдущих работ (см., например, их обзор в статье Savanov (2019)) мы сделали попытку выявления новых кандидатов звезд типа FK Com по изучению их фотометрической переменности. Для этой цели были использованы

*E-mail: isavanov@inasan.ru

данные архива наблюдений с космическим телескопом Кеплер¹. В частности, наши предыдущие исследования были посвящены поиску возможных кандидатов в звезды типа FK Com среди объектов из базы данных высокоточных фотометрических наблюдений с космическим телескопом Кеплер. С этой целью по имеющимся литературным данным были выбраны объекты (см. информацию в статье Savanov (2019)), параметры которых по температурному диапазону, ускорению силы тяжести и периоду вращения соответствуют звездам типа FK Com. Нами были сделаны оценки параметров запятненности и дифференциального вращения этих объектов. Были найдены положения (долготы) доминирующей активной области на поверхности звезд и прослежена их эволюция со временем. Сводка основных сведений об этих и других изученных нами объектах — кандидатах в звезды типа FK Com, приводится в таблице 1 в работе Savanov (2019), где можно найти также ссылки на оригинальные статьи, опубликованные по этой тематике в последние годы.

В выполняемом исследовании наше внимание привлекли объекты из выборки звезд-гигантов в появившемся недавно списке Oláh et al. (2021), которые обладают вспышками, быстрым вращением и для которых не было найдено указаний на их двойственность. Очевидно, что такие объекты могут быть рассмотрены как новые кандидаты в звезды типа FK Com. Одним из них является KIC 5428626. Согласно базе данных SIMBAD² и данным архива наблюдений на космическом телескопе Кеплер, KIC 5428626 \equiv 2MASS J18574181 + 4040154 имеет радиус $4.287 R_{\odot}$ и лежит у основания ветви красных гигантов. KIC 5428626 характеризуется как вращательно-переменная звезда (rotationally variable star) с яркостью $13^m.980$ в полосе аппаратуры телескопа Кеплер. Ее эффективная температура равна $T_{\text{eff}} = 4914 \text{ K}$, логарифм ускорения силы тяжести — 3.11, период вращения $P_{\text{rot}} = 2.706$ сут. Согласно Yang and Liu (2019), звезда обладает высокой вспышечной активностью: за время наблюдений на телескопе Кеплер было зарегистрировано 143 вспышки с энергией $\lg E = 34.8\text{--}37.4$.

2. АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ KIC 5428626

Мы провели анализ всех имеющихся для KIC 5428626 данных в архиве космического телескопа Кеплер (13 сетов наблюдений). Была сделана

¹<https://archive.stsci.edu/missions-and-data/kepler>

²<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

обработка данных, аналогичная той, что мы выполнили в работе Savanov (2019). Первоначально мы проанализировали данные каждого из 13 сетов. Для примера на рис. 1 представлены кривые блеска KIC 5428626, соответствующие им спектры мощности и фазовые диаграммы по наблюдениям в восьми сетях. 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 той широте, на которой в данный интервал наблюдений находилась доминирующая группа пятен. Было найдено, что соответствующие максимальные величины P меняются от 2.599 до 2.517 сут. и находятся в согласии с оценкой Oláh et al. (2021) — 2.607 сут. Амплитуда переменности блеска варьируется в пределах 6–12% от средней величины блеска звезды. Данные на рис. 1 хорошо иллюстрируют высокий уровень активности звезды.

При дальнейшем анализе нами было отобрано в совокупности 50 173 единичных измерения 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. 2a). Рассчитанный спектр мощности (рис. 2b) характеризуется изолированным пиком, соответствующим периоду в 2.607 суток, совпадающим с найденным в работе Oláh et al. (2021).

Если придерживаться предположения о наличии пятен (или групп пятен), расположенных на различных широтах звезды, которая обладает дифференциальным вращением, то может быть вычислено время запаздывания LT (lap time), за которое одна из активных областей на экваторе вновь сравнивается с отстающей или опережающей ее активной областью на другой широте. Такая оценка LT была получена при анализе спектров мощности изменений амплитуд переменности кривой блеска KIC 5428626 и составила величину порядка 380 суток (рис. 2c), что соответствует значению параметра $\Delta\Omega$ 0.016 рад./сут. Цикличность изменения амплитуд переменности кривой блеска не вызывает сомнений, однако можно отметить, что при анализе спектров мощности этих изменений следует принимать во внимание то, что кривая блеска звезды содержит пробелы в наблюдениях, цикличность которых также близка к 400 сут. Как и в наших предыдущих исследованиях, мы применили методику оценки положения доминирующей активной области (долготы) на поверхности активной звезды, основанную на анализе положения минимума на кривой блеска для каждого из сетов, подобно

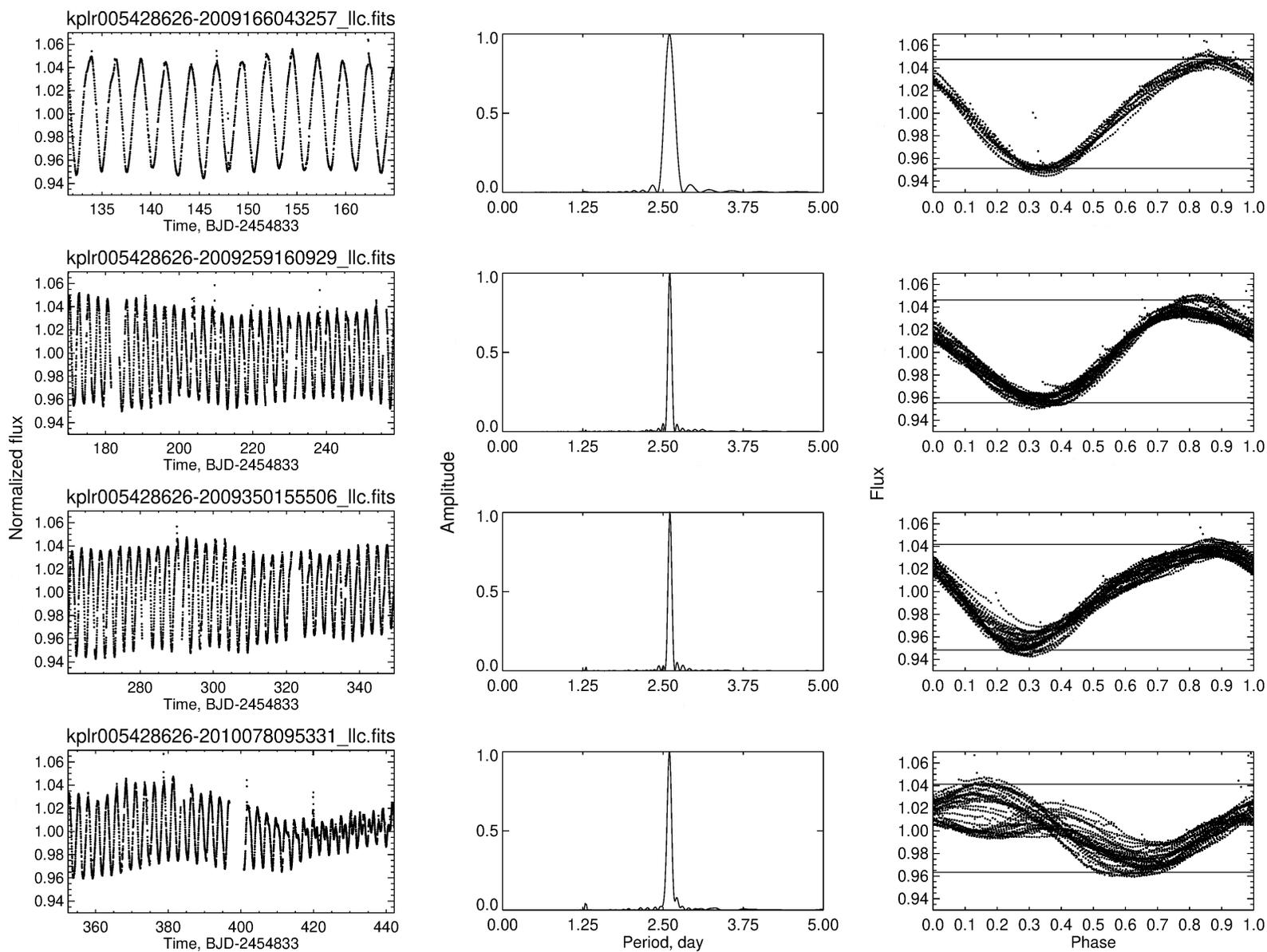


Рис. 1. Панели слева — кривая блеска для KIC 5428626, посередине — спектр мощности переменности блеска, справа — фазовая диаграмма переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). В качестве примера приведены данные наблюдений в 8 из 13 сетов.

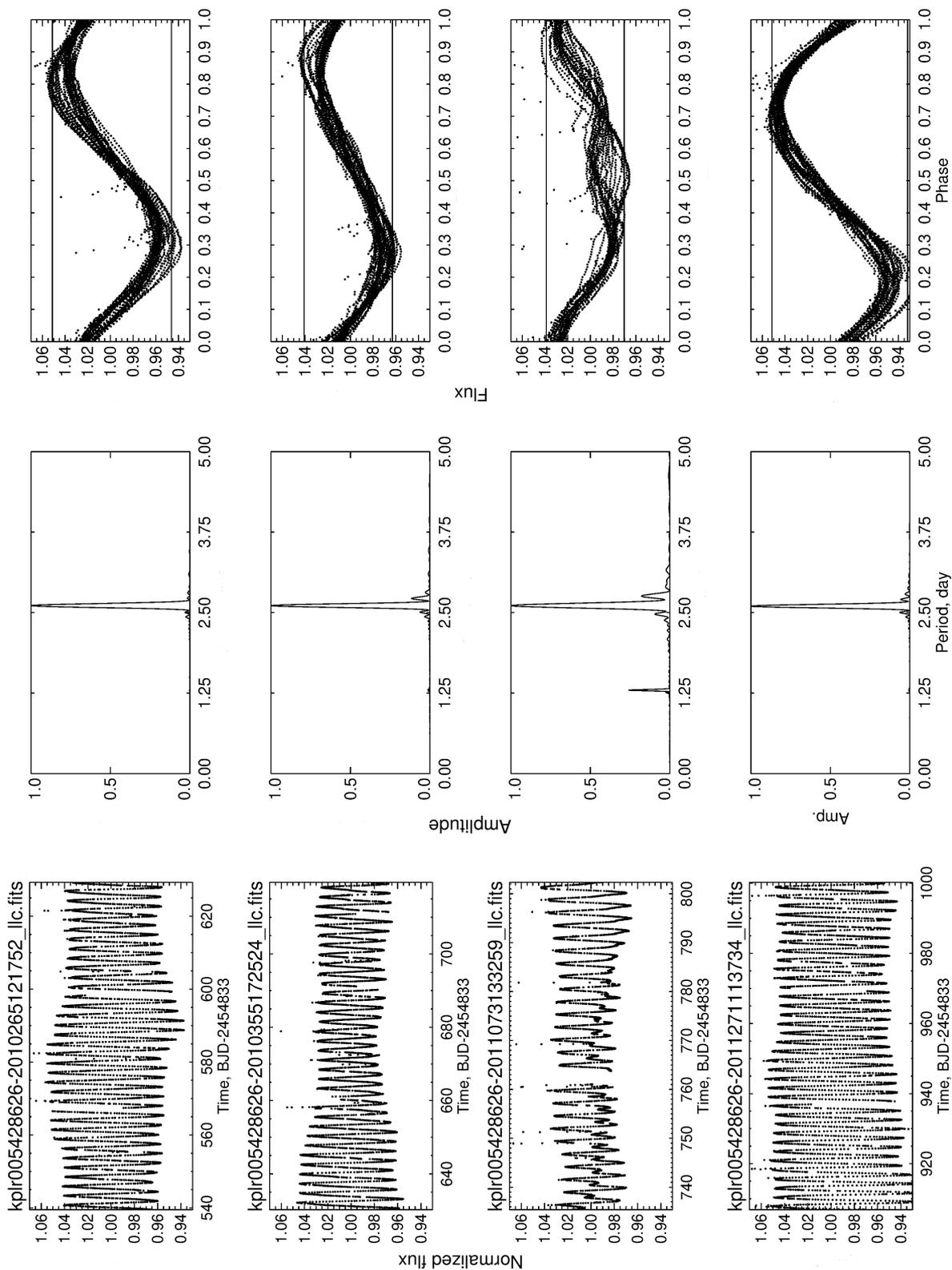


Рис. 1. (Продолжение)

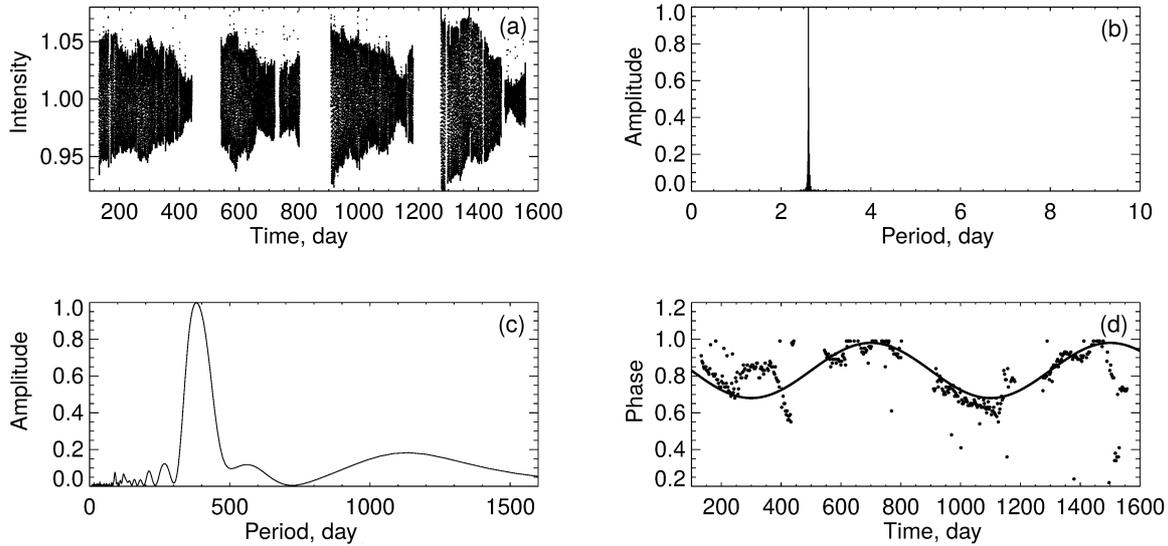


Рис. 2. Панель (a) — кривая блеска для KIC 5428626 (по оси абсцисс — время в сутках), (b) — спектр мощности переменности блеска, (c) — спектры мощности изменения амплитуды переменности блеска для каждого сета, охватывающего один период вращения звезды, (d) — изменения положения активной области на поверхности звезды со временем.

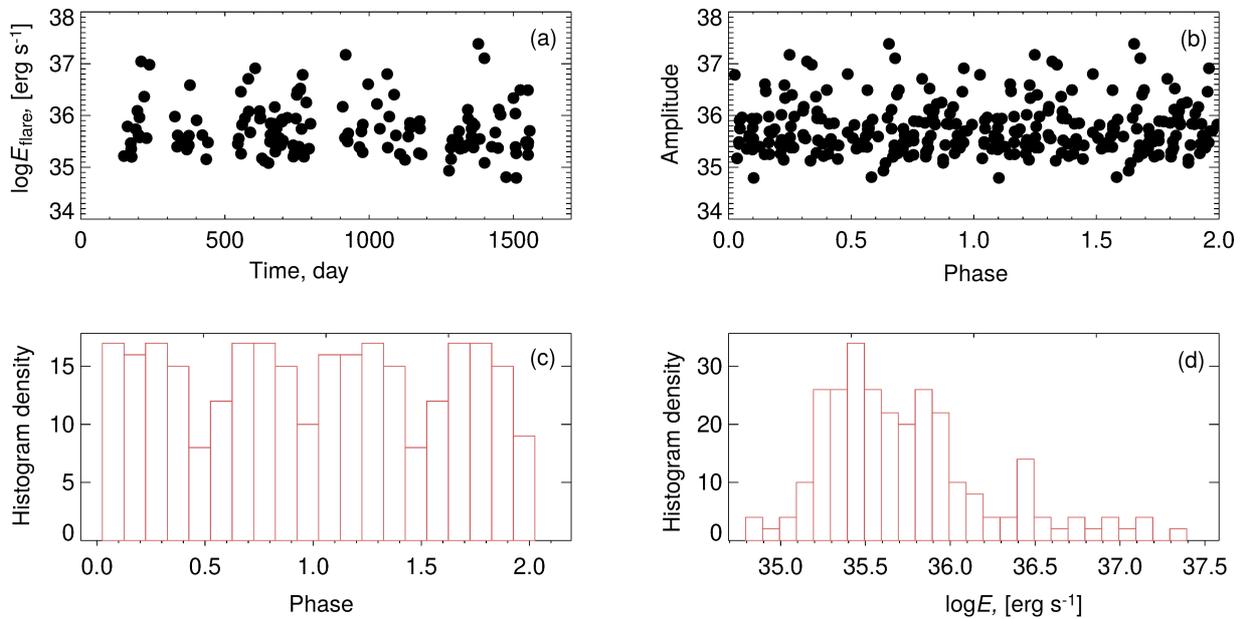


Рис. 3. Панель (a) — изменения вспышечной активности объекта в течение наблюдений с космическим телескопом Кеплер (по оси абсцисс — время в сутках), (b) — фазовая кривая для $P_{\text{rot}} = 2.607$ сут., построенная по этим данным, (c) и (d) — гистограммы распределения фаз, соответствующих вспышкам, и величин $\lg E$.

тому, как это было сделано нами ранее (см., например, Savanov (2019)). Результаты определений представлены на рис. 2d. Положения активной долготы не являются постоянными и смещаются по поверхности звезды с течением времени. Вероятно, эти смещения носят циклический характер со временем переменности около 400 суток: на рис. 2 в качестве иллюстрации приведена синусоида с периодом 400 сут. и полуамплитудой переменности

0.15 по фазе (54° по долготе). Отметим, что ранее аналогичный вывод о существовании циклических изменений положений активных областей был сделан в работе Puzin et al. (2016) и для FK Com — прототипа исследуемых нами звезд.

Вопрос о присутствии второй активной долготы на поверхности KIC 5428626 требует дальнейшего изучения (например, при построении карт поверхностных температурных неоднородностей, которое

станет возможным после дальнейших исследований этой звезды и установления угла наклона оси ее вращения).

Запятнность поверхности звезды S была найдена с помощью методики, широко используемой в наших предыдущих исследованиях Savanov (2019). Параметр S определяется как отношение площади всех пятен на поверхности звезды к площади всей ее видимой поверхности. Наша оценка показала, что значение S для КIC 5428626 достаточно велико и находится в пределах от 7 до 12% (точность определения менее 0.1%).

Кроме того, принимая оценку радиуса звезды $4.287R_{\odot}$ (согласно обновленным данным архива телескопа Кеплер), 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 1000–2000 м.д.п., то площади пятен на поверхности КIC 5428626 в различные интервалы наблюдений многократно превосходят ее и находятся в пределах от 1.0×10^6 до 2.6×10^6 м.д.п.

3. ВСПЫШЕЧНАЯ АКТИВНОСТЬ

Каталог вспышек, зарегистрированных основной миссией Кеплер, опубликованный Yang and Liu (2019), включает сведения о 162 262 вспышках для 3420 звезд. Тщательный анализ, проведенный авторами каталога, позволил 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. Другое достойное внимания обстоятельство состоит в том, что среди звезд со вспышечной активностью Yang and Liu (2019) выделили группы гигантов (см. таблицу 3 в Yang and Liu (2019)). Процессы генерации магнитных полей в оболочках звезд-гигантов не ясны, как и природа вспышечной активности звезд высокой светимости. Не всегда можно объяснить наблюдаемые вспышки наличием второго активного компонента в двойной системе.

Oláh et al. (2021) из первоначальной выборки 706 кандидатов в звезды-гиганты со вспышками выделили в окончательный список всего 61 объект, значительная доля которых, возможно, является двойными системами. В настоящее время имеется подтверждение двойственности для 11 из них. Было установлено, что индекс распределения числа вспышек по энергиям (Flare Frequency Diagram, FFD) (в логарифмическом виде) для большинства объектов в среднем равен величине порядка 2, что

в целом соответствует характеристикам распределения вспышек для карликов. Согласно Oláh et al. (2021), найденное количество сверхгигантов со вспышками составляет около 0.3% от всего числа звезд высокой светимости, для которых в архиве телескопа Кеплер имеются данные наблюдений. Авторы цитируемой работы рассматривают аргументы в пользу предположения о едином механизме генерации вспышек для звезд-гигантов и карликов. Как указывалось выше, наше внимание привлекли объекты, входящие в выборки гигантов в списке Oláh et al. (2021), 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 Yang and Liu (2019), так и в работе Oláh et al. (2021) содержатся данные о вспышечной активности КIC 5428626. Всего представлены сведения о 143 вспышках с энергией $\lg E$ в диапазоне от 34.8 до 37.4. На рис. 3 приводятся данные об изменении вспышечной активности объекта в течение наблюдений на космическом телескопе Кеплер (рис. 3a) и фазовая кривая, построенная по этим данным (рис. 3b).

Спектр мощности изменений величин $\lg E$ со временем характеризуется значительной зашумленностью: нет ярко выраженных пиков, в частности, пика, соответствующего периоду вращения звезды P_{rot} . Об отсутствии связи $\lg E$ и P_{rot} свидетельствует и гистограмма распределения фаз (рис. 3c), на которых происходили вспышки. Отметим, что, если не рассматривать вспышки с энергией $\lg E$ больше 36.2, то можно предположить, что уровень вспышечной активности звезды остается примерно постоянным и находится в диапазоне 35–36 (рис. 3d). Распределение величин $\lg E$ имеет продолжение вплоть до значения 37.4; подобный характер имеет большинство гистограмм для объектов, изученных Oláh et al. (2021).

4. АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ КIC 3324644

Отметим, что в таблице B1 (Oláh et al. 2021) помимо КIC 5428626 имеются данные еще об одном быстровращающемся гиганте с периодом вращения менее трех суток — КIC 3324644 ($P_{\text{rot}} = 2.75$ сут.). Эффективная температура звезды равна 4451 К, а радиус — $3.9R_{\odot}$. Однако мы отказались от дальнейшего анализа данных для этого объекта, поскольку вид его кривой блеска с узкими деталями и изломами не вполне соответствует признакам только вращательной модуляции (см. рис. 4, где приведены данные сета #3). Это безусловно интересный объект, хотя сведения в архиве SIMBAD о нем противоречивы. В основных данных источник упоминается как

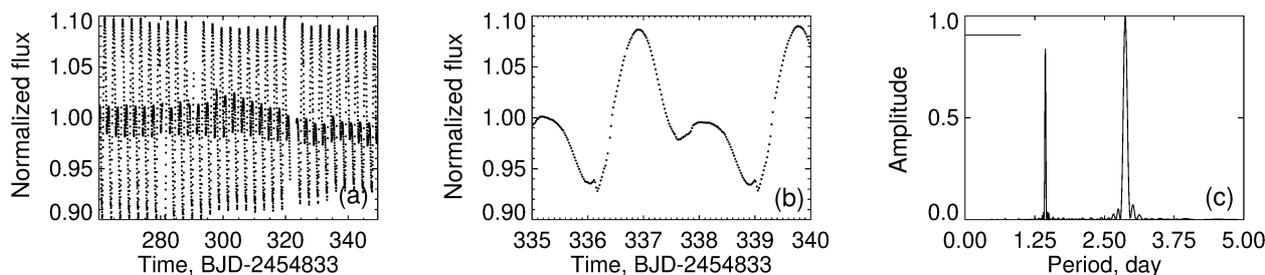


Рис. 4. Панель (а) — кривая блеска для KIC 3324644, (б) — в увеличенном масштабе кривая блеска для интервала длительностью 5 суток, (с) — спектр мощности переменности блеска. В качестве примера данные приведены для наблюдений в сети #3.

ROTSE1 J190333.20 + 382912.5 — классическая цефеида, объект типа δ Cep. Кроме того, он рассматривается как возможный кандидат в звезды с планетными системами — KOI-3781. Этот уникальный объект заслуживает дальнейших исследований, однако для наших целей — изучения звезд типа FK Com — он явно не подходит.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе по результатам анализа фотометрических наблюдений на космическом телескопе Кеплер была изучена звезда KIC 5428626, которая в статье Oláh et al. (2021) рассмотрена как вспыхивающий быстровращающийся гигант (143 вспышки, период вращения $P_{\text{rot}} = 2.607$ сут.). С учетом результатов нашего исследования и имеющихся в литературе данных считаем, что KIC 5428626 является подходящим кандидатом для установления ее принадлежности к группе звезд типа FK Com. Наш анализ подтвердил выводы о быстром вращении и высокой вспышечной активности KIC 5428626. Для подтверждения постоянства лучевой скорости KIC 5428626 (отсутствие двойственности), так же, как и для других кандидатов, требуется проведение спектральных наблюдений. Поскольку блеск звезды в системе K_{mag} составляет $13^{\text{m}}.980$, спектральные наблюдения могут быть выполнены только на телескопе с очень большой апертурой, например, на 6-м телескопе БТА САО РАН.

Наш анализ данных показал, что еще один гигант из списка объектов Oláh et al. (2021) с периодом вращения менее трех суток — KIC 3324644 ($P_{\text{rot}} = 2.75$ сут.) — несмотря на его уникальность, для наших целей изучения звезд типа FK Com явно не подходит.

БЛАГОДАРНОСТИ

В настоящей работе использовались сведения из астрономической базы данных SIMBAD,

функционирующей при CDS, Страсбург, Франция. Также используются данные, собранные миссией Kepler и полученные из архива данных MAST в Институте исследований космоса с помощью космического телескопа (STScI). Финансирование миссии Kepler обеспечивается Дирекцией НАСА по Научным программам. STScI управляется Ассоциацией Университетов по Исследованиям в Астрономии, Инк., по контракту НАСА NAS 5-26555.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект 21-52-53022).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. D. Costa, B. L. Canto Martins, J. P. Bravo, et al. *Astrophys. J.* **807**, id. L21 (2015).
2. K. Oláh, Z. Kóvári, M. N. Günther, et al. *Astron. and Astrophys.* **647**, id. A62 (2021).
3. M. H. Pinsonneault, Y. Elsworth, C. Epstein, et al. *Astrophys. J. Suppl.* **215**, id. 19 (2014).
4. V. B. Puzin, I. S. Savanov, E. S. Dmitrienko, et al. *Astrophysical Bulletin* **71**, 189 (2016).
5. I. S. Savanov, *Astrophysical Bulletin* **74**, 288 (2019).
6. J. Tayar, T. Ceillier, D. A. García-Hernández, et al. *Astrophys. J.* **807**, id. 82 (2015).
7. H. Yang and J. Liu, *Astrophys. J. Suppl.* **241**, id. 29 (2019).

KIC 5428626—New FK Com-Type Star Candidate**I. S. Savanov¹ and E. S. Dmitrienko²**¹Institute of Astronomy, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119017 Russia²Sternberg Astronomical Institute, Moscow State University, Moscow, 119234 Russia

According to the results of analysis of the Kepler space telescope photometric observations, we studied a star KIC 5428626, which was previously noted as a rapidly rotating giant with a flare activity. We have estimated the spottedness parameters S of this object (7–12% of the area of the total visible surface of the star) and its differential rotation ($\Delta\Omega$ is 0.016 rad/day). The positions (longitudes) of the dominant active region on the surface of the star were found and their evolution over time was traced: cyclic variations of the positions with a characteristic time of about 400 days are possible. A similar conclusion has previously been made about the existence of cyclic variations in the positions of active regions of the star FK Com—the prototype of stars under study. KIC 5428626 has a high flare activity. The literature provides data on 143 flares with the energy $\log E$ ranging from 34.8 to 37.4. Results of the study and data available in the literature allow us to consider KIC 5428626 as an attractive target for setting forth its possible belonging to the group of FK Com-type stars.

Keywords: *stars: activity—stars: individual: KIC 5428626*