

КIC 7732964 - ВОЗМОЖНЫЙ КАНДИДАТ В ЗВЕЗДЫ ТИПА FK COM

Е.С.ДМИТРИЕНКО¹, И.С.САВАНОВ², В.Б.ПУЗИН¹

Поступила 24 февраля 2021

Принята к печати 3 мая 2021

В статье приводится краткий обзор исследований выполненных нами ранее, посвященных поиску кандидатов в звезды, гиганты типа FK Com, и анализ данных для еще одного нового кандидата - звезды KIC 7732964. Для установления принадлежности KIC 7732964 к этой группе звезд требуются дальнейшие работы по изучению эволюционного статуса звезды (карлик, субкарлик или гигант). Звезда имеет быстрое вращение и высокую вспышечную активность, которые более характерны для звезд карликов или субгигантов. Как и для других кандидатов, в случае KIC 7732964 требуются дополнительные спектральные наблюдения с целью установления отсутствия двойственности, уточнения величины параметра ускорения силы тяжести и спектральной классификации.

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

1. Введение. Несмотря на значительный интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com (см., например, в [1]) и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия не было достоверных открытий звезд этого типа. В следующих разделах статьи мы приводим краткий обзор исследований выполненных нами ранее, посвященных поиску кандидатов в звезды типа FK Com, и анализ данных для еще одного нового кандидата - звезды KIC 7739728.

В серии наших предыдущих работ (см., например их обзор в [2]) мы сделали попытку выявления кандидатов звезд типа FK Com по изучению их фотометрической переменности. Наши исследования были основаны на поиске возможных кандидатов в звезды типа FK Com среди объектов из базы данных высокоточных фотометрических наблюдений с космическим телескопом Кеплер.

Еще одну возможность поиска кандидатов в объекты типа FK Com открыло исследование [3], авторы которого проанализировали кривые блеска из архива космического телескопа Кеплер и спектры ярких рентгеновских источников в поле зрения Кеплера (обзор KSwAGS). Согласно [3], 18 объектов являются активными гигантами или субгигантами и могут принадлежать к звездам типа FK Com. Один из выделенных в [3] объектов - KIC 7739728 (KSw19), классифицированный, как G6-7 III звезда, был ранее детально изучен нами

в [2].

Другой объект, рассмотренный в [3], был исследован авторами [4] по наблюдениям с помощью ESPaDOnS-CFHT и предложен как аналог звезд типа FK Com. Эта звезда, KIC 7732964, имеет массу 0.84 массы Солнца, лежит у основания ветви красных гигантов и имеет $v \sin i = 23 \text{ км с}^{-1}$. Кроме того, согласно [4] (см. также ссылки в этой статье), KIC 7732964 характеризуется, как звезда спектрального класса G6-7IV-III, яркостью $11^{\text{m}}.1$ в фильтре V. Лучевая скорость KIC 7732964 составляет $18.4 \pm 0.9 \text{ км с}^{-1}$, наличие магнитного поля не является достоверным - $B_z = 9.4 \pm 10.0 \text{ Гс}$. Эффективная температура звезды равна 5000 К, логарифм ускорения силы тяжести - $\log g = 4.1 \pm 0.4$, период вращения $P = 2.444 \text{ сут}$.

Согласно [5], звезда обладает высокой вспышечной активностью - за время наблюдений с телескопом Кеплер было зарегистрировано 335 вспышек с энергией $L(\text{fl})/L(\text{KEPLER}) = 5.99 \cdot 10^{-4}$.

2. *KIC 7732964*. Мы провели анализ всех имеющихся для KIC 7732964 данных в архиве космического телескопа Кеплер (18 интервалов наблюдений). Их обработка была аналогична примененной в наших предыдущих работах (см. в [2]). Исследование было выполнено в два этапа. Первоначально были независимо проанализированы данные каждого из 18 сетов. Для примера, на рис.1 представлены кривые блеска KIC 7732964, соответствующие им спектры мощности и фазовые диаграммы для наблюдений в пяти сетах. Хорошо заметна периодическая модуляция блеска, обладающая заметной переменностью амплитуды, и многочисленные вспышки. На спектрах, построенных нами по набору данных для каждого сета мощности, имеются пики, соответствующие величине периода P вращения звезды на широте, на которой в данный интервал наблюдений находилась доминирующая группа пятен. Было найдено, что соответствующие максимальные величины P меняются от 2.41 до 2.50 сут и находятся в согласии с оценкой из [4].

Амплитуда переменности блеска лежит в пределах 4-8% от уровня среднего блеска звезды. Данные на рис.1 хорошо иллюстрируют высокий уровень активности звезды.

При дальнейшем анализе нами было отобрано в совокупности 65261 единичных измерений за период наблюдений около 4 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) свидетельствует о сложном характере изменений кривой блеска KIC 7732964, присущем звездам с вращательной модуляцией блеска. Происхождение каждого из пиков на спектре мощности скорее всего связано с наличием пятен (или групп пятен), расположенных

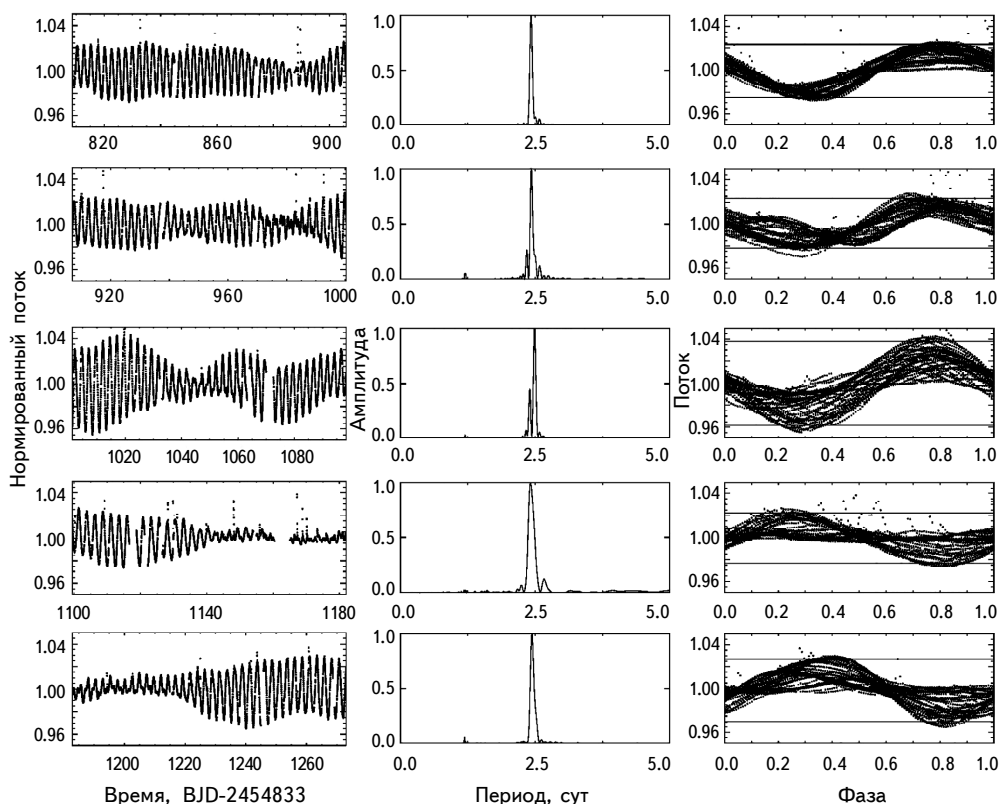


Рис.1. Слева – кривая блеска для KIC 7732964, в центре – спектр мощности переменности блеска, справа – фазовая диаграмма переменности блеска (горизонтальные линии характеризуют величину амплитуды переменности блеска). В качестве примера данные приведены для наблюдений в 5 из 18 сетов.

на различных широтах звезды, которая обладает дифференциальным вращением. Кроме того, изменения периодов переменности блеска могут соответствовать появлению и исчезновению активных областей, лежащих на различных широтах, на поверхности звезды.

Значения величины P лежат в диапазоне 2.40-2.55 сут (рис.2b) и находятся в согласии с выполненными ранее определениями для максимальных значений P , установленными по каждому из 18 сетов наблюдений. Нами было вычислено время запаздывания (lap time, LT), за которое одна из активных областей на экваторе вновь сравнивается с отстающей или опережающей ее активной областью на другой широте. Оценка LT была получена из анализа спектров мощности изменений амплитуд переменности кривой блеска KIC 7732964 и составила величину порядка 500 сут (рис.2c), что соответствует величине параметра $\Delta\Omega$, равной 0.013 рад./сут.

Запятненность S поверхности звезды была установлена 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 S меняется в пределах от 4 до 8% от площади всей видимой поверхности звезды (точность определения менее 0.1%).

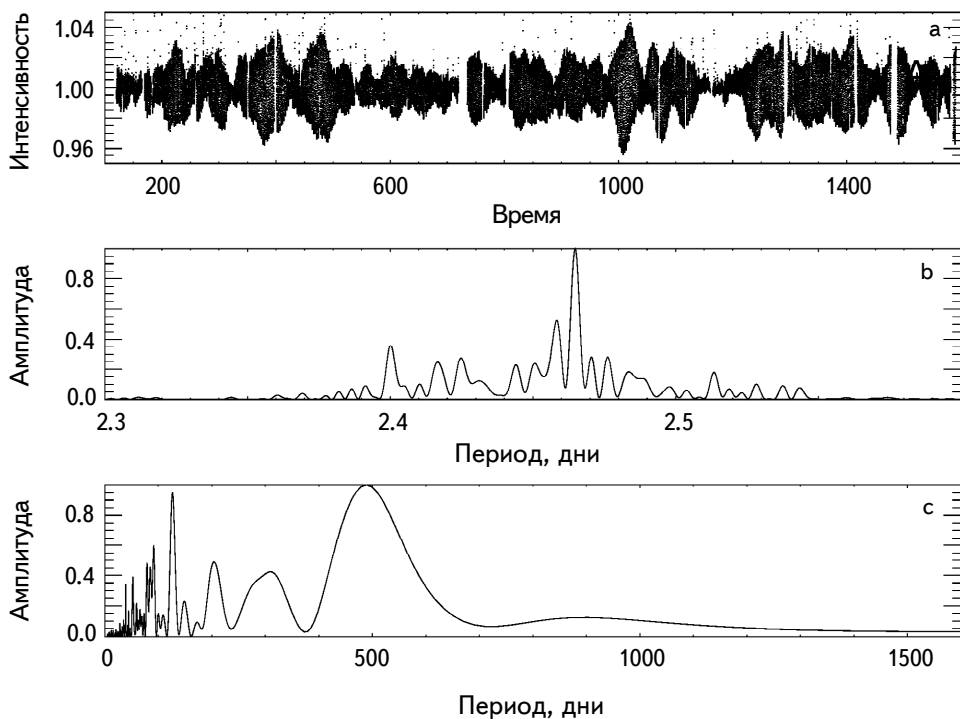


Рис.2. а) Полная кривая блеска объекта KIC 7739728 на основе данных из архива космического телескопа Кеплер. б) Спектр мощности изменений блеска для исследуемого объекта (в области, содержащей главный пик). в) Спектры мощности изменения амплитуды переменности блеска для каждого сета, охватывающего один период вращения звезды.

3. Обсуждение результатов и заключение. Нашему пониманию природы проэволюционировавших, быстро вращающихся, магнитно - активных и явно одиночных звезд типа FK Com значительно мешает их чрезвычайная редкость: в настоящее время только две звезды, помимо самой FK Com, считаются членами этого класса. Сам факт их существования указывает на исключение из общего правила медленного осевого вращения гигантов, предсказываемого теорией звездной эволюции. Гипотезы образования звезд этого типа предполагают проявления действий процессов, связанных со слиянием компонентов в тесной двойной системе, с резким гипотетическим

выносом углового момента из недр звезды, с передачей момента вращения из околос звездного окружения и проч. (см. обсуждения в [1,2]). Звезды типа FK Com несомненно занимают первые места в списке такого рода объектов.

Анализируя данные архива космического телескопа Кеплер, мы сделали попытку выявления кандидатов звезд типа FK Com по изучению их фотометрической переменности. Наше исследование [6] было посвящено 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 для порядка 8000 объектов для интервала Q3 были выбраны 4 звезды, параметры которых соответствуют звездам типа FK Com (по температурному диапазону, ускорению силы тяжести и периоду вращения). Кроме того, было установлено, что эти звезды имеют значительную амплитуду переменности блеска, что должно свидетельствовать о заметной запятненности их поверхности. Нами были определены периоды вращения и сделаны оценки параметра дифференциального вращения этих объектов. Были найдены положения доминирующей активной области (долготы) на поверхности звезд, а также их перемещения по поверхности с течением времени. В целом, характер таких смещений совпадает с установленным ранее для FK Com и HD199178 [7].

Сводка основных сведений об изученных нами объектах - кандидатах в звезды типа FK Com, приводится в табл.1 в [2]. Объекты из списка, опубликованного нами в [2], могут рассматриваться, как потенциальные кандидаты в звезды такого типа. Для окончательного изучения нами были отобраны 4 объекта с лучшими кривыми блеска, наиболее проявляющие свойства регулярной вращательной модуляции.

В настоящей работе по результатам анализа фотометрических наблюдений с космическим телескопом Кеплер была исследована звезда KIC 7732964, которая в [3,4] была предложена в качестве потенциального кандидата в звезды этого типа. Наш анализ и имеющиеся в литературе данные могли бы сделать KIC 7732964 привлекательным объектом для установления принадлежности к группе звезд типа FK Com, если бы не указания в [4] о том, что это может быть звезда карлик или субкарлик, а не гигант. Также следует иметь в виду, что найденные быстрое вращение и высокая вспышечная активность более характерны для звезд карликов и субгигантов [8-10]. Используя данные Gaia о параллаксе KIC 7732964 ($\pi = 5''.4809$), можно найти абсолютную звездную величину объекта, которая также свидетельствует, что изучаемая звезда скорее является карликом, чем гигантом.

Как и для других кандидатов, в случае KIC 7732964 требуются дополнительные спектральные наблюдения, как с целью анализа постоянства

лучевой скорости звезды (отсутствия двойственности), так и для уточнения величины параметра ускорения силы тяжести (для него в [4] приводится очень широкий диапазон) и спектральной классификации G6-7IV-III.

Авторы благодарны рецензенту за полезные замечания.

Исследование (раздел статьи 2) выполнено при поддержке (ИСС, ВБП) гранта РФФИ (проект 21-52-53022).

¹ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга,
Москва, Россия, e-mail: issesd@rambler.ru

² Учреждение Российской академии наук, Институт астрономии РАН,
Москва, Россия

KIC 7732964 - POSSIBLE CANDIDATE FOR FK COM TYPE STARS

E.S.DMITRIENKO¹, I.S.SAVANOV², V.B.PUZIN¹

The article provides a brief overview of our previous research for finding candidates of the FK Com giant stars and the analysis of the data for new candidate KIC 7732964. To determine whether KIC 7732964 belongs to this group of stars, further work is required to study the evolutionary status of the star (dwarf, sub-dwarf, or giant). The star is characterized by fast rotation and high flare activity which are more typical for dwarf and subgiant stars. As for the other candidates, additional spectral observations of KIC 7732964 are required in order to establish the absence of its binarity and to clarify the value of the gravity parameter $\log g$ and its spectral classification.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. A.V.Tutukov, A.V.Fedorova, Astron. Rep., **54**, 156, 2010.
2. I.S.Savanov, Astrophys. Bull., **74**, 288, 2019.
3. S.B.Howell, E.Mason, P.Boyd et al., Astrophys. J., **831**, 27, 2016.

4. *J.Sikora, J.Rowe, S.B.Howell et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **496**, 295, 2020.
5. *J.R.A.Davenport*, Astrophys. J., **829**, 23, 2016.
6. *V.B.Puzin, I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **58**, 471, 2014.
7. *V.B.Puzin, I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **61**, 693, 2017.
8. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **56**, 116, 2012.
9. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, Astron. Rep., **55**, 890, 2011.
10. *E.S.Dmitrienko, I.S.Savanov*, Astron. Rep., **61**, 122, 2017.