

## ЗВЕЗДА КIC 7739728 — НОВЫЙ КАНДИДАТ В ЗВЕЗДЫ ТИПА FK COM

© 2019 И. С. Саванов<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

Поступила в редакцию 23 марта 2018 года; после доработки 8 июля 2019 года; принята к публикации 8 июля 2019 года

В статье приводится описание свойств объектов малочисленной группы звезд типа FK Com, а также краткий обзор выполненных нами ранее исследований, посвященных поиску кандидатов в звезды этого типа. Рассмотрены данные для еще одного нового кандидата — звезды KIC 7739728. Кривая блеска этой звезды ярко проявляет свойства регулярной вращательной модуляции, вращение носит дифференциальный характер (параметр  $\Delta\Omega = 0.010$ ), наблюдаются эффект переключения положений активных долгот и циклическое изменение положения пятен на поверхности звезды.

Ключевые слова: *звезды: активность — звезды: индивидуальные: KIC 7739728*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Звезда FK Comae Berenices (HD 117555, далее FK Com) является прототипом одиночных быстро-вращающихся хромосферно-активных звезд спектральных классов G–K [1]. Спектральный класс FK Com оценивается как G5 III, проекция скорости вращения звезды на луч зрения равна  $159 \text{ км с}^{-1}$ . Фотометрический период вращения FK Com составляет 2.4 суток. При анализе фотометрических наблюдений [2] был выявлен эффект смены положения доминирующей активной области (флип-флопа) на поверхности звезды по долготе на величину порядка  $180^\circ$ . Анализ доплеровских карт и фотометрических данных позволил установить, что вращение FK Com является дифференциальным (коэффициент дифференциального вращения по разным оценкам составляет 0.012–0.03). Циклы активности FK Com лежат в интервале времени от 4.5 до 6.1 года. FK Com является очень активной звездой позднего спектрального класса, которая интенсивно изучается в ходе наземных фотометрических и спектральных наблюдений, а также многочисленных космических ультрафиолетовых и гамма-наблюдений (см. о них подробнее в [3, 4]). Сведения об основных свойствах FK Com можно также найти в работе [2] и в серии статей Корхонен и соавторов [4].

Звезда V1794 Cygni (HD 199178) — второй представитель группы звезд типа FK Com [1]. Спектральный класс HD 199178 оценивается как G5 III–IV, а проекция скорости вращения звезды на луч зрения —  $80 \text{ км с}^{-1}$  [5]. Период ее

фотометрической переменности равен 3.337 суток [6]. Согласно [6], цикл активности звезды близок к 9.07 года, цикл изменений амплитуды вращательной модуляции блеска оценивается в 2.84 года. Авторы [7, 8] нашли, что период фотометрической переменности HD 199178 составляет  $P = 3.30025$  суток и подтвердили существование цикла активности длительностью 4.2 года. По оценке [6], эффективная температура фотосферы звезды лежит в пределах от 5300 до 5450 K, масса равна  $1.7\text{--}1.9 M_\odot$ . Результаты картографирования температурных поверхностных неоднородностей HD 199178 [9, 10] указали на присутствие холодных пятен на высоких широтах и возможное антисолнечное дифференциальное вращение, однако значительная фотометрическая переменность (согласно [9]) может быть обусловлена эволюцией экваториальных пятен. Многочисленные свидетельства высокой магнитной активности FK Com были получены при анализе ее ультрафиолетовых наблюдений с IUE и HST, а также рентгеновских наблюдений [11]. Кроме самой FK Com, в группу звезд этого типа входят ET Dra (BD +70 959) и уже упомянутая HD 199178. Звезда UZ Lib была исключена из объектов, принадлежащих к этому типу. Несмотря на значительный интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com (см., например, в [12]) и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия не было достоверных открытий звезд этого типа.

В следующих двух разделах статьи мы приводим краткий обзор выполненных нами ранее исследований, посвященных поиску кандидатов в звезды

\*E-mail: isavanov@inasan.rssi.ru

типа FK Com, и анализ данных для еще одного нового кандидата — звезды KIC 7739728.

## 2. ПОИСК КАНДИДАТОВ

Анализируя данные архива космического телескопа Кеплер, мы сделали попытку выявления кандидатов звезд типа FK Com по исследованию их фотометрической переменности. Наше исследование [13] 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 из интервала Q3 были выбраны четыре 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 HD 199178. Перемещения характеризуются как монотонными сдвигами на промежутках времени порядка сотен дней, так и сменами положения на величину порядка  $180^\circ$  (флип-флопами) и фазовыми сдвигами на величины менее 0.4 по фазе. За рассматриваемый нами интервал наблюдений число смен положений наиболее активной долготы для изучаемых звезд различается от одного для KIC 11862915 до семи для KIC 5785906 (для этой звезды еще зарегистрировано пять фазовых сдвигов). Характерное время интервалов между сменами положений активных долгот лежит в диапазоне от 1500 суток (порядка 4 лет) до 200 суток (0.54 года), что сопоставимо с приводимыми для FK Com интервалами между флип-флопами (от 0.8 до 4.4 года). В дальнейшем по результатам анализа фотометрических наблюдений с космическим телескопом Кеплер были выбраны и исследованы 33 объекта, параметры которых соответствуют параметрам звезды типа FK Com—HD 199178 и которые могут рассматриваться как потенциальные кандидаты в звезды такого типа [14]. Для детального изучения нами были отобраны четыре объекта с наилучшими кривыми блеска, наиболее проявляющие свойства регулярной вращательной модуляции. Наш фотометрический анализ был основан на всех имеющихся о них данных в архиве космического телескопа Кеплер (длительность

Основные данные об исследуемых объектах

Звезда	Kep mag, зв.вел.	$T_{\text{eff}}$ , K	lg $g$	$P$ , сутки
FK Com	8.245 <sup>1</sup>	5000	3.50	2.400
HD 199178	7.24 <sup>1</sup>	5300	3.50	3.337
ET Dra	9.67 <sup>1</sup>	4820	3.00	13.982
2996903	12.850	4809	3.596	1.733
4646159	13.344	5042	3.607	3.272
5785906	13.055	4751	3.665	7.739
11862915	12.450	4831	3.657	2.327
5637582	13.842	5759	3.404	11.189
8696889	12.900	5763	3.490	16.296
8915647	13.266	5729	3.133	15.410
9426197	12.694	5486	3.434	10.503
7739728	12.502	4817	4.09	10.742

<sup>1</sup> Для FK Com, HD 199178 и ET Dra приведен блеск в фильтре V.

наблюдений составляла почти 4 года). Проведены определения периодов вращения и выполнены оценки параметров дифференциального вращения этих объектов. Величины  $v \sin i$  меняются от  $12 \text{ км с}^{-1}$  до  $21 \text{ км с}^{-1}$ , что несомненно меньше, чем в случае упоминавшихся выше прототипов FK Com и HD 199178 ( $162 \text{ км с}^{-1}$  и  $80 \text{ км с}^{-1}$  соответственно), но тем не менее попадают под критерий, рассматриваемый в качестве определения быстрого ротатора для звезд данного типа (скорость вращения более  $10 \text{ км с}^{-1}$  [15]). Найдены положения доминирующей активной области (долготы) на их поверхности. Наши оценки показали, что у всех четырех изучаемых звезд величина параметра запятненности составляет порядка 1% от площади всей видимой поверхности звезды.

Основные сведения об изученных нами объектах — кандидатах в звезды типа FK Com, — приводятся в таблице 1.

## 3. KIC 7739728

Еще одна возможность поиска кандидатов в объекты типа FK Com была открыта в исследовании [16]. Его авторы проанализировали кривые блеска из архива космического телескопа Кеплер, а также спектры, полученные в ходе наземных наблюдений 20 ярких рентгеновских источников в поле зрения телескопа Кеплер. По заключению [16], 18 из рассматриваемых ими объектов являются активными гигантами или субгигантами и могут принадлежать к звездам типа FK Com.

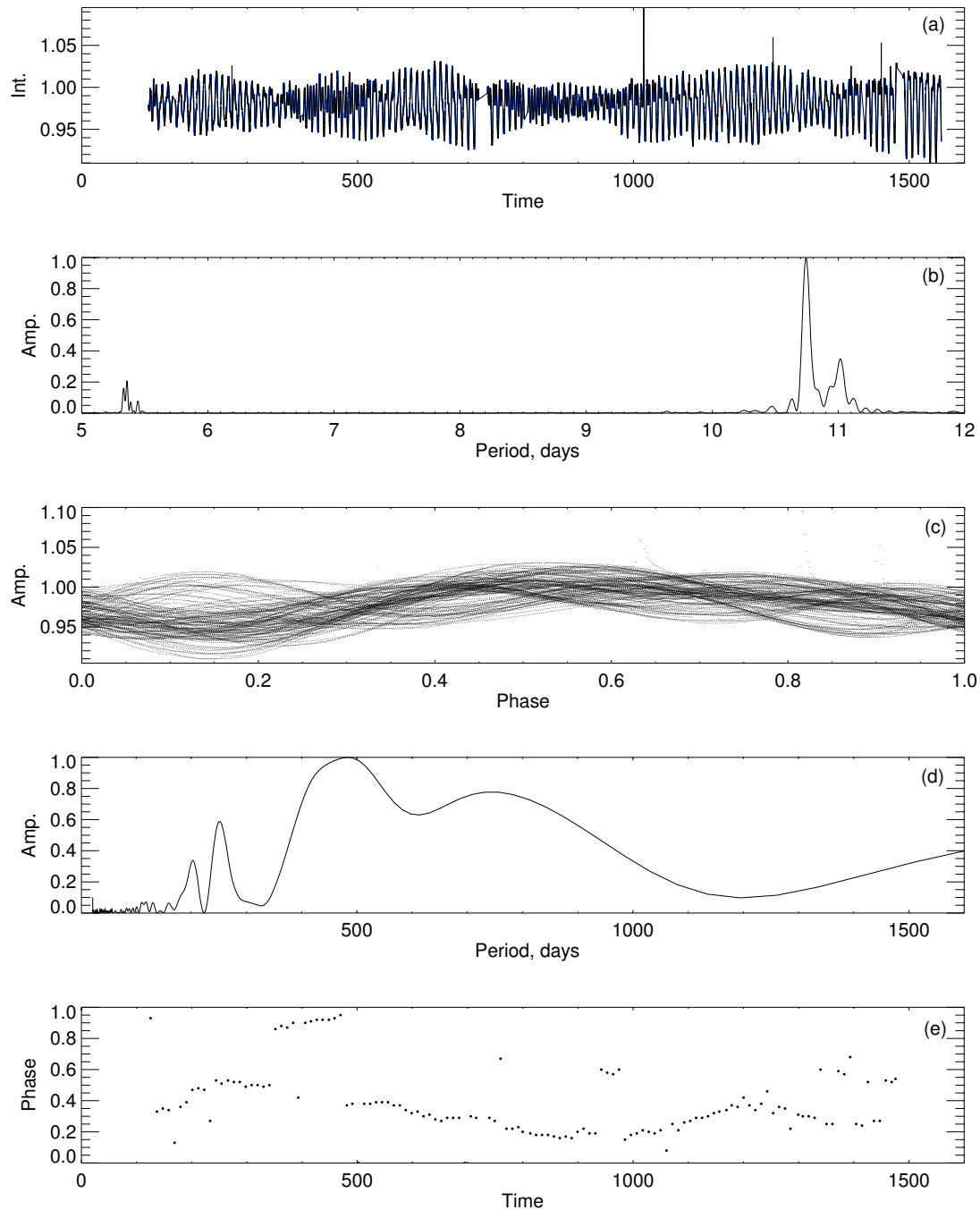
Наше внимание привлек один из изученных в работе [16] объектов — КIC 7739728 (KS 19), классифицированный как звезда G6–7 III. Большим достоинством исследования [16] является то, что для изучаемых звезд его авторами были получены спектральные наблюдения. Согласно [16], спектральные характеристики КIC 7739728 оказались подобны наблюдаемым у FK Com: сильная эмиссия в линиях Ca II H и K, линия H $\alpha$  со сложной эмиссионной структурой. Звезда обладает быстрым вращением — оценки величины параметра  $v \sin i$  составляют 103–107 км с<sup>-1</sup>. Автором каталога звездных вспышек [17] на кривой блеска КIC 7739728 было установлено наличие 149 вспышек с энергиями  $L_A/L_{Kp}$  до  $9.66 \times 10^{-5}$ .

Период вращения КIC 7739728, согласно [16], составляет  $P = 10.74$  суток. Полученная оценка  $P$  находится в полном согласии с результатом обзора [18], в котором для этой звезды приводится величина  $P = 10.775 \pm 0.004$  суток. При этом отметим, что исследование [19] привело к обнаружению двух пиков на спектре мощности, соответствующих периодам 10.778 и 10.968 суток, что может свидетельствовать о наличии дифференциального вращения звезды. В нашем анализе мы рассмотрели все имеющиеся для КIC 7739728 данные в архиве космического телескопа Кеплер (18 интервалов наблюдений). Их обработка была аналогична выполненной нами ранее в работах [13, 20, 21]. При дальнейшем анализе нами было отобрано в совокупности 63 958 единичных измерений за период наблюдений около четырех лет. Данные для каждого интервала наблюдений были нормированы на среднее значение, все интервалы были объединены в единую кривую блеска (рис. 1а). Рассчитанный спектр мощности (рис. 1б) свидетельствует о достаточно сложном характере изменений кривой блеска КIC 7739728, присущем звездам с вращательной модуляцией блеска. Происхождение каждого из пиков на спектре мощности 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 соответствовать изменениям и эволюции (появлению и исчезновению) активных областей, лежащих на различных широтах на поверхности звезды. Значения величин  $P$ , установленные по пикам на рис. 1б (10.742 и 11.020 суток), находятся в согласии с выполненными ранее определениями и указывают на дифференциальное вращение КIC 7739728 (параметр  $\Delta\Omega$  составляет 0.010 и согласуется с оценкой из работы [19]). Нами было определено 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. Оценка LT была получена из анализа спектров мощности изменений амплитуд переменности кривой блеска КIC 7739728 и составила величину порядка 480 суток (рис. 1с), что соответствует величине параметра  $\Delta\Omega$ , равной 0.013, и сопоставимо с найденной нами ранее по расщеплению пиков. Из анализа положения минимума на кривой блеска для каждого из сетов (рис. 1е) мы выполнили оценку положений доминирующей активной области (долготы) на поверхности активной звезды. Положения активной долготы не являются постоянными и смещаются по поверхности звезды с течением времени. Кроме того, они несомненно указывают на присутствие эффекта смены положения доминирующей активной области (флип-флопа) на поверхности активной звезды, подобно характерным для FK Com. Наше исследование [22] привело к принципиально новому заключению о существовании двух систем активных областей на поверхности FK Com. Мы установили, что положения каждой из этих систем претерпевают циклические изменения. Характерное время изменения положения первой из систем составляет порядка 3330 суток (9.12 года), а изменения положений второй активной области наилучшим образом объясняются комбинацией времен переменности в 4140 суток (11.3 года) и 730 суток (2 года). Аналогичные циклические изменения заметны и в эволюции положений активных областей на поверхности КIC 7739728 (характерное время эволюции составляет порядка 1000 суток (2.7 года)). Запятненность ( $S$ ) поверхности звезды была установлена с помощью методики, предложенной в работе [23] и модифицированной нами в исследовании [24]. Параметр  $S$  определяется как отношение площади всех пятен на поверхности звезды к площади всей ее видимой поверхности. Наша оценка показала, что  $S$  составляет порядка 7% от площади всей видимой поверхности звезды (точность определения менее 0.1%).

#### 4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы значительно возрос интерес к быстровращающимся одиночным гигантам поздних спектральных классов, само существование которых является исключением из общего правила медленного осевого вращения гигантов, предсказываемого теорией звездной эволюции. Природа объектов с такими свойствами остается невыясненной. Гипотезы их образования предполагают проявления действий процессов, связанных со слиянием компонент в тесной двойной системе, с резким гипотетическим выносом углового момента из недр звезды, с передачей момента вращения из околосреднего окружения и проч. (см. обсуждения



(a) — полная кривая блеска объекта KIC 7739728, построенная на основе данных, доступных в архиве космического телескопа Кеплер; (b) — спектры мощности изменений блеска для исследуемого объекта (в области, содержащей главный пик); (c) — фазовые диаграммы изменения блеска для каждого сета, охватывающего один период вращения звезды; (d) — спектры мощности изменения амплитуды переменности блеска для каждого сета, охватывающего один период вращения звезды; (e) — положения активных областей на поверхности исследуемого объекта.

в статьях [12, 15]). Звезды типа FK Com несомненно занимают первые места в списке такого рода объектов. Сами гиганты FK Com и HD 199178 часто называют королем и вице-королем вращения [11]. К настоящему времени число открытых быстровращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов все еще остается невелико.

Чаще всего рассматривались 17 объектов из работы [25] и 10 — по данным исследования [15] (есть предположение, что несколько из них относятся к числу затменных звезд). До последнего времени список изученных быстровращающихся гигантов включал 23 звезды [26]. Авторы [26] пришли также к важному заключению о необходимости наблю-

дений звезд данного типа в ИК-диапазоне (вплоть до 22 мкм, наблюдения с космическим телескопом WISE) вследствие обнаружения ими ИК-избытка излучения у примерно половины объектов из их списка. При анализе гипотез возникновения звезд данного типа этот факт мог бы служить указанием на значительное влияние околосредного окружения на возникновение быстровращающегося гиганта и, в принципе, мог бы свидетельствовать в пользу последней из гипотез, перечисленных выше. Наконец, недавно появившееся исследование [27], содержащее результаты анализа вращения 361 красного гиганта (данные архива Кеплер), несомненно существенно увеличит возможности поиска новых кандидатов в звезды типа FK Com.

В настоящей работе по результатам анализа фотометрических наблюдений на космическом телескопе Кеплер была исследована звезда KIC 7739728, параметры которой соответствуют звездам типа FK Com и которая может рассматриваться как потенциальный кандидат для включения в число звезд этого типа. На кривой блеска этой звезды ярко проявляются свойства регулярной вращательной модуляции, наблюдается эффект переключения положений активных долгот, циклическое изменение положения пятен на поверхности звезды. Наш анализ и имеющиеся в литературе данные [16] делают KIC 7739728 привлекательным объектом для дальнейшего исследования с целью установления принадлежности к группе звезд типа FK Com. Как и для других кандидатов, для изучения KIC 7739728 требуются дополнительные спектральные наблюдения с целью анализа постоянства лучевой скорости звезды, а также уточнения величины параметра ускорения силы тяжести (спектральная классификация G6–7 III не соответствует данным каталога MAST  $lg g = 4.09$ ).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. W. Vopp and R. E. Stencel, *Astrophys. J.* **247**, L131 (1981).
2. L. Jetsu, J. Pelt, and I. Tuominen, *Astron. and Astrophys.* **278**, 449 (1993).
3. T. Hackman, J. Pelt, M. J. Mantere, et al., *Astron. and Astrophys.* **553A**, 40H (2013).
4. H. Korhonen, S. V. Berdyugina, T. Hackman, et al., *Astron. and Astrophys.* **476**, 881 (2007).
5. D. P. Huenemoerder, *Astron. J.* **92**, 673 (1986).
6. L. Jetsu, J. Huovelin, I. Tuominen, et al., *Astron. and Astrophys.* **236**, 423 (1990).
7. K. Panov and D. Dimitrov, *Astron. and Astrophys.* **467**, 229 (2007).
8. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **53**, 1032 (2009).
9. K. G. Strassmeier, S. Lupinek, R. C. Dempsey, and J. B. Rice, *Astron. and Astrophys.* **347**, 212 (1999).
10. T. Hakman, L. Jetsu, and I. Tuominen, *Astron. and Astrophys.* **374**, 171 (2001).
11. T. R. Ayres, V. Kashyap, S. Saar, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **223**, 5 (2016).
12. A. V. Tutukov and A. V. Fedorova, *Astronomy Reports* **54**, 156 (2010).
13. V. B. Puzin, I. S. Savanov, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **58**, 471 (2014).
14. V. B. Puzin, I. S. Savanov, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **61**, 693 (2017).
15. J. Tayar, T. Ceillier, D. A. Garcia-Hernandez, et al., *Astrophys. J.* **807**, 82 (2015).
16. S. B. Howell, E. Mason, P. Boyd, et al., *Astrophys. J.* **831**, 27 (2016).
17. J. R. A. Davenport, *Astrophys. J.* **829**, 23 (2016).
18. A. M. Quillan, T. Mazeh, and S. Aigrain, *Astrophys. J. Suppl.* **211**, 24 (2014).
19. T. Reinhold and L. Gizon, *Astron. and Astrophys.* **583**, A65 (2015).
20. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **55**, 890 (2011).
21. I. S. Savanov and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **56**, 116 (2012).
22. V. B. Puzin, I. S. Savanov, E. S. Dmitrienko, et al., *Astrophysical Bulletin* **71**, 189 (2016).
23. S. S. Vogt, *Astrophys. J.* **250**, 327 (1981).
24. I. S. Savanov, *Astronomy Reports* **58**, 478 (2014).
25. M. H. Pinsonneault, Y. Elsworth, C. Epstein, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **215**, 19 (2014).
26. A. D. Costa, B. L. Canto Martins, J. P. Bravo, et al., *Astrophys. J.* **807**, L21 (2015).
27. T. Ceillier, J. Tayar, S. Mathur, et al., *Astron. and Astrophys.* **605**, A111 (2017).

### KIC 7739728—A New FK Com-Type Star Candidate Stars

I. S. Savanov

We present a study of the parameters of objects belonging to a sparsely populated group of FK Com-type stars, as well as a brief review of our earlier studies dedicated to the search for stellar candidates of this type. We consider the data for another new candidate—the star KIC 7739728. The light curve of this star clearly demonstrates properties of regular rotational modulation, the rotation exhibits a differential nature (the parameter  $\Delta\Omega = 0.010 \text{ rad day}^{-1}$ ), a flip-flop effect is observed in the positions of active longitudes, as well as cyclic variations of the spot positions on the star's surface.

Keywords: *stars: activity—stars: individual: KIC 7739728*