

УДК 524.3-337

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ FK Com

© 2014 В. Б. Пузин^{1*}, И. С. Саванов¹,
И. И. Романюк², Е. А. Семенко², Е. С. Дмитриенко³

¹Институт астрономии РАН, Москва, 119017 Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

³Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Москва, 119992 Россия

Поступила в редакцию 21 мая 2014 года; принята в печать 9 июня 2014 года

Представлены результаты новых спектрополяриметрических наблюдений FK Com с целью измерения величины продольной компоненты ее магнитного поля B_z . Наиболее интересная интерпретация наших результатов — предположение о том, что величина B_z значительно уменьшилась по сравнению с опубликованными в литературе результатами наблюдений этой звезды в 2008 г. Такое уменьшение величины продольной компоненты магнитного поля может быть аналогично зарегистрированным ранее для другой хромосферно-активной звезды II Peg вековыми изменениям B_z . С другой стороны, предполагая присутствие изменения величин B_z с фазой вращения, мы высказываем предположение о том, что изменения фазовой кривой B_z от 2008 к 2012 г. вызваны усилением пятна отрицательной полярности, приобретением им доминирующей роли и, как следствие, в целом более симметричным распределением магнитных областей.

Ключевые слова: *звёзды: магнитное поле — звёзды: активность — звёзды: индивидуальные: FK Com*

1. ВВЕДЕНИЕ

Звезда FK Comae Berenices (HD 117555, далее — FK Com) является прототипом одиночных быстровращающихся хромосферно-активных звезд спектральных классов G–K. Число звезд данного вида крайне малочисленно [1]. Кроме самого прототипа FK Com, в их число входят ET Dra (BD +70°959) и HD 199178. Звезда UZ Lib была исключена из объектов этого типа. Сама 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. ссылки на описание этих наблюдений в [2, 3]). Ссылки на литературные источники, в которых перечислены основные свойства FK Com, можно также найти в [4] и в серии статей Корхонен с соавторами (см. в [3]), ниже они приводятся согласно данным этих публикаций. Спектральный класс FK Com оценивается как G5 III, проекция скорости вращения звезды на луч зрения составляет 159 км с^{-1} . Фотометрический период вращения FK Com составляет $2^{\text{d}}.4$ [5]. Анализ фотометрических наблюдений [4]

выявил смену положения доминирующей активной области (флип-флопа) на поверхности звезды по долготе на величину примерно 180° . Анализ доплеровских карт и фотометрических данных позволил установить, что вращение поверхности 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 лет.

Особый интерес представляет исследование [6], в котором было выполнено сопоставление измененных измеренных величин продольного магнитного поля с положениями активных областей на поверхности звезды, установленными по доплеровским картам и результатам анализа фотометрической переменности звезды. Были найдены фазы периода вращения звезды, в которых достигаются максимальное ($271 \pm 24 \text{ Гс}$) и минимальное ($60 \pm 17 \text{ Гс}$) значения продольной компоненты магнитного поля. В качестве объяснения была предложена модель, в которой переменность магнитного поля объясняется изменением видимого положения двух активных областей, отстоящих друг от друга на 0.2 по фазе. Уникальные свойства звезды и указанные выше обстоятельства побудили нас провести новые независимые спектрополяриметрические наблюде-

*E-mail: vpuzin@inasan.ru

Среднее продольное магнитное поле FK Com

Дата	HJD 2400000+	Фаза	B_z , Гс
12.05.02	56050.26097	0.1834	81
12.05.02	56050.33876	0.2158	-61
12.05.02	56050.47696	0.2734	-34
12.05.03	56050.55856	0.3074	-141
12.05.03	56051.46487	0.6850	-104
12.04.04	56052.28542	0.0269	1
12.05.04	56052.37188	0.0629	81
12.05.04	56052.45314	0.0967	17
12.05.05	56052.55384	0.1387	-31
12.05.05	56053.29417	0.4471	-110
12.05.05	56053.44348	0.5093	-8
12.05.06	56054.37862	0.8989	21
12.07.29	56138.30906	0.8664	-10

ния FK Com с целью измерения величины продольной компоненты ее магнитного поля.

2. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ И ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Наблюдательный материал для определения величины продольного магнитного поля звезды был получен на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа САО. Журнал наблюдений приводится в таблице. Фазы наблюдений вычислялись по эфемеридам из [4]. Был использован анализатор круговой поляризации в сочетании с поворотной пластинкой $\lambda/4$ [7]. Наблюдательная программа включала исследуемый объект (FK Com), для контроля измерений регистрировались спектры стандарта магнитного поля (α^2 CVn), а также звезды с нулевым общим магнитным полем.

Спектральное разрешение составляло $R = 15\,000$. При наблюдениях применялась ПЗС-матрица размером 4600×2000 элементов. Полученный материал охватывал спектральный диапазон $4420\text{--}4970 \text{ \AA}$. Обработка данных проводилась стандартным методом в системе ESO MIDAS с пакетом программ Zeeman [8]. Первичная обработка включала в себя построение и последующее вычитание из всех рабочих снимков усредненного кадра подложки (bias), калибровку по длинам волн с использованием спектра Th-Ag-лампы, экстракцию одномерного спектра и его нормировку на континуум.

Для определения величины продольной компоненты магнитного поля B_z для FK Com была

выбрана методика, предложенная в [9] и подробно обсужденная в [10]. Ранее аналогичная методика уже применялась нами в [11, 12] для анализа поляризационных наблюдений субкарлика Bal 09, проведенных на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа САО РАН в 2010 и 2012 гг. По этой же методике были выполнены оценки B_z для стандартов магнитного поля (α^2 CVn и γ Equ) и звезд с нулевым общим магнитным полем. Согласно методике [9, 10], величина продольной компоненты магнитного поля определяется при некоторых предположениях, например, о слабом магнитном поле (как правило, менее 10 кГс).

Как и в [11, 12], величина продольной компоненты магнитного поля B_z определяется по отношению параметров Стокса V/I [10] из уравнения

$$V/I = -g_{\text{eff}} \frac{e}{4\pi m_e c^2} \lambda^2 \frac{1}{I_\lambda} \frac{dI}{d\lambda} B_z,$$

где g_{eff} — эффективный фактор Ланде, λ — длина волны в \AA , B_z — величина продольной компоненты магнитного поля.

В [11, 12] мы приводили аргументы в пользу того, что при многих спектрополяриметрических измерениях хорошо обоснованным является выбор величины g_{eff} , близкой к единице, а кроме этого, $g_{\text{eff}} = 1.2$ служит хорошим приближением для спектров Ар-звезд (стандарты магнитного поля α^2 CVn и γ Equ). Поэтому в нашем исследовании g_{eff} было выбрано равным 1.2.

Как и в [6], определение B_z для FK Com в рамках нашего исследования было выполнено методом регрессионного анализа. Метод позволяет получить одновременно оценки ошибок параметров регрессии и, следовательно, погрешность B_z .

Как указывалось, программа наших наблюдений также включала α^2 CVn и γ Equ — яркие магнитные звезды, для которых опубликованы многочисленные измерения продольной компоненты магнитного поля. Как правило, измерения B_z для α^2 CVn и γ Equ проводятся с целью калибровки и учета инструментальной поляризации.

3. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

На рисунке графически представлены результаты наших наблюдений, а также для сравнения результаты из [6] для FK Com. Представленные результаты допускают несколько интерпретаций. Среди них наиболее простым является предположение об отсутствии магнитного поля у изучаемой звезды. Следует учитывать, что погрешности наших измерений B_z примерно в три раза больше, чем в [6]. При этом можно предполагать, что магнитное поле не было зарегистрировано потому,

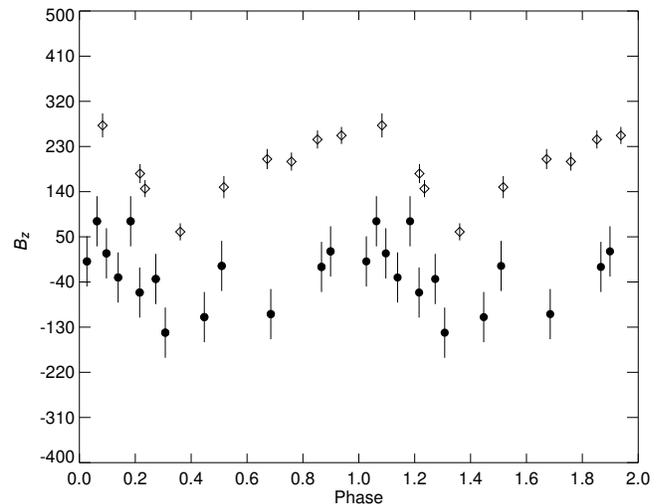
что оно значительно уменьшилось (см. ниже), и его величина стала ниже точности наших измерений.

Среднее значение B_z для FK Com по нашим измерениям составляет -23 Гс, а по данным [6] оно равно 189 Гс. Максимальные и минимальные значения B_z лежат в диапазонах: 81 Гс и -141 Гс в нашем случае, и 272 Гс -60 Гс — по данным [6]. Отметим, что промежуток времени между наблюдениями [6] и выполненными нами составляет 4 года, и указанное уменьшение B_z может быть аналогично зарегистрированным ранее вековым изменениям B_z для другой хромосферно-активной звезды II Peg (см. рис. 3 в [13]). Для II Peg авторы [13] пришли к заключению о систематическом уменьшении амплитуды переменности B_z в течении промежутка времени от 2004 до 2010 г. При этом было установлено значимое отличие от 0 Гс величины B_z для наблюдений во временном интервале от начала мониторинга до эпохи 2006.9. Это обстоятельство позволило авторам сделать заключение о присутствии большой магнитной области положительной полярности до указанной эпохи (2006.9) и более симметричного распределения магнитных областей после нее.

Возвращаясь к FK Com отметим, что есть возможность иначе интерпретировать данные, полученные нами в 2012 г., если, как и для данных [6], предположить изменение величины B_z с фазой вращения. Среди наших данных присутствуют шесть измерений B_z отрицательного знака. Они группируются для значений фаз 0.2–0.7 и, возможно, образуют широкий минимум. В [6] было высказано предположение о формировании новой активной области, проявляющей себя на кривой блеска на фазах 0.6–0.8. Именно в этой части фазовой кривой существуют самые значительные различия между нашими данными и измерениями [13], которые можно пытаться связать с развитием и эволюцией новой активной области. Более того, это согласуется с высказанным в [6] предположением о том, что пятно, доминирующее на поверхности звезды при фазе 0.1 имеет положительную полярность, а наблюдаемый в 2008 г. минимум B_z на фазе 0.3 вызван появлением пятна отрицательной полярности. Изменения кривой B_z от 2008 к 2012 г. в таком случае могут быть вызваны усилением этого пятна, приобретением им доминирующей роли и, как следствие, в целом более симметричным распределением магнитных областей. В этом случае наша интерпретация повторяет выводы, сделанные в [13].

4. ВЫВОДЫ

Представлены результаты новых спектрополяриметрических наблюдений FK Com с целью измерения величины продольной компоненты ее магнитного поля. Полученные нами результаты можно



Среднее продольное магнитное поле FK Com по нашим наблюдениям (заполненные кружки) и по данным [1].

интерпретировать как отсутствие магнитного поля у изучаемой звезды (магнитное поле не было зарегистрировано либо потому, что претерпело значительное уменьшение по сравнению с [6], либо потому, что его величина лежит ниже точности наших измерений, в первом случае указанное уменьшение B_z может быть аналогично зарегистрированным ранее для другой хромосферно-активной звезды II Peg вековым изменениям B_z [13]). С другой стороны, шесть наших измерений B_z отрицательного знака группируются для значений фаз 0.2–0.7, образуя, возможно, широкий минимум и позволяя предположить присутствие изменения величин B_z с фазой вращения (аналогично тому, как было сделано в [6]). Изменения в этой части фазовой кривой могут быть связаны с развитием и эволюцией новой активной области, подтверждая предположение высказанное в [6]. В этом случае изменения кривой B_z от 2008 к 2012 г. вызваны усилением пятна отрицательной полярности, приобретением им доминирующей роли и, как следствие, в целом более симметричным распределением магнитных областей. Для выбора между высказанными гипотезами о поведении и эволюции магнитного поля FK Com мы планируем продолжение спектрополяриметрических наблюдений этой крайне интересной хромосферно-активной звезды.

БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения на 6-метровом телескопе БТА проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (госконтракты 14.518.11.7070, 16.518.11.7073).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. B. W. Bopp and R. E. Stencel, *Astrophys. J.* **247**, L131 (1981).
2. T. Hackman, J. Pelt, M. J. Mantere, et al., *Astron. and Astrophys.* **553**, A40 (2013).
3. H. Korhonen, S. V. Berdyugina, T. Hackman, et al., *Astron. and Astrophys.* **476**, 881 (2007).
4. L. Jetsu, J. Pelt, and I. Tuominen, *Astron. and Astrophys.* **278**, 449 (1993).
5. P. F. Chugainov, *IBVS*, No. 172, 1 (1966).
6. H. Korhonen, S. Hubrig, S. V. Berdyugina, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **395**, 282 (2009).
7. G. A. Chountonov, in *Proc. Int. Conf. on Magnetic Stars*, Ed. by Yu. Glagolevskij, D. Kudryavtsev, and I. Romanyuk (SAO RAS, Nizhnij Arkhyz, 2004), p. 286.
8. D. O. Kudryavtsev, *Baltic Astronomy* **9**, 649 (2000).
9. J. D. Landstreet, *Astrophys. J.* **258**, 639 (1982).
10. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002).
11. I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **55**, 1115 (2011).
12. I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and E. S. Dmitrienko, *Astronomy Reports* **57**, 751 (2013).
13. O. Kochukhov, M. J. Mantere, T. Hackman, and I. Ilyin, *Astron. and Astrophys.* **550**, 84 (2013).

A Study of the Magnetic Field in FK Com

V. B. Puzin, I. S. Savanov, I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and E. S. Dmitrienko

We present the results of our new spectropolarimetric observations of FK Com aimed to measure the longitudinal component B_z of its magnetic field. The most interesting interpretation of our results suggests that the B_z value has significantly decreased compared to the 2008 observations of this star. Such a decrease of the longitudinal component of the magnetic field can be similar to the secular variations of B_z registered earlier for another chromospherically active star II Peg. On the other hand, assuming the existence of B_z variations with the rotation phase, we suggest that the variations of the phase curve B_z from 2008 to 2012 originated because of the strengthening of the negative polarity spot, its domination, and as a result—a generally more symmetric distribution of magnetic regions.

Keywords: *stars: stars: magnetic field—stars: activity—stars: individual: FK Com*