

ФОТОСФЕРНЫЕ ПЯТНА И ВСПЫШКА НА АКТИВНОЙ КАРЛИКОВОЙ ЗВЕЗДЕ FR Спс

А.В.КОЖЕВНИКОВА¹, В.П.КОЖЕВНИКОВ¹, И.Ю.АЛЕКСЕЕВ²

Поступила 9 ноября 2017

Принята к печати 14 декабря 2017

Проведены многоцветные *BVRi* фотометрические наблюдения молодой хромосферно-активной карликовой звезды FR Спс (K7V) на 70-см телескопе и многоканальном электрофотометре Коуровской астрономической обсерватории УрФУ в феврале 2010г. На построенной кривой блеска выявлена синусоидальная вращательная модуляция блеска с амплитудой $0^m.15$ в полосе *V*. Покраснение блеска в фотометрическом минимуме подтверждает, что эта модуляция вызвана холодными фотосферными пятнами. Анализ распределения запятненности в рамках зональной модели как по нашим, так и по опубликованным данным, показал, что пятна локализованы на низких и средних широтах от 47° до 56° , площадь пятен занимает от 10% до 21% поверхности звезды, пятна холоднее фотосферы на 1650 К. 3 февраля 2010г. в момент, соответствующий $HJD = 2455231.3136$, была зарегистрирована вспышка. Максимальная амплитуда $0^m.11$ наблюдалась в полосе *B*, амплитуды в полосах *V*, *R*, *I* составили $0^m.04$, $0^m.03$ и $0^m.02$, соответственно, а длительность вспышки составила 32.5 мин. Отмечается, что вспышка произошла вблизи максимальной запятненности звезды. Вычислена полная энергия вспышки $2.4 \cdot 10^{31}$ и $1.3 \cdot 10^{31}$ эрг в полосах *B* и *V*, соответственно. Обнаружено послесвечение вспышки - общее увеличение блеска звезды после вспышки по сравнению с предвспышечным уровнем на $0^m.02$ в полосе *B*.

Ключевые слова: *Запятненные звезды: звездная активность: вспышки: фотосферные пятна*

1. *Введение.* Одиночная молодая звезда Главной последовательности FR Спс (BD + 161753 = MCC 527 = 1RXS J083230.9+154940) проявляет активность солнечного типа, обусловленную наличием магнитных полей [1,2]. FR Спс была обнаружена как оптический объект, соответствующий рентгеновскому источнику 1ES 0829+15.9 в обзоре Einstein Slew Survey, а позднее отождествлена как оптический двойник рентгеновского источника 1RXS J083230.9+154940 в обзоре всего неба ROSAT [3]. Пандей и др. [1,4] провели фотометрическое и спектральное исследование FR Спс, определили период, равный 0.8267 суток, и показали, что фотометрическая кривая блеска существенно меняет свою форму на протяжении 4-х лет как по фазе, так и по амплитуде, что подразумевает наличие миграции и эволюции фотосферных пятен. Спектральные наблюдения показали наличие сильной и переменной хромосферной эмиссии в линиях ионизованного кальция CaII H и K и линиях водорода H α и H β , что предполагает существование активной

хромосферы. Рентгеновское излучение $(2-10)10^{29}$ эрг/с и отношение рентгеновской светимости к болометрической светимости указывают на наличие у звезды мощной короны [4]. Головин и др. [5] впервые зафиксировали оптическую вспышку на FR Спс в 2006г. В рамках международной программы комплексного многоволнового исследования звезды FR Спс, с использованием результатов обзора All Sky Automated Survey 3, был проведен анализ длительных рядов фотометрических данных, выполнены поляриметрические и спектральные наблюдения, и получены первые доплеровские изображения холодных фотосферных пятен, которые оказались распределенными на средних и умеренных широтах [2]. Спектральными методами были получены данные о том, что FR Спс является одиночной звездой, а также был уточнен спектральный класс, соответствующий K7V, и оценен возраст от 10 до 120 млн лет по анализу линии LiI $\lambda 6707.8$ [2].

Для анализа эволюции запятненных областей, выявления особенностей активности и возможных циклических изменений активности на больших интервалах времени, были высказаны пожелания о дальнейших наблюдениях FR Спс [1,5].

В данной работе мы представляем результаты новых многоцветных фотометрических наблюдений FR Спс, моделирование фотосферной запятненности в рамках зональной модели и анализ оптической вспышки, зарегистрированной нами 3 февраля 2010г.

2. Наблюдения. Многоцветные фотометрические наблюдения были получены в течение 6-ти ночей в феврале 2010г. на 70-см телескопе и многоканальном фотометре Астрономической обсерватории Уральского Федерального университета. Общее время наблюдений составило 43 часа. Для наблюдений применялся многоканальный фотометр, который позволяет одновременно измерять световые потоки двух звезд (исследуемой и звезды сравнения) и фона неба непрерывно в течение всей ночи. Такая методика существенно повышает точность получаемых наблюдательных данных даже в нефотометрических условиях [6]. В наблюдениях использовалась разработанная в УрФУ автоматическая система регистрации данных и управления телескопом и фотометром. С помощью этой системы происходят автоматическая смена фильтров, микрометрические движения телескопа и автоматическое офсетное гидирование с использованием ПЗС-системы [7]. FR Спс и звезда сравнения ГYC 1392-1663-1 (очень близкая по цвету и яркости, с координатами: $\alpha=8^h 32^m 56^s.3$, $\delta=+15^\circ 40' 14''.4$) [8] наблюдались с использованием диафрагм размером 16", световые потоки звезд регистрировались с экспозицией 4 с по 23 отсчета на каждую фотометрическую полосу, т.е. время интегрирования светового потока составляло 92 с в каждом

фильтре. Промежуток времени между двумя соседними точками в одном и том же фильтре составляет в среднем 390 с. Фон неба измерялся в диафрагме размером 30". Используемые для наблюдений фотоумножители термостатировались с точностью $\pm 0.5^\circ \text{C}$, что обеспечивало стабильность относительной светочувствительности каналов фотометра на уровне тысячных долей звездной величины в течение всего периода наблюдений звезды. Стабильность светочувствительности каналов контролировалась путем поочередных измерений звезды сравнения в первом и втором канале фотометра, которые проводились перед началом основных наблюдений. Светочувствительность канала фона по отношению к каналам звезд определялась периодически один раз в 50 мин в каждом фильтре путем кратковременного вывода звезд из диафрагм и измерения фона во всех трех каналах фотометра одновременно. Затем зависимости светочувствительности каналов по отношению к фону аппроксимировались многочленом второй степени, и отсчеты фона вычитались из отсчетов звезд. Разность звездных величин FR Спс и звезды сравнения находилась также с учетом разности световой чувствительности каналов фотометра. Дифференциальная фотометрия проводилась в четырех фильтрах системы Джонсона: *B*, *V*, *R* и *I*. Средняя квадратичная ошибка одного измерения не превышает $0^m.01$. Все данные были обработаны с помощью комплекса программ, разработанного нами для методики четырехцветных (*B*, *V*, *R*, *I*) наблюдений на 70-см телескопе астрономической обсерватории УрФУ. Данные о дате, времени и продолжительности наблюдений FR Спс представлены в табл. 1.

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ ЗВЕЗДЫ FR Спс

Дата	Начало наблюдений (HJD 2455200+)	Конец наблюдений (HJD 2455200+)	Длительность, часы
01.02.2010	29.260310	29.526560	6.4
02.02.2010	30.188957	30.319790	3.1
03.02.2010	31.165855	31.477244	7.5
04.02.2010	32.162566	32.541733	9.1
05.02.2010	33.183741	33.560546	8.8
07.02.2010	35.191297	35.531991	8.1

Свернутые кривые блеска FR Спс были построены нами при использовании периода вращения $P = 0^d.826518 \pm 0^d.000015$ и начальной эпохи $\text{HJD} = 2452635.72669$, которые были взяты из работы [2]. В работе [2] начальная эпоха выбрана произвольно и не соответствует фазе максимума или минимума. В соответствии с точностью периода и в соответствии с временем наблюдений фазы наших свернутых кривых блеска совместимы с фазами в работе [2].

Этот вывод мы получили из следующих рассуждений. Величина периода, деленная на ошибку определения этого периода, дает нам количество колебательных циклов, в течение которых накопленная ошибка периода становится равной самому периоду (55.1 тыс. циклов). Соответствующий этому количеству циклов период времени называется формальным сроком годности эфемериды, он оказался равным 124.1 года. Реальный период годности эфемериды составляет $1/4$ от формального периода и равен в нашем случае 31 году, с вероятностью 68%. Исходя из этих оценок, фазы наших наблюдений, проведенных в 2010г., совместимы по фазе с наблюдениями, приведенными в работе [2].

Построенная кривая блеска FR Cnc в полосе V, свернутая с периодом $P=0^d.826518$, приведена на рис.1. Разными символами показаны наблюдательные точки, полученные в различные наблюдательные ночи. Можно видеть, что получено многократное перекрытие наблюдениями всех фаз переменности. Также на кривой блеска хорошо видна вращательная модуляция с большой амплитудой, равной $0^m.15$ в полосе V. Звезда FR Cnc является одиночной звездой [2], поэтому можно считать, что изменения на кривой блеска этой звезды обусловлены, главным образом, поверхностной активностью.

Хорошо известно, что наличие темных холодных пятен, аналогичных солнечным, в фотосферах хромосферно-активных звезд проявляется на кривых блеска в виде квазисинусоидальной вращательной модуляции [9,10]. Фаза минимума этой модуляции соответствует положению максимальной запят-

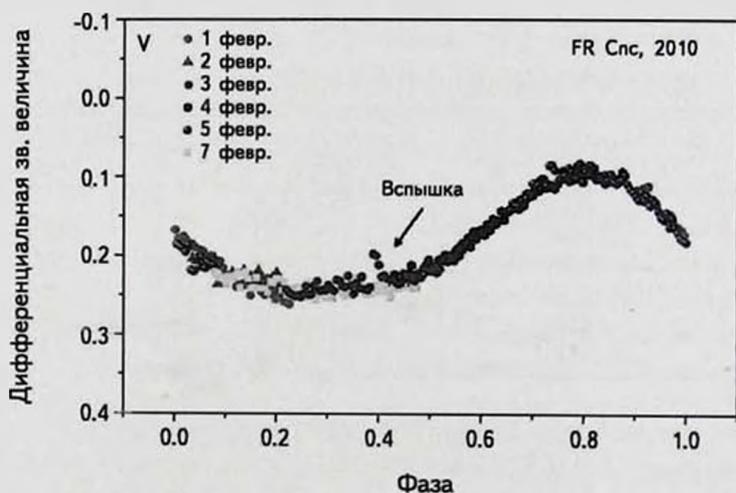


Рис.1. Кривая блеска FR Cnc в полосе V. Точки, полученные в различные наблюдательные ночи, показаны разными символами. Хорошо видна вращательная модуляция блеска, вызванная фотосферными пятнами, и вспышка, зарегистрированная 3 февраля.

ненности по долготе. Как было показано в работе Рао и Сарма [11], аппроксимация этой модуляции двумя первыми гармониками ряда Фурье с помощью метода наименьших квадратов хорошо описывает изменения блеска и позволяет определять амплитуды модуляции и фазы минимумов внезапного блеска. С помощью такой аппроксимации мы определили амплитуды вращательной модуляции и фазы минимума блеска FR Cnc. Поскольку звезда наблюдалась ранее другими авторами [1,2], имеется возможность построить долговременную кривую блеска, которая показывает исторический ход изменения блеска звезды на протяжении ряда лет. Долговременная кривая блеска очень важна, поскольку позволяет определить исторически максимальный уровень блеска звезды, который можно, с большой долей вероятности, рассматривать как блеск звезды в состоянии, когда хотя бы одна полусфера остается свободной от пятен. Этот параметр впоследствии используется нами при моделировании запятненности фотосферы звезды.

Покраснение блеска в фотометрическом минимуме вращательной модуляции, который приходится на фазу 0.28, подтверждает, что эта модуляция вызвана

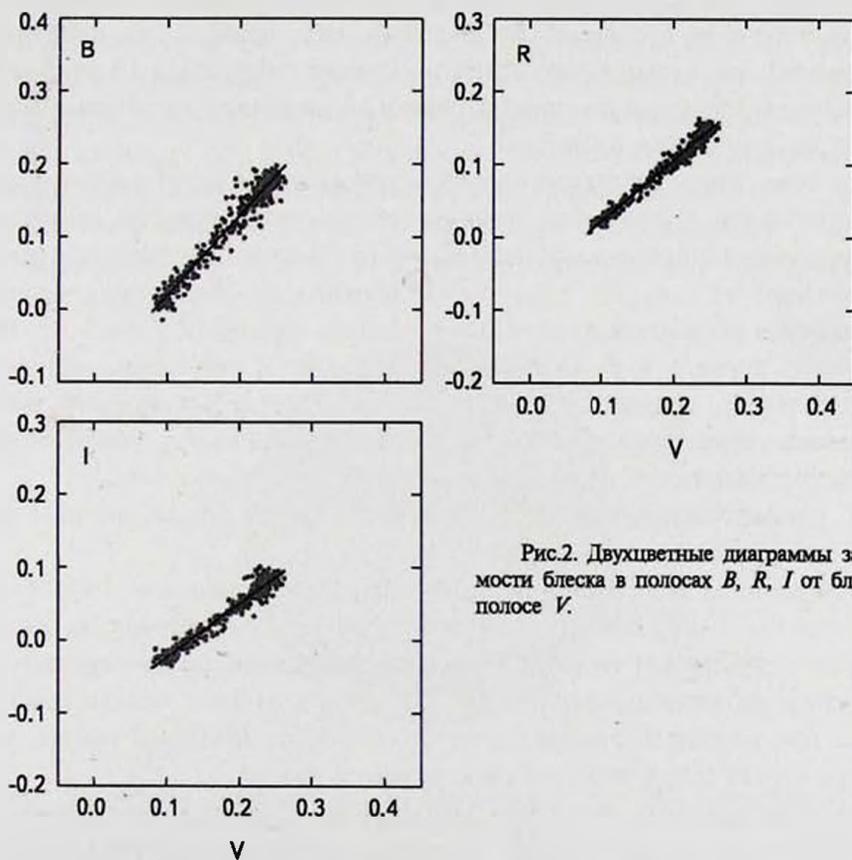


Рис.2. Двухцветные диаграммы зависимости блеска в полосах *B*, *R*, *I* от блеска в полосе *V*.

холодными фотосферными пятнами. Полученная зависимость блеска в полосах B , R , I от блеска в полосе V представлена на рис.2. Коэффициенты линейной регрессии составляют $dB/dV=1.10$, $dR/dV=0.84$, $dI/dV=0.73$, т.е. соответствуют неравенству $dB/dV > dR/dV > dI/dV$, которое указывает, что блеск звезды краснеет к минимуму блеска, что характерно для фотометрической переменности, вызванной холодными пятнами [12,13].

3. Результаты и обсуждение.

3.1. *Моделирование запятненности.* Параметры пятен были получены в рамках разработанной в КрАО обновленной зональной модели запятненности, учитывающей присутствие на звезде двух активных долгот [14]. В данной модели рассматриваются общие характеристики запятненной области в целом, и описывается фотометрическое поведение запятненных звезд с помощью картины многочисленных мелких пятен, расположенных в двух широтных поясах. Такая модель позволяет рассматривать также наличие на звезде одновременно двух активных долгот, на которых группируются пятна. Важно, что при моделировании учитываются долговременные изменения блеска звезды за все время наблюдений, как правило, на протяжении десятилетий, что позволяет определить значение наибольшего блеска звезды и с большой вероятностью рассматривать эту величину как блеск звезды в состоянии, свободном от пятен.

Вся совокупность запятненных областей на звезде представляется двумя симметричными относительно экватора поясами запятненности, по аналогии с королевскими широтами, наблюдаемыми на Солнце. Они занимают области с широтами от $\pm\varphi_0$ до $\pm(\varphi_0+\Delta\varphi)$ с плотностью заполнения пятнами, меняющейся по долготе от единицы в главном минимуме блеска звезды до некоторых чисел f_1 и f_2 в сезонном максимуме и вторичном минимуме, соответственно, причем $0 < f_1 < f_2 < 1$. В таком случае для каждого наблюдательного сезона используются три экстремальных точки кривой блеска - локального максимума, первичного и второго минимумов блеска (ΔV_{max} , ΔV_1 и ΔV_2 , соответственно) относительно максимального блеска системы за все время наблюдений.

При расчетах запятненности используются наблюдения в полосах B , V , R и I системы Джонсона, которые позволяют не только корректно отделить геометрический эффект запятненности от температурного, но и учесть широтные эффекты в распределении пятен [13]. В данной зональной модели предполагается, что энергия в спектре холодного пятна распределена так же, как в спектре звезды более позднего спектрального класса.

Другими важными входными параметрами моделей являются значения угла наклона оси вращения звезды i , температуры фотосферы T_{phot} и ускорения

силы тяжести $\log g$ (необходимые для выбора коэффициентов потемнения к краю).

Определяемыми характеристиками в рассматриваемой модели являются значения расстояния запятненных поясов от экватора $\pm\varphi_0$, ширина этих поясов $\Delta\varphi$, скважности f_1 и f_2 , контраст пятен в какой-либо полосе (например, β_V). Из этих величин определяются средняя широта пятен $\langle\varphi\rangle=\varphi_0+\Delta\varphi/2$, площадь пятен в процентах от полной поверхности звезды S , а также разность температур ΔT между спокойной фотосферой и пятнами.

Построение долговременной кривой блеска FR Спс и оценка исторически максимального блеска были получены после сведения всех имеющихся наблюдений в одну фотометрическую систему. Для наблюдений, полученных в различных инструментальных системах, мы использовали сравнение приведенных в литературе звездных величин и цветов контрольных звезд и звезд сравнения с нашими оценками. В пользу правильности сведения указывает расположение результатов разных авторов на одной линии в двухцветных диаграммах (блеск в полосах B, R, I от блеска в полосе V). Точность такого сведения не хуже, чем $0^m.01$. Формальная точность определения величин φ_0 и $\Delta\varphi$ составляет 1° и определяется, главным образом, ошибками в оценке угла ι . Ошибки параметров скважности f_1 и f_2 зависят, прежде всего, от неопределенности экстремальных точек кривой блеска (т.е. переменных ΔV_{max} , ΔV_1 и ΔV_2) и угла ι и, как правило, не превышают 0.04. Площадь запятненности S оценивается с точностью не более 1%. Ошибка в определении температуры пятна задается неопределенностью в оценке коэффициентов dB/dV , dR/dV , dI/dV и при их ошибке 0.01-0.02 составляет 50-70 К [14-16].

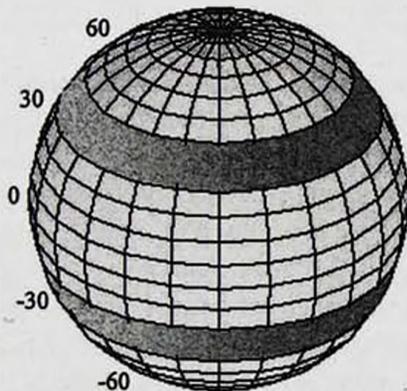


Рис.3. Полученная зональная модель запятненности FR Спс: пятна неравномерно заполняют два широтных пояса на широтах от 47° до 56° (в зависимости от сезона наблюдений) симметрично в северном и южном полушарии.

Необходимые для расчетов значения основных параметров FR Cnc были взяты нами из работы [2]: значения температуры фотосферы $T_{\text{phot}} = 4250$ К, логарифм поверхностной силы тяжести $\log g = 4.5$ и угол наклона оси вращения звезды $i = 55^\circ$.

Согласно нашим расчетам, пятна оказались расположенными в двух широтных поясах, симметричных относительно экватора звезды, на широтах от 47° до 56° . Параметры плотности заполнения пятнами изменялись за все время наблюдений: f_1 от 0.00 до 0.05, и f_2 от 0.42 до 0.87. Площадь пятен изменялась от 21% поверхности звезды в 2003г. до 10% в 2010г. Контраст пятен β_v составлял 0.03, т.е. пятна оказались холоднее фотосферы на 1650 К. Полученная модель запятненности показана на рис.3, а параметры запятненности представлены в табл.2. Долготы максимумов запятненности θ определялись независимо из фотометрических кривых блеска по положению фазы мини-

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАПЯТНЕННОСТИ ФОТОСФЕРЫ FR Cnc

Эпоха	ΔV_{max}	ΔV_1	ΔV_2	φ_0	$\Delta\varphi$	f_1	f_2	β_v	S, %	θ_1	θ_2	Источник данных
2002-03	0.006	0.18	-	36	24	0.00	-	0.03	13.9	0.80	-	2
2003-04	0.024	0.23	0.20	39	30	0.00	0.87	0.03	21.3	0.51	0.70	2
2004-05	0.004	0.24	0.10	40	32	0.00	0.42	0.03	16.4	0.49	1.00	2
2005-06	0.084	0.19	-	35	25	0.05	-	0.03	15.3	0.10	-	2
2006-07	0.064	0.19	-	36	24	0.00	-	0.03	13.9	0.70	-	2
2007-08	0.064	0.18	0.11	37	24	0.00	0.61	0.03	16.4	0.30	0.70	2
2010.2	0.000	0.15	-	43	20	0.00	-	0.03	10.5	0.28	-	Данная работа

мального блеска. В большинстве наблюдательных сезонов на кривой блеска отмечаются два минимума блеска вращательной модуляции, которые соответствуют положениям двух активных долгот (долгот, на которых преимущественно формируются пятна). Эти долготы разнесены друг от друга на 0.44 фазы, приходясь в среднем на 0.73 и 0.29 фазы. Однако в 2004 и 2005гг. долготы максимальной запятненности существенно отличались от этих значений, хотя оставались разделены на 0.45 фазы. Таким образом, вероятно, положение активных долгот не является стабильным. Зависимость полученных параметров пятен и их долгот от времени представлена на рис.4. Из рисунка хорошо видно, что с 2006 по 2010гг. широта запятненных областей постепенно увеличивалась с 47° до 53° при небольшом уменьшении их площади. Можно предположить, что пятна мигрировали в сторону экватора в течение этого периода времени со скоростью $1.5^\circ/\text{год}$. Однако вывод о

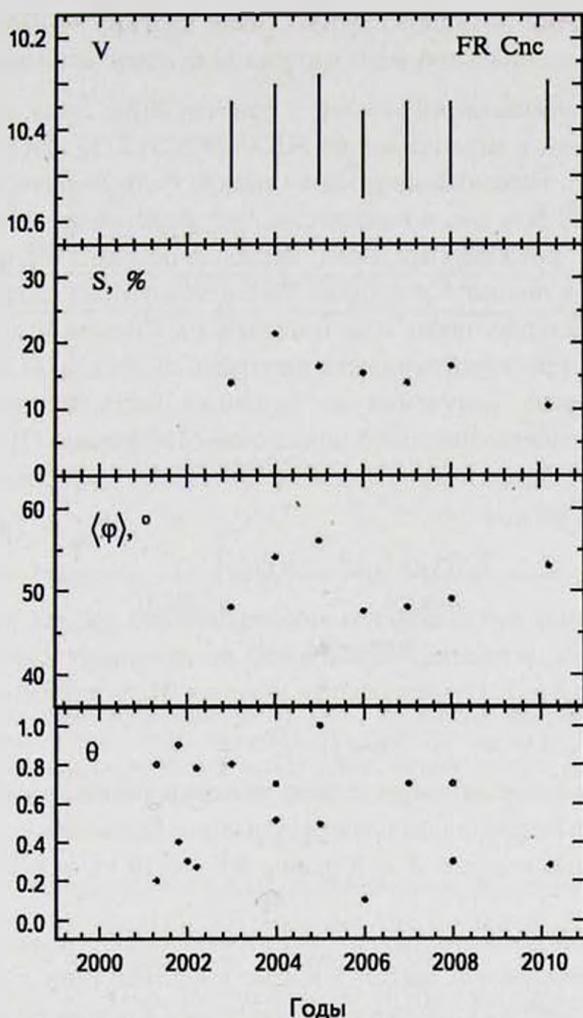


Рис.4. Долговременная диаграмма блеска в полосе V и изменения параметров запятненности FR Cnc в течение 8 лет: площади запятненности S, средней широты пятен $\langle \varphi \rangle$ и долготы максимума запятненности θ .

наличию цикла активности FR Cnc делать преждевременно, необходимы дальнейшие наблюдения и анализ, чтобы удлинить временную базу, охваченную наблюдениями.

Ранее только Головин и др. [2] получали доплеровское изображение распределения запятненных областей на фотосфере FR Cnc. В их расчетах пятна оказались локализованы на средних и умеренных широтах, довольно равномерно распределены по широте (за исключением орбитальных фаз от 0.1 до 0.3, на которых не были выявлены пятна), а также не было отмечено

признаков наличия полярного пятна. Такая картина хорошо согласуется с полученной нами зональной моделью распределения запятненности FR Спс.

3.2. *Вспышечная активность.* 3 февраля 2010г. была зарегистрирована вспышка в момент, соответствующий HJD=2455231.3136 или 0.39 орбитальной фазы (см. рис.1). Вспышка произошла вблизи фотометрического минимума блеска, т.е. в области, где, по-видимому, наблюдается повышенная концентрация холодных фотосферных пятен. Вспышка показала быстрое возрастание блеска на $0^m.11$ в полосе *B* в течение 390с и медленный спад яркости. Такое поведение характерно также для вспышек на Солнце и других активных звездах. Общая продолжительность вспышки составила 32.5 мин.

Общая энергия излучения во вспышке была вычислена нами по стандартной методике, подробно описанной Моффетом [17]. Относительная интенсивность вспышки $I_F(t)$ была вычислена из наблюдений с использованием выражения

$$I_F(t) = \left[\frac{I_0 + I_{flare}(t)}{I_0} \right] - 1, \quad (1)$$

где I_0 - это средняя интенсивность невозмущенной звезды, непосредственно предшествующая вспышке, усредненная по интервалу времени 40 мин для каждой полосы *B* и *V*. Относительная энергия (RE), излученная вспышкой,

$$RE = \int I_F(t) dt \quad (2)$$

была определена с помощью численного интегрирования по временному интервалу, соответствующему длительности вспышки. Вычисленные относительные энергии вспышки в цвете *B* и *V* равны $RE_B = 110.1$ с и $RE_V = 46.9$ с, соответственно.

На рис.5 приведены относительные интенсивности вспышки в долях интенсивности невозмущенной звезды FR Спс в соответствии с формулой (1).

Абсолютная энергия вспышки была определена с использованием калибровки Джонсона [18]. Полная ширина полосы пропускания на уровне половины максимума в фильтрах *B* и *V* принималась равной 970 Å и 850 Å, соответственно. Тогда, согласно калибровке Джонсона, энергетический выход (светимость) звезды нулевой абсолютной звездной величины равен $E_B = 8.35 \cdot 10^{34}$ эрг/с в фильтре *B* и $E_V = 3.98 \cdot 10^{34}$ эрг/с в фильтре *V*. Используя уточненные значения $V=10.44$ и $B=11.54$ для FR Спс [2], а также зная расстояние $r=33$ пк, мы определили абсолютную звездную величину звезды FR Спс в фильтрах *B* и *V*: $M_B = 8^m.95$ и $M_V = 7^m.86$, соответственно. Согласно вычисленным значениям абсолютных звездных величин M_B, M_V с использованием калибровки Джонсона, мы получили светимость FR Спс. Светимость FR Спс оказалась равной $L_V = 2.86 \cdot 10^{31}$ эрг/с в полосе *V*, и в полосе *B* - равной $L_B = 2.20 \cdot 10^{31}$ эрг/с.

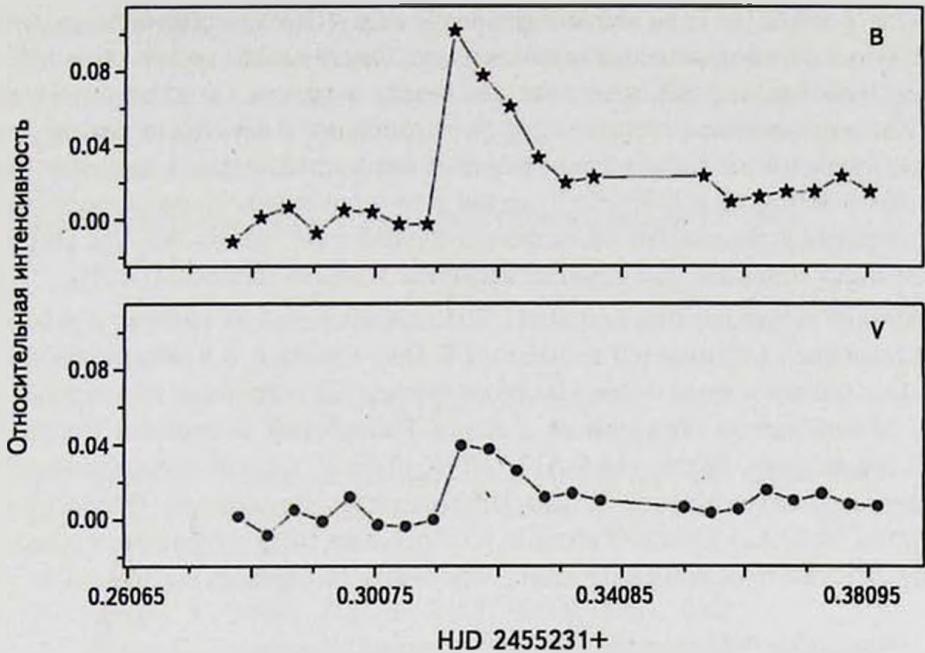


Рис.5. Вспышка, зафиксированная на FR Спс 3 февраля в фотометрических полосах *B* и *V*. По вертикальной оси - относительная интенсивность звезды $[(I_0 + I_{\text{flare}}(t))/I_0 - 1]$. По горизонтали - юлианские даты. Виден характерный резкий подъем яркости и плавный спад, а также послевспышечное повышение общего уровня блеска звезды.

Энергия, излученная во вспышке, была найдена с учетом светимости FR Спс и относительной энергии RE, она оказалась равной $E_B = 2.43 \cdot 10^{33}$ эрг и $E_V = 1.34 \cdot 10^{33}$ эрг в полосе *B* и *V*, соответственно.

Таким образом, энергия, излученная в течение вспышки, почти на два порядка превосходит энергию, излученную всей звездой FR Спс в течение одной секунды. Если провести сравнение с мощностью солнечных вспышек, то при аналогичном соотношении энергий, такая вспышка на Солнце относилась бы к категории очень мощных вспышек.

Отмечено увеличение блеска звезды после вспышки по сравнению с предвспышечным уровнем на величину $0^m.018 \pm 0^m.003$ в цвете *B*. Уровень интенсивности послевспышечного излучения превышает уровень предвспышечного излучения на величину 3σ и, следовательно, не может быть обусловлена случайными ошибками наблюдений. Поскольку на FR Спс наблюдаются фотосферные пятна, была обнаружена поляризация спектральных линий, вызванная магнитными полями [2], и с учетом того, что она была отмечена как рентгеновский источник [2], можно предположить, что механизм активности

FR Cnc в какой-то мере аналогичен солнечному. На качественном уровне послевспышечное повышение интенсивности блеска звезды можно объяснить излучением горячих послевспышечных петель в короне, а также нагревом короны потоками заряженных частиц, ускоренными в электрических полях. Аналогичное послевспышечное повышение блеска наблюдалось на звезде FR Cnc после вспышки в 2006г. [2,5], кроме того было зафиксировано нами при наблюдениях вспышки другой активной запятанной звезды WY Cnc [19], а также было замечено на графиках вспышек у других авторов [17,20].

Авторы выражают благодарность Т.П.Никифоровой за интерес к работе и обсуждение особенностей вспышки FR Cnc. Работа А.В.Кожевниковой и В.П.Кожевникова была проведена при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации (базовая часть гос. задания, РК № АААА-А17-117030310283-7), а также при финансовой поддержке постановления № 211 Правительства Российской Федерации, контракт № 02.А03.21.0006. Работа И.Ю. Алексеева была выполнена в рамках тематического проекта КрАО РАН "Магнитная активность на звездах".

¹ Уральский Федеральный университет им. Б.Н.Ельцина, Россия,
e-mail: Kozhevnikova-a@yandex.ru

² ФГБУН "Крымская астрофизическая обсерватория РАН",
Россия, e-mail: ilya-alekseev@mail.ru

SPOTS AND FLARE ON ACTIVE DWARF STAR FR Cnc

A.V.KOZHEVNIKOVA¹, V.P.KOZHEVNIKOV¹, I.Yu.ALEKSEEV²

We perform analysis of new *BVR*I photometry of young active dwarf star FR Cnc (K7V), obtained at Kourovka astronomical observatory of Ural Federal University with the help of multichannel electrophotometer in the year 2010. The light curve displays sinusoidal rotation modulation with the amplitude of $0^m.15$ in *V* band. Star's brightness reddening in the photometrical minimum of the light curve confirms that this modulation is caused by cool photospheric starspots. We obtained parameters of starspots according to zonal spot modelling technique using both our own observations and published ones. It's obtained that spots are distributed at latitudes from 47° to 56° , cover 10-21% of the total star's surface depending on the observational season and spots are cooler then the unspotted photosphere on 1650 K. We detected an optical flare on 3 February at the moment

corresponding HJD = 2455231.3136. Flare amplitudes were $0^m.11$, $0^m.04$, $0^m.03$ and $0^m.02$ in *B*, *V*, *R*, *I* bands accordingly, and flare's duration was 32.5 min. The flare occurred in the region of maximum spottedness. We calculated total flare energy as $2.4 \cdot 10^{33}$ and $1.3 \cdot 10^{33}$ erg in *B* and *V* bands accordingly. Increase of star's brightness on $0^m.02$ in *B* band after the end of flare is revealed.

Key word: *Spotted stars: stellar activity: flares: photospheric spots*

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.C.Pandey, K.P.Singh, S.A.Drake et al.*, *Astron. J.*, 130, 1231, 2005.
2. *A.Golovin, M.C.Galvez-Ortiz, M.Hernan-Obispo et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 421, 132, 2012.
3. *W.Voges, B.Aschenbach, Th.Boller et al.*, *Astron. Astrophys.*, 349, 389, 1999.
4. *J.C.Pandey, K.P.Singh, R.Sagar et al.*, *IBVS*, 5351, 2002.
5. *A.Golovin, E.Pavlenko, Yu.Kuznyetsova et al.*, *IBVS*, 5748, 2007.
6. *V.P.Kozhevnikov, P.E.Zakharova*, Euroconference on Disks, Planetesimals and Planets, F.Garzon, C.Eiroa, D. de Winter, T.J.Mahoney (eds), *Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser.*, 219, 381, 2000.
7. *В.П.Кожевников*, Физика космоса, ред. П.Е.Захарова, Э.Д.Кузнецов и др. (Екатеринбург: Изд-во УрГУ), с.169, 2002.
8. *E.Hog, A.Kuzmin, U.Bastian et al.*, *Astron. Astrophys.*, 335, 65, 1998.
9. *S.V.Berdyugina*, *Living Rev. Solar Phys.*, 2, 8, 2005.
10. *K.G.Strassmeier*, *Astron. Astrophys. Rev.*, 17, 251, 2009.
11. *P.V.Rao, M.B.R.Sarma*, *J. of Astrophys. Astron.*, 4, 161, 1983.
12. *И.Ю.Алексеев, Р.Е.Гершберг*, *Астрон. ж.*, 74, 240, 1997.
13. *И.Ю.Алексеев*, Запятненные звезды малых масс, Одесса: АстроПринт, 2001.
14. *И.Ю.Алексеев*, *Изв. КРАО*, 104, 272, 2008.
15. *А.В.Кожевникова, И.Ю.Алексеев*, *Астрон. ж.*, 92, 818, 2015.
16. *И.Ю.Алексеев, А.В.Кожевникова*, *Астрон. ж.*, 94, 240, 2017.
17. *T.J.Moffet*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, 164, 11, 1973.
18. *H.L.Johnson*, *Ann. Rev. of Astron. Astrophys.*, 4, 193, 1966.
19. *A.V.Kozhevnikova, I.Yu.Alekseev, P.A.Heckert et al.*, *IBVS*, 5723, 2006.
20. *К.Панов, Yu.Goranova, V.Genkov*, *IBVS*, 4917, 2000.

