

## **ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ FK COM**

**Алексеев И.Ю., Козлова О.В., Бондарь Н.И.**

*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым*

## **PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF FK COM**

**Alekseev I.Yu., Kozlova O.V., Bondar' N.I.**

*Crimean Astrophysical observatory, Nauchny, Crimea*

*We consider the photometric behaviour of the spotted single fast-rotating giant FK Com ( $V \sin i = 160$  km/s, G2 III) from long-term photographic (1907–1988) and multicolour photoelectric and matrix (1966 to present) observations. The total photometric effect caused by the starspots reaches up to  $0.^m40$ . There is a cyclicity light variations with characteristic times of 26.7 and 7.45 years. Our starspots modelling has shown that the total spotarea can be up to 30% of the total stellar surface. The spots are cooler than the undisturbed photosphere by 1300 K and are located in middle and high latitudes.*

**<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-17-20>**

В настоящее время широкое распространение получили исследования активности солнечного типа у различных холодных звезд с конвективной оболочкой. В данной работе мы рассматриваем фотометрическую переменность звезды FK Com (G2III,  $V \sin i = 160$  км/с) – прообраза малочисленной группы быстровращающихся одиночных активных гигантов, находящихся на Асимптотической ветви. Ее фотометрическая активность – вращательная модуляция блеска с амплитудой  $\Delta V = 0.^m13$  и периодом  $P_{\text{rot}} = 2.^d40$ , вызванная осевым вращением запятненной звезды, – была обнаружена в КрАО П.Ф. Чугайновым [1]. Первые же работы показали, что кривые блеска звезды могут сильно изменяться от эпохи к эпохе с характерным временем около трех недель, что связано со сменой конфигурации покрывающих звезду пятен, при этом пятна концентрируются вблизи двух разделенных примерно на  $180^\circ$  активных долгот.

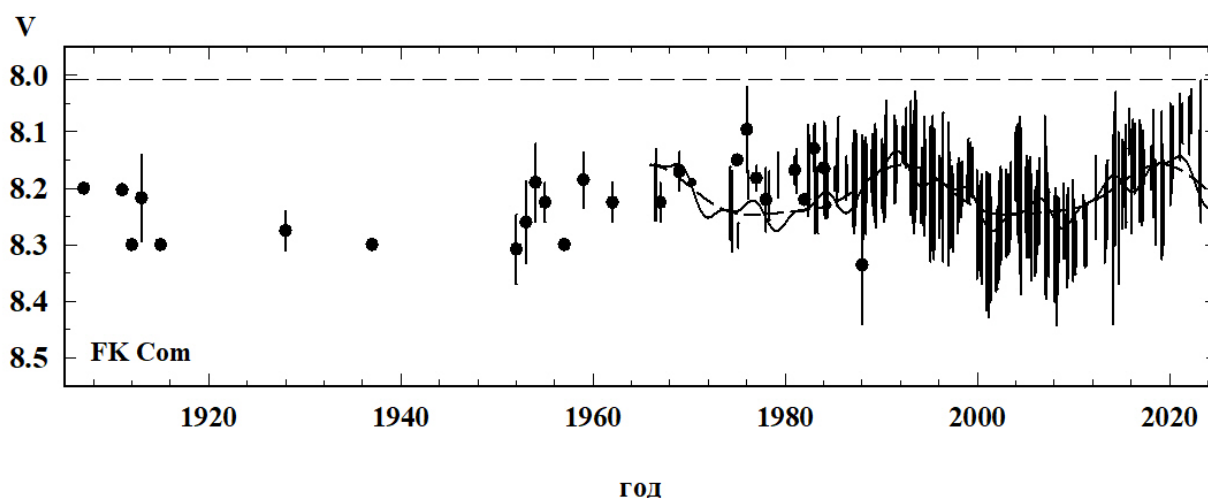
Мы проводили наблюдения FK Com на 1.25-метровом телескопе АЗТ-11 КрАО в 2018–2023 годы в фотометрических полосах BVRI. В качестве звезды сравнения использовалась HD 117567 (F2V,  $V = 7.^m616$ ,  $U - B = -0.^m04$ ,  $B - V = 0.^m43$ ,  $V - R = 0.^m395$ ,  $V - I = 0.^m755$ , [2]). Стандартные ошибки определения блеска звезды и ее показателей цвета не превышают  $0.^m01$ .

На рисунке 1 приведена долговременная кривая блеска в полосе V, построенная по данным литературы с 1966 по 2010 годы [3] и нашим наблюдениям, и дополненная данными [4, 5]; данными обзора ASAS, а также данными Киотского фотометрического обзора Kamogata (Kyoto) Wide-field Survey (KWS, [6]) с 2010 по 2024 годы. Весь массив фотоэлектрических и

матричных фотометрических данных мы дополнили результатами фотографических наблюдений FK Com, полученных в ГАИШ в 1907–1988 годы [7].

Горизонтальной штриховой линией показан уровень исторически максимального блеска за все время наблюдений, который мы интерпретируем как яркость незапятненной фотосферы. Вертикальными линиями обозначены изменения вращательной модуляции блеска звезды “peak-to-peak” в каждую эпоху наблюдений, точками с барми ошибками отмечены результаты фотографических наблюдений.

Из рисунка видно, что амплитуда вращательной модуляции блеска переменной может достигать  $\Delta V = 0.^m32$ , а полная фотометрическая переменность с учетом изменения кривой блеска от сезона к сезону составляет  $\delta V = 0.^m41$ . Согласно нашим расчетам, колебания среднего за эпоху блеска звезды цикличны с характерными временами  $P_{\text{cyc1}} = 26.^y7$  и  $P_{\text{cyc2}} = 7.^y45$  и могут быть аппроксимированы как сумма двух волн с амплитудами  $0.^m09$  (пунктирная линия на рисунке 2) и  $0.^m06$  (сплошной линией обозначена суммарная волна). Уровень максимального блеска звезды оценен нами как  $V_{\text{max}} = 8.^m008$ .

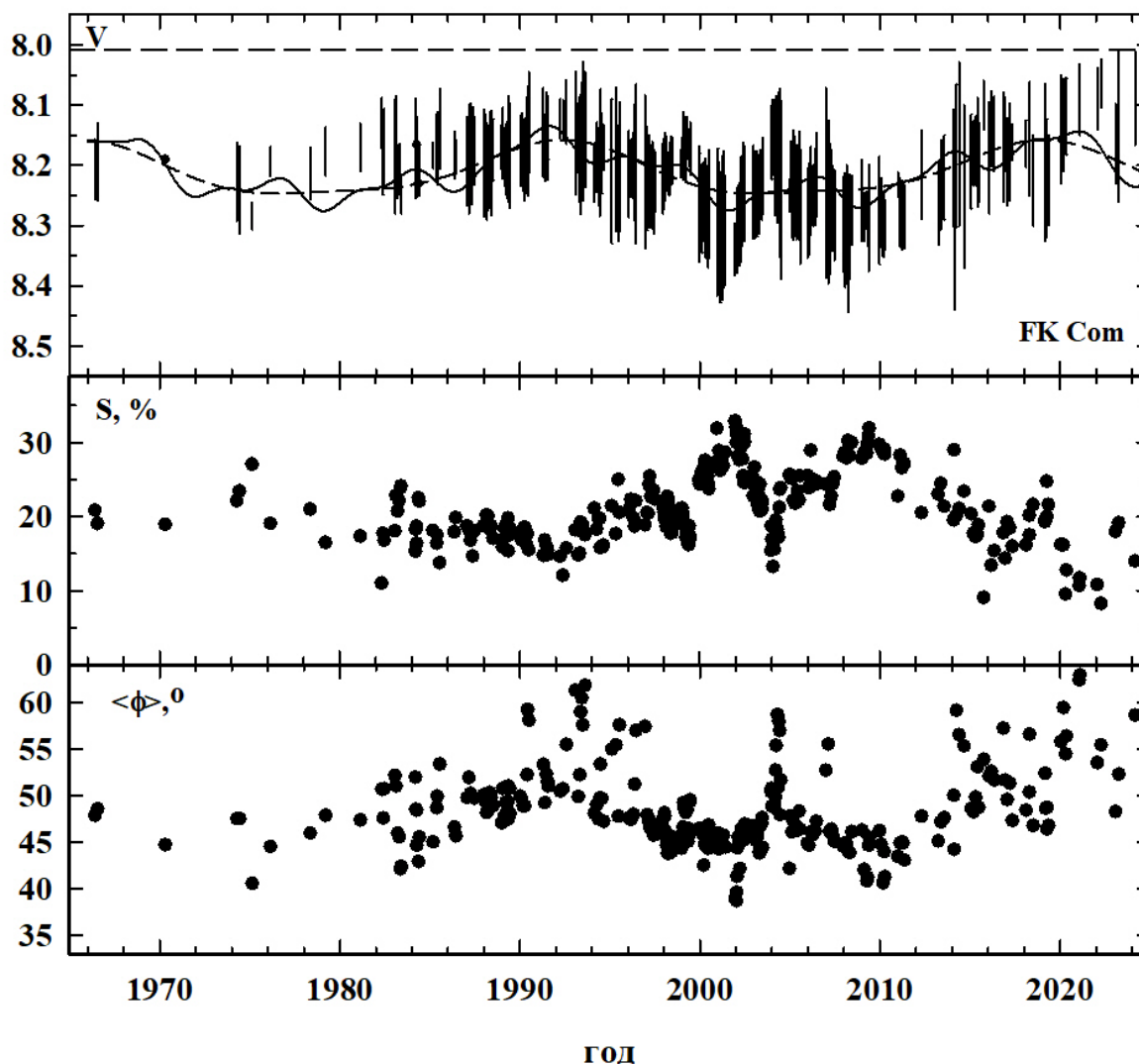


**Рис. 1.** Сводная кривая блеска FK Com в полосе V.

Параметры пятен были получены в рамках разработанной в КраО зональной модели запятненности, учитывающей присутствие на звезде двух активных долгот [8], а позднее примененной к молодым pTTS звездам, системам типа RS CVn и звездам-карликам [9–12]. В предложенной модели рассматриваются общие характеристики запятненной области в целом, и фотометрическое поведение запятненных звезд с помощью картины многочисленных мелких пятен, расположенных в двух симметричных относительно экватора широтных поясах. В этом случае мы используем для каждого сезона три экстремальных точки кривой блеска: локального максимума, первичного и второго минимумов блеска относительно максимального

блеска системы за все время наблюдений. При расчетах запятненности используются наблюдения в полосах Джонсоновской системы BVRI, которые позволяют не только корректно разделить геометрический эффект запятненности от температурного, но и учесть широтные эффекты в распределении пятен. Определяемыми характеристиками в рассматриваемой модели являются средняя широта запятненных областей  $\langle\phi\rangle$ , площадь пятен  $S$  в процентах от полной поверхности звезды, а также контраст пятен в полосе  $V$ , дающий разность температур  $\Delta T$  между спокойной фотосферой и пятнами.

Мы провели расчет запятненности FK Com в 1966–2024 годы для 311 фотометрических эпох. Согласно нашим оценкам, фотометрическое поведение звезды описывается с помощью многочисленных среднеширотных пятен с значением  $\langle\phi\rangle = 32 - 63^\circ$ , в то время как полный диапазон широт появления пятен составляет, согласно модели,  $\phi = 20 - 80^\circ$ . Полная площадь пятен составляет  $S = 9 - 33\%$  полной поверхности звезды (рис. 2).



**Рис. 2.** Сводная кривая блеска FK Com в полосе  $V$  и изменения со временем полной площади пятен  $S$  и их средней широты  $\langle\phi\rangle$  в 1966–2024 годы.

Температура тени пятен составляет  $T_{\text{spot}} = 3700$  К (разность температур тени пятен и незапятнанной фотосферы  $\Delta T = 1300$  К, соответствующая контрасту пятен  $\beta_V = 0.15 - 0.19$ ). Такое значение типично для пятен у других GK звезд, как карликов, так и гигантов [10, 12]. Оно сходно с температурой тени солнечных пятен и соответствует гипотезе, что температуры звездных пятен не зависят от эволюционного статуса переменной [13].

Изменения полной площади пятен  $S$  в целом отражают колебания среднего блеска звезды и также показывают цикличность с найденными нами характерными временами  $P_{\text{cyc1}} = 26.^y7$  и  $P_{\text{cyc2}} = 7.^y45$ . Изменения средней широты пятен  $\langle \phi \rangle$  и полной площади  $S$  показывают антикорреляцию с коэффициентом  $R(\langle \phi \rangle, S) = -0.63 \pm 0.06$ , то есть наблюдается тенденция понижения широты пятен с увеличением их полной площади, ранее отмеченная нами для ряда запятненных звезд различных спектральных классов и типов светимости. Мы считаем это грубым аналогом солнечной диаграммы бабочек [14, 15], которая указывает на дрейф запятненных областей к экватору по мере увеличения полной площади пятен в течение цикла активности.

#### Литература

1. Chugainov P.F. // Inform. Bull. Var. Stars. 1966, **172**.
2. Jetsu L., Tuominen I., Grankin K.N., et al. // Astron. and Astrophys. (Letters), 1994, **282**, L9.
3. Hackman T., Pelt J., Mantere M.J., et al. // Astron. and Astrophys., 2013, **553**, A40.
4. Пузин В.Б., Саванов И.С., Дмитриенко Е.С. и др. // Астрофиз. бюлл., 2016, **71**, 189.
5. Savanov I.S., Naroenkov S.A., Nalivkin M.A., Shugarov A.S. // Contrib. Astron. Obs. Skalnat' Pleso., 2019, **49**, 415.
6. Maehara H. // Journal Space Sci. Inform. Japan., 2014, **3**, 119.
7. Бондарь Н.И. // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 1996, **93**, 111.
8. Алексеев И.Ю. // Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., 2008, **104**, 272.
9. Алексеев И.Ю. // Астрофизика, 2014, **57**, 275.
10. Кожевникова А.В., Алексеев И.Ю. // Астрон. журн., 2015, **92**, 818.
11. Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В. // Астрон. журн., 2017, **94**, 240.
12. Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В. // Астрон. журн., 2018, **95**, 421.
13. Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В. // Изв. Крым. Астрофиз. Обсерв., 2022, **118** (3), 27.
14. Лившиц М.А., Алексеев И.Ю., Кацова М.М. // Астрон. журн., 2003, **80**, 613.
15. Alekseev I.Yu. // Solar Phys., 2004, **224**, 187.