СПЕКТРАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ БЫСТРОВРАЩАЮЩЕГОСЯ ГИГАНТА FK COM

Козлова О.В., Алексеев И.Ю., Фурсяк М.И.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия

SPECTRAL ACTIVITY OF FAST ROTATING GIANT FK COM

Kozlova O.V., Alekseev I.Yu., Fursyak M.I.

Crimean astrophysical observatory, Nauchny, Crimea, Russia

We present the results of high-dispersion ($R = 20000$) spectral and UBVRI photometric observations for the fast rotating AGB giant FK Com. The spectra were obtained in the region of H α , Na I D and He I 5876 lines. The results showed that FK Com is surrounded by a solid rotating gas disk. This disk is the place where H α and He I 5876 emission lines are formed. The velocity of stellar rotating is closed to critical velocity, so matter can leave the star's surface forming a circumstellar gas disk. We detected switching of active longitudes in lines formed in the disk. This effect is similar to that found earlier using photometry and photospheric lines.

DOI: 10.31725/0552-5829-2020-159-162

Звезда FK Com является быстровращающимся гигантом спектрального класса G5 III [1] и прототипом для целой группы объектов – звезд типа FK Com. Всех их отличает аномально быстрое вращение, а также пятенная и хромосферная активность. Согласно [1] величина $v \sin i$ у FK Com достигает 160 км/с, что с учетом наклона оси вращения звезды по отношению к наблюдателю (60°) дает нам скорость вращения на экваторе 190 км/с. Звезда является очень известной запятанной переменной, открытой П.Ф. Чугайновым [2]. С ее фотометрической переменностью связано явление активных долгот и эффекта их переключения, впервые найденное именно для этой звезды Йетсу [3]. У FK Com была также обнаружена цикличность таких переключений с характерным временем 6.5 лет (см. [1, 4]).

Для объяснения быстрого вращения FK Com в 1976 году Веббинком [5] была выдвинута гипотеза, согласно которой звезды этого типа образуются в результате эволюции тесной двойной системы с последующим слиянием двух компонентов. В результате образуется одна быстровращающаяся звезда, которую окружает некий газовый остаток – диск. Именно такой диск и обнаруживается у FK Com. Он считается неким статичным образованием (см. Вида и др. [6]), не играющим роли в наблюдаемой активности звезды. Результаты многолетнего спектрального и фотометрического мониторинга звезд типа FK Com, проводимого в Крымской астрофизической обсерватории (КраО) показали, что это не так. Для звезды IN Com было обнаружено, что именно диск, а не хромосфера, является местом формиро-

вания широкой двухкомпонентной эмиссии, наблюдаемой в Бальмеровских линиях водорода, а также линии гелия He I 5876 (см. [7]). При этом природа этого диска не имеет никакого отношения к диску Веббинка. Он формируется и поддерживается за счет интенсивного звездного ветра, связанного с аномально быстрым вращением звезды и показывает связь с циклом звездной активности.

Для анализа спектральной переменности FK Com мы использовали спектры с высоким разрешением ($R = 20000$), полученные в КрАО в 2020 г. на 2.6 м телескопе ЗТШ в фокусе куда с помощью эшелюного спектрографа ЭСПЛ и ПЗС камеры. Наблюдения велись в областях эмиссионной линии $H\alpha$, резонансного дублета натрия Na I D и линии гелия He I 5876.

Фотометрические наблюдения FK Com осуществлялись на 1.25 м телескопе АЗТ-11 с помощью 5-канального UBVRI фотометра-поляриметра. Ошибка определения блеска в полосе V не превышает 0.01^m .

На рис. 1 показан пример эмиссионных профилей $H\alpha$ и He I 5876 у FK Com. Тонким пунктиром наложен профиль обычной хромосферно-активной звезды VY Ari.

Рис. 1.

На синем эмиссионном крыле $H\alpha$ видна слабая переменная абсорбция. Она формируется в ветре. Мы определяли ее лучевую скорость $V_{wind}(H\alpha)$, а также еще нескольких параметров, среди которых лучевая скорость центральной абсорбции V_{abs} , лучевая скорость синего эмиссионного компонента V_{blue} , интенсивности синего I_{blue} и красного I_{red} эмиссионных компонентов, а также эквивалентная ширина резонансного дублета натрия $EW(Na\ I\ D)$. Их изменение в зависимости от фазы вращения звезды для линий $H\alpha$ и He I 5876 показано на рис. 2. Внизу на рис. 2а мы привели изменение блеска FK Com в полосе V. Оно хорошо согласуется с изменением $EW(Na\ I\ D)$, что связано с распределением пятен по поверхности звезды

(резонансный дублет натрия формируется в фотосфере звезды, поэтому по нему можно судить о распределении холодных пятен по поверхности).

Рис. 2.

Как известно, эмиссионные линии у хромосферно-активных звезд достаточно узкие: лучевые скорости границ эмиссионных крыльев не превышают ± 100 км/с (см. рис. 1, пунктирная линия), что связано с кинематикой горячего газа в активной области (см. [8]). В случае FK Com ширина эмиссионных крыльев линии $\text{H}\alpha$ может достигать ± 800 км/с. Линия $\text{He I } 5876$ более узкая, но и ее ширина (± 300 км/с) совершенно немыслима для обычных запятанных звезд. В то же время такие профили совершенно нормальны для вращающихся газовых дисков. Простейшие оценки показывают, что в случае кеплеровского вращения диск должен был бы начинаться глубоко внутри звезды, что невозможно. В случае же твердотельно вращающегося диска мы получаем прекрасное согласие с результатами наблюдений. Оценки внутреннего и внешнего радиусов диска для линии $\text{H}\alpha$ и $\text{He I } 5876$ составляют, соответственно, $3 R_*$ и $1.5 R_*$ для внешнего радиуса R_{out} и $1.2 R_*$ и $1.1 R_*$ для внутреннего радиуса R_{in} . Как видно, диск начинается примерно от поверхности звезды и простирается на 2 звездных радиуса. В линии He I его размер меньше.

Как известно, линия гелия He I 5876 является индикатором горячего ($T > 16000$ K) плотного газа (см. [9]). Откуда такое вещество берется во внутренних областях диска? Мы полагаем, что газ с такими параметрами мог бы накапливаться внутри магнитных петель, расположенных над областями пятен и имеющих размеры порядка радиуса звезды. На это, в частности, указывают данные рисунка 2, где максимальные значения интенсивности синего эмиссионного компонента I_{blue} и самые маленькие лучевые скорости центральной абсорбции гелия $V_{\text{abs}}(\text{He I})$ достигаются в фазе 0.8, когда на луче зрения оказывается более запятенная область. В фазе 0.2, когда пятен меньше всего, наблюдаются максимальные скорости синего эмиссионного компонента $V_{\text{blue}}(\text{He I})$ в гелии. Т.о., интенсивное истечение горячего газа наблюдаются тогда, когда площади пятен, а значит, и связанных с ними локальных магнитных полей минимальны. То есть магнитное поле стабилизирует диск, не давая ему диссипировать. На эту же стабилизирующую роль магнитного поля указывают и результаты работы [10], посвященной рентгеновскому и УФ излучению FK Com, где также обнаружены зоны высокой плотности в области магнитных петель.

Отдельно следует сказать об активных долготах. Данные наших фотометрических наблюдений 2019 года показывают две активные долготы на фазах 0.2 и 0.8. Те же долготы мы видим в переменности спектральных линий в 2020 г (см. рис. 2). Поскольку в фазе 0.2 пятен меньше, это означает, что мы наблюдаем переключение активных долгот, описанное ранее в [4]. Однако в нашем случае оно наблюдается не в фотосферных линиях, а в линиях, формирующихся в диске.

Т.о. FK Com являет собой пример уникальной запятенной звезды с магнитной активностью. Эта уникальность обусловлена аномально быстрым вращением FK Com, близким к критическому, что, фактически, позволяет нам говорить о Ве феномене у звезд поздних спектральных классов.

Литература

1. Korhonen H., Berdyugina S.V., Hackman T., et al. // A&A, 1999, 346, 101.
2. Chugainov P.F. // Inform. Bull. Var. Stars, 1966, 172.
3. Jetsu L., Pelt J., Tuominen I. // A&A, 1993, 278, 449.
4. Korhonen H., Berdyugina S.V., Tuominen I. // A&A, 2002, 390, 179.
5. Webbink R.F. // ApJ, 1976, 209, 829.
6. Vida K., Korhonen H., Ilyin I.V., et al. // A&A, 2015, 580, A64.
7. Козлова О.В., Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В. // Астрофизика, 2017, 60, 51.
8. Alekseev I.Yu., Kozlova O.V. // A&A, 2003, 403, 205.
9. Тамбовцева Л.В., Гринин В.П., Козлова О.В. // Астрофизика, 1999, 42, 75.
10. Ayres T.R., Kashyap V., Saar S., et al. // ApJSS, 2016, 223, 5.