

АКТИВНОСТЬ ЗВЕЗДЫ ET Dra

И.С.САВАНОВ¹, С.А.НАРОЕНКОВ¹, М.А.НАЛИВКИН¹,
Е.С.ДМИТРИЕНКО²

Поступила 22 августа 2018

Принята к печати 29 мая 2019

Для звезды типа FK Com - ET Dra на Звенигородской обсерватории ИНАСАН в марте-апреле 2018г. были проведены фотометрические наблюдения в фильтре V. По новым данным, методом решения обратной задачи восстановления поверхностных температурных неоднородностей для ET Dra, были изучены положения холодных областей на ее поверхности, которые были сопоставлены с данными, полученными по фотометрическим наблюдениям в 1990г.

Ключевые слова: *звезды: фотометрия: переменность: активность: пятна*

1. *Введение.* Звезда FK Com является прототипом одиночных быстро-вращающихся хромосферно-активных звезд спектральных классов G-K [1], число которых крайне мало. Кроме самого прототипа FK Com, к ним относятся HD 199178 и ET Dra (BD+70959). Звезда UZ Lib была исключена из объектов, принадлежащих к этому типу, после установления ее двойственности. 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 [2,3]). Основные свойства FK Com можно также найти в [4] и в серии статей Корхонен и др. [3].

Несмотря на большой интерес к уточнению эволюционного статуса звезд типа FK Com и установлению их возможной связи с переменными типа W UMa, за последние десятилетия было опубликовано сравнительно небольшое число исследований, посвященных этому интересному типу звезд. Результаты попыток нахождения новых кандидатов в звезды типа FK Com представлены в [5-7]. Однако, до получения обширных спектральных наблюдений с целью выявления отсутствия двойственности, найденные объекты будут оставаться кандидатами в звезды типа FK Com.

ET Dra (BD+70959, IE 1751.0+7046) является наименее изученной звездой типа FK Com. Подробное описание свойств ET Dra можно найти в [8], где была уточнена спектральная классификация звезды - K0III и приводится

точная оценка параметра $v \sin i = 23$ км/с. Спектральные наблюдения, выполненные авторами в KPNO, привели к заключению о присутствии в спектре ET Dra сильной линии лития $6707 \text{ \AA}$ с эквивалентной шириной $90 \text{ m\AA}$, что позволило уточнить содержание лития в атмосфере звезды $\log A(\text{Li}) = 1.8$. Многочисленные свидетельства высокой магнитной активности ET Dra были получены при анализе ее ультрафиолетовых наблюдений с IUE, а также рентгеновских наблюдений (см. в [8]). Результаты наиболее детального фотометрического анализа ET Dra были представлены в [9]. Авторы [9] по наблюдениям ET Dra в 1990г. установили фотометрический период вращения звезды $P = 13.982 \pm 0.0078$ суток и указали на достаточно большую величину амплитуды переменности блеска (около $0^{\text{m}}.3$ в фильтре V). Результаты исследований [8,9] содержат обсуждения вопроса о постоянстве лучевой скорости ET Dra.

2. Описание наблюдений и их обработка. Новые фотометрические наблюдения звезды ET Dra были проведены на Звенигородской обсерватории ИНАСАН в марте-апреле 2018г. Для наблюдений использовалась роботизированная широкоугольная система мониторинга околоземного пространства (см. [10]): широкоугольный телескоп Officina Stellare RH-200, опорно-поворотное устройство ASA DDM 85, защитный купол ScopeDome 2M. Данная роботизированная система позволяет в автоматическом режиме проводить наблюдения за космическими объектами по заранее заданному плану наблюдений. Регистрация производилась на ПЗС приемнике "FliProline 16803". Размер чипа камеры равен 4096×4096 пикселей, размер пиксела - 9×9 микрон. Время экспозиции выбиралось для каждого фильтра и ночи индивидуально (оно составляло от 20 до 60 с), таким образом, чтобы количество отсчетов, получаемых для звезды исследования и звезд сравнения, соответствовало примерно половине динамического диапазона отсчетов камеры. Анализируемое поле зрения получаемого кадра составляло $3^{\circ}.5 \times 3^{\circ}.5$. В такой комбинации научных инструментов один кадр включает значительное количество объектов, что дает большой выбор звезд сравнения для дифференциальной фотометрии.

Наблюдательные данные прошли предварительную обработку, которая заключалась в вычитании усредненного кадра "bias", вычитании кадра "темнового" тока и делении кадров изображений на кадры плоского поля. Фотометрия звезд осуществлялась дифференциальным методом. Как и в [9], для ET Dra в качестве стандарта была выбрана звезда BD+71853 ($V = 9^{\text{m}}.04$).

Обработка кадров осуществлялась в программном пакете "MaxImDL". Точность единичного измерения составляла примерно 0.009 зв. вел. Для построения карт поверхностных температурных неоднородностей, были использованы данные фотометрической переменности звезды в фильтре V.

Всего было получено 759 оценок блеска в течение 23-х суток с HJD 2458205 по HJD 2458228. После построения фазовой диаграммы (величина периода вращения была принята согласно [9]), данные измерений были усреднены для интервалов в 0.05 по фазе.

3. Температурные карты. Методика восстановления карты поверхностных температурных неоднородностей была детально описана нами в [11]. Дополнительные сведения о методике получения карт можно найти, например, в [12,13]. Помимо наблюдений, полученных нами в 2018г., мы рассмотрели данные о переменности блеска ET Dra, опубликованные в [9]. Ранее, для построения температурных карт, эти измерения не были использованы. Мы объединили данные сетов 1 и 2 из [9], так что для анализа были взяты 48 измерений блеска в фильтре V, при этом усреднение по фазам для данных из [9] не проводилось.

Две кривые блеска (48 индивидуальных измерений в 1990г. и усредненные по равноотстоящим фазам - данные 2018г.) были проанализированы с помощью программы iPH [11]. Программа решает обратную задачу восстановления температурных неоднородностей звезды по кривой блеска в двухтемпературном приближении, при котором задаются температуры невозмущенной фотосферы и пятен. Описание и тесты программы были представлены в [11]. Как и в [8], мы приняли, что температура фотосферы ET Dra составляет $T_{eff} = 4800$ K, а температура пятен ниже ее на 750 K. Для расчетов мы применяли данные из сетки моделей Куруца. При моделировании поверхность звезды была разделена на элементарные площадки размером $6^\circ \times 6^\circ$, для которых были определены факторы заполнения f , являющиеся неизвестными величинами нашего анализа. Блеск звезды в фильтре V, в предположении об отсутствии пятен на ее поверхности, был принят равным $8^m.55$. Согласно [8], угол наклона оси вращения звезды к лучу зрения близок к 60° . На рис.1 представлены результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности ET Dra для наблюдений в 1990 и в 2018гг. По построенным картам (рис.1) мы определили долготы, соответствующие максимальным значениям f . Как отмечалось ранее [8], для ET Dra имеются концентрации пятен на двух долготах (одна из них выражена сильнее). Точность определений положений активных долгот в среднем составляет величину порядка 12° - 24° на поверхности звезды (или 0.033-0.066 в единицах фазы).

На протяжении 28 лет кривые блеска претерпели следующие изменения. Во-первых, блеск звезды стал в среднем слабее на $0^m.18$ в фильтре V. Во-вторых, форма протяженного минимума блеска изменила вид. Как было отмечено нами в [11], рассмотрение полученных при решении обратной задачи карт поверхностных температурных неоднородностей звезды имеет преимущество

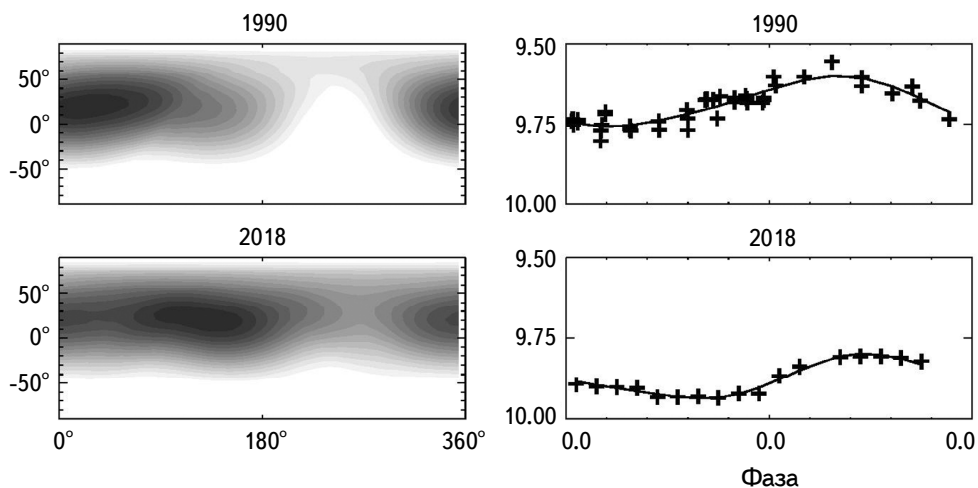


Рис.1. Результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности ET Dra. Верхний ряд. Слева - Карты поверхности звезды по наблюдениям в 1990г. (представлены в единой шкале, более темные области на рисунках соответствуют более высоким значениям факторов заполнения f .) По оси абсцисс - долгота в градусах, по оси ординат - широта в градусах. Справа - наблюдаемые кривые блеска (символ плюс) и построенные по восстановленной модели теоретические. Нижний ряд. То же, но для наблюдений 2018г.

перед анализом кривых блеска в том, что оно позволяет разделить положения пятен на звезде, даже если на кривой блеска они образуют протяженный минимум. Согласно нашим результатам (рис.1), наличие двух холодных областей (пятен) приводит к формированию протяженного минимума блеска звезды. В 1990г. большей по площади была первая из областей (с центром по долготе в 0.09 в фазах или 32°), а к 2018г. - большей стала вторая (0.34 по фазе, 122°). Расстояние между областями примерно равно 90° . Непосредственно на кривой блеска данное обстоятельство выразилось в изменении асимметрии ее части с ослаблением блеска.

Как указывалось, к 2018г. блеск звезды уменьшился, общая запятненность объекта (согласно нашему модельному расчету) возросла с 10 до 23% процентов от площади полной видимой поверхности звезды.

К сожалению, из-за отсутствия наблюдательных данных мы не можем ничего сказать об эволюции активности ET Dra между 1990 и 2018гг. Авторы [14] не приводят результаты наблюдений ET Dra в JD 2449374 - JD 2449545, в статье лишь содержится указание на то, что амплитуда переменности блеска ΔV составила в каждом из трех сезонов их наблюдений $0^m.17$, $0^m.17$ и $0^m.23$, соответственно. Авторы [8] приводят следующие значения амплитуд переменности блеска звезды в фильтре V - $0^m.22$ в 1991г. и $0^m.17$ в 2013г. По нашим наблюдениям в 2018г. величина ΔV составила $0^m.14$. Амплитуда переменности блеска, как нами ранее неоднократно указывалось,

дает информацию только о различиях параметра S между более и менее запятненными полушариями.

Отсутствие регулярных фотометрических наблюдений не позволяет оценить такие важные свойства объекта, как наличие дифференциального вращения и эффектов переключения положений активных областей (флип-флопов). Нет информации о циклах активности звезды.

4. *Заключение.* Существование быстро вращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов является исключением из общего правила медленного осевого вращения гигантов, предсказываемого теорией звездной эволюции. Если рассматривать гипотезы их образования, то среди них следует упомянуть связанные со слиянием компонентов в тесной двойной системе, с резким гипотетическим выносом углового момента из недр звезды, с передачей момента вращения из околозвездного окружения и т.д. (см. обсуждения в [15,16]). Очевидно, что звезды типа FK Com занимают первые места в списке такого рода объектов, однако число открытых быстро вращающихся одиночных гигантов поздних спектральных классов все еще невелико. При этом среди звезд типа FK Com наиболее изученными являются сама FK Com и HD 199178.

Наш анализ был посвящен мало изученной звезде этого типа - ET Dra, для которой в марте-апреле 2018г. нами были проведены новые фотометрические наблюдения в фильтре V. По новым данным методом решения обратной задачи восстановления поверхностных температурных неоднородностей для ET Dra были изучены положения холодных областей на ее поверхности, которые были сопоставлены с данными, полученными по фотометрическим наблюдениям в 1990г.

¹ Институт астрономии РАН, Москва, Россия, e-mail: igs231@mail.ru

² Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Москва, Россия, e-mail: issesd@rambler.ru

ACTIVITY OF ET Dra

I.S.SAVANOV¹, S.A.NAROENKOV¹, M.A.NALIVKIN¹, E.S.DMITRIENKO²

New photometric observations in filter V of FK Com type star - ET Dra were carried out at the Zvenigorod observatory (INASAN) in March-April, 2018. Using

new data and method of solving the inverse problem of reconstructing surface temperature inhomogeneities from light curves the positions of cold regions on the surface of ET Dra were studied and compared with the data obtained from photometric observations in 1990.

Keywords: *stars: photometry: variability: activity: spots*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.W.Bopp, R.E.Stencel*, *Astrophys. J.*, **247**, L131, 1981.
2. *T.Hackman et al.*, *Astron. Astrophys.*, **553A**, 40H, 2013.
3. *H.Korhonen et al.*, *Astron. Astrophys.*, **476**, 881, 2007.
4. *L.Jetsu, J.Pelt, I.Tuominen*, *Astron. Astrophys.*, **278**, 449, 1993.
5. *V.B.Puzin, I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, *Astron. Rep.*, **58**, 471, 2014.
6. *S.B.Howell, E.Mason, P.Boyd et al.*, *Astrophys. J.*, **831**, 27, 2016.
7. *V.B.Puzin, I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, *Astron. Rep.*, **61**, 693, 2017.
8. *C.W.Ambruster, F.C.Fekel, E.F.Guinan et al.*, *Astrophys. J.*, **479**, 960, 1997.
9. *L.Jetsu, R.Anttila, E.Dmitrienko et al.*, *Astron. Astrophys.*, **55**, 890, 2011.
10. *I.S.Savanov, S.A.Naroenkov, M.A.Nalivkin et al.*, *Astrophys. Bull.*, **73**, 267, 2018.
11. *I.S.Savanov, K.G.Strassmeier*, *Astron. Nachr.*, **329**, 364, 2008.
12. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, *Astron. Rep.*, **55**, 890, 2011.
13. *I.S.Savanov, E.S.Dmitrienko*, *Astron. Rep.*, **56**, 116, 2012.
14. *G.W.Henry, C.Fekel, D.S.Hall*, *Astron. J.*, **110**, 2926, 1995.
15. *A.V.Tutukov, A.V.Fedorova*, *Astron. Rep.*, **54**, 156, 2010.
16. *J.Tayar, T.Ceillier, D.A.Garcia-Hernandez et al.*, *Astrophys. J.*, **807**, 82, 2015.