

АКТИВНОСТЬ КРАСНОГО КАРЛИКА FR Спс ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ РОБОТИЗИРОВАННОГО ТЕЛЕСКОПА IRT-20 ЗВЕНИГОРОДСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ИНАСАН

© 2019 г. И. С. Саванов^{1*}, С. А. Нароенков¹,
М. А. Наливкин¹, Д. С. Пандей², С. Кармакар²

¹Институт астрономии РАН, Москва, Россия

²Ариабхатта исследовательский институт АРИЕС, Наньитал, Индия

Поступила в редакцию 11.06.2019 г.; после доработки 25.06.2019 г.; принята к публикации 25.06.2019 г.

Представлены результаты новых фотометрических наблюдений хромосферно-активной звезды FR Спс, выполненных с помощью роботизированного телескопа на Звенигородской обсерватории ИНАСАН в марте 2019 г. Наблюдения проводились с 2 по 13 марта 2019 г. в период времени, наиболее совпадающий по временному интервалу с наблюдениями звезды космическим телескопом *Astrosat*. Всего было получено по 450 оценок блеска в фотометрических системах *B*, *V* и *R* в течение 12 сут (с HJD 2458545.2 по HJD 2458556.5). По данным фотометрической переменности звезды в фильтре *V* построены карты поверхностных температурных неоднородностей. По нашей оценке, площадь пятен на поверхности звезды в начале 2019 г. составила порядка 12% от полной площади ее поверхности. 3 марта 2019 г. при проведении наших наблюдений была зарегистрирована вспышка FR Спс в момент, соответствующий HJD = 2458554.25891447 или 0.8 фазы вращения. Данные для вспышки указывают на быстрое возрастание блеска звезды на 0.19^m в полосе *B* и на 0.09^m в полосе *V*, вспышка длилась примерно 60 мин. Энергия, излученная во вспышке, составила $E_B = 2.17 \times 10^{33}$ эрг и $E_V = 1.40 \times 10^{33}$ эрг в полосах *B* и *V* соответственно.

Ключевые слова: переменные звезды.

DOI: 10.1134/S0320010819090055

ВВЕДЕНИЕ

Активность звезды FR Спс (BD+16 1753, 1ES 0829+15.9, IRSX J083230.9+154940, HIP 41889) была впервые установлена при ее отождествлении с источником мягкого рентгеновского излучения 1ES 0829+15.9. Яркость объекта составляет $V = 10.43^m$, спектральный класс — K8V. Более подробно о свойствах звезды см. в (Головин и др., 2012) и (Кожевникова и др., 2018). Отношение рентгеновской и болометрической светимостей составляет $L_x/L_{bol} > 10^{-3.3}$, что указывает на высокую корональную активность объекта. Согласно данным каталога *Hipparcos*, переменность блеска звезды составляет 0.17^m. Период вращения звезды составляет 0.8267 ± 0.0004 сут, фотометрическая кривая блеска существенно меняет свою форму и по фазе, и по амплитуде, что свидетельствует об эволюции пятен на поверхности звезды. В спектре FR Спс наблюдаются сильные и переменные

по величине линии водорода и ионизованного кальция. Параллакс звезды по данным архива *GAIA DR2* составляет 28.119 ± 0.066^m , что соответствует расстоянию в 35.6 пк до объекта. Кинематические свойства указывают на то, что FR Спс является молодой звездой (35–55 млн. лет) главной последовательности, возможным членом сверхскопления IC 2391. Наблюдательных указаний на двойственность объекта не найдено.

Мы выполнили новые фотометрические наблюдения звезды в период времени со 2 по 13 марта 2019 г., наиболее близкий к периоду ее наблюдений с космическим телескопом *Astrosat* (1–3 марта 2019 г.)

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Новые фотометрические наблюдения звезды FR Спс были проведены на Звенигородской обсерватории ИНАСАН в марте 2019 г. Для наблюдений использовалась роботизированная широкоугольная система мониторинга околоземного

*Электронный адрес: isavanov@inasan.rssi.ru

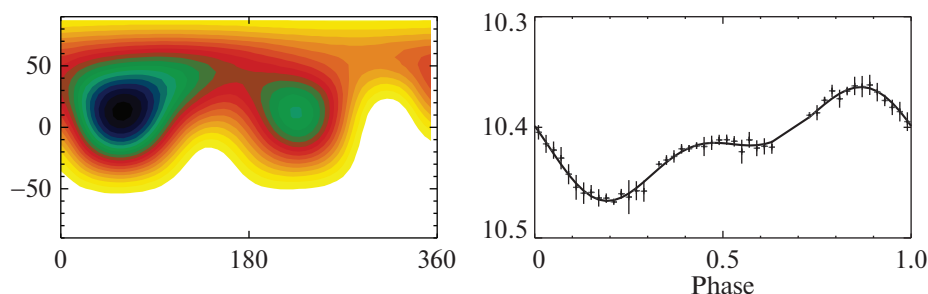


Рис. 1. Результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности FR Спс. Слева — карты поверхности звезды по наблюдениям в марте 2019 г. Данные представлены в единой шкале, более темные области на рисунках соответствуют более высоким значениям факторов заполнения f . По оси абсцисс — долгота в градусах, по оси ординат — широта в градусах. Справа — наблюдаемая кривая блеска по данным измерений, усредненных для интервалов в 0.05 по фазе, (представлены погрешности оценок) и построенные по восстановленной модели теоретические данные (сплошная линия).

пространства (см., например, Саванов и др., 2018) в составе: широкоугольный телескоп *Officina Stellare RH-200*, опорно-поворотное устройство *ASA DDM 85*, защитный купол *ScopeDome 3M*. Система мониторинга позволяет в автоматическом режиме проводить наблюдения за небесными объектами по заранее заданному плану наблюдений. Регистрация производилась на ПЗС-приемник *FLI Proline 16803* в стандартной фотометрической системе Джонсона-Казинса *UBVRI*. Размер фотоприемной области применяемой камеры 4096×4096 пикселей, размер пиксела — 9×9 мкм. Время экспозиции выбиралось для каждого фильтра и ночи индивидуально (в диапазоне от 20 до 60 с). Анализируемое поле зрения получаемого кадра составляло 2.5×2.5 градусов. В такой комбинации научных инструментов один кадр включает значительное количество объектов, что дает большой выбор звезд сравнения для дифференциальной фотометрии. Наблюдательные данные подвергались стандартным процедурам астрометрической и фотометрической редукции. Фотометрия звезд осуществлялась дифференциальным методом. Как и в (Головин и др., 2012), для FR Спс в качестве стандарта была выбрана звезда *BD+16 1751* ($V = 9.51^m$), в качестве звезд сравнения использовались звезды *BD+16 1756* ($V = 9.81^m$) и *BD+16 1758* ($V = 10.18^m$).

Обработка кадров осуществлялась в программном пакете *MaxImDL*. Наблюдения проводились в фотометрических системах *B*, *V* и *R*. Точность единичного измерения составляла примерно $0.008^m - 0.009^m$ в трех фильтрах. Наблюдения проводились в ночи 2, 3, 6, 9, 11, 13 марта 2019 г. Всего было получено по 450 оценок блеска в фотометрических фильтрах *B*, *V*, *R* в течение периода наблюдений (HJD 2458545.2–HJD 2458556.5).

Для построения карты поверхностных температурных неоднородностей были использованы данные фотометрической переменности звезды в фильтре *V*. После построения фазовой диаграммы (величина периода вращения была принята согласно (Кожевникова и др., 2018)), данные измерений были усреднены для интервалов в 0.05 по фазе (рис. 1).

КАРТА ПОВЕРХНОСТНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ

Методика восстановления карты поверхностных температурных неоднородностей была детально описана нами в (Саванов и др., 2018). Кривая блеска FR Спс была усреднена по равноотстоящим фазам и проанализирована с помощью программы *iPH* (Саванов и др., 2018). Программа решает обратную задачу восстановления температурных неоднородностей звезды по кривой блеска в двухтемпературном приближении, при котором задаются температуры невозмущенной фотосферы и пятен. Как и в (Головин и др., 2012), мы приняли, что температура фотосферы FR Спс составляет $T_{\text{eff}} = 4250$ К, а температура пятен — 3000 К. Для расчетов мы применяли данные из сетки моделей Куруца. При моделировании поверхность звезды была разделена на элементарные площадки размером 6×6 градусов, 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 10.30^m . Согласно (Головин и др., 2012), угол наклона оси вращения звезды к лучу зрения 55° . На рис. 1 представлены результаты восстановления температурных неоднородностей на поверхности FR Спс для наблюдений в марте 2019 г. По построенным

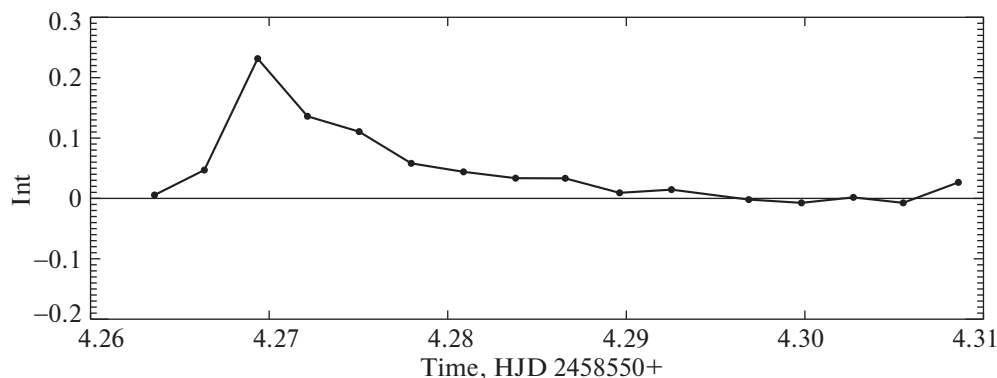


Рис. 2. Вспышка на FR Спс 3 марта 2019 г. в фотометрической полосе B . По вертикальной оси — относительная интенсивность излучения, по горизонтальной — юлианские даты.

картам (рис. 1) мы определили долготы, соответствующие максимальным значениям \dot{f} . Как отмечалось ранее (Головин и др., 2012), для FR Спс имеется концентрации пятен на двух долготах (одна из них выражена сильнее), возможно, соединенных перемычкой, которая хорошо просматривается на доплеровских картах, построенных по спектральным наблюдениям в 2004 г. Точность определений положений активных долгот в среднем составляет величину порядка 12–24 градусов на поверхности звезды (или 0.033–0.066 в единицах фазы). По нашей оценке, площадь пятен на поверхности звезды в начале 2019 г. составила порядка 12% от полной площади ее поверхности. Согласно данным (Головин и др., 2012), по результатам доплеровского картирования запятненность FR Спс в 2004 г. была 6%. В будущем мы планируем провести детальный анализ эволюции положений активных областей на поверхности FR Спс и оценить наличие возможных циклов активности.

ВСПЫШКА ЗВЕЗДЫ 3 МАРТА 2019 г.

Первая вспышка для FR Спс была зарегистрирована 23 ноября 2006 г. Наблюдения проводились в Крымской астрофизической обсерватории с 38 см телескопом в фильтрах $BVRI$ (Головин и др., 2007). Амплитуда вспышки в полосе B , согласно (Головин и др., 2007), достигла 1.02^m . Более подробное описание последующих исследований вспышечной активности FR Спс содержится в статьях (Головин и др., 2012) и (Кожевникова и др., 2018).

3 марта 2019 г. при проведении наших наблюдений была зарегистрирована вспышка в момент, соответствующий $HJD = 2458554.25891447$ или 0.8 фазы вращения (рис. 2). Данные для вспышки указывают на быстрое возрастание блеска на 0.19^m в полосе B и на 0.09^m в полосе V ,

продолжительность вспышки составила примерно 60 мин. По продолжительности эта вспышка сопоставима с описанной в (Кожевникова и др., 2018), но превосходит ее по амплитуде увеличения блеска.

Общая энергия излучения во вспышке была вычислена нами по стандартной методике (см., например, более подробное описание в работе Головина и др., 2012). Измеренная нами относительная энергия вспышки RE составила 98.5 с в фильтре B и 49.1 с в фильтре V . Энергия, излученная во вспышке, оказалась равной $E_B = 2.17 \times 10^{33}$ эрг и $E_V = 1.40 \times 10^{33}$ эрг в полосах B и V соответственно. Таким образом, зарегистрированная вспышка по своим энергетическим характеристикам оказалась похожей на событие 3 февраля 2010 г. (Кожевникова и др., 2018). К сожалению, по погодным условиям и условиям видимости объекта, временной интервал наших наблюдений 3 марта 2019 г. был сильно ограничен, так что мы не можем сделать никаких заключений об увеличении блеска звезды после вспышки по сравнению с предвспышечным уровнем (подобно установленному в работе Головина и др., 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представлены результаты новых фотометрических наблюдений хромосферно-активной звезды FR Спс, выполненных с помощью роботизированного телескопа на Звенигородской обсерватории ИНАСАН в марте 2019 г. Наблюдения проводились со 2 марта по 13 марта 2019 г., в даты, наиболее совпадающие по временному интервалу с периодом наблюдений звезды с космическим телескопом *Astrosat*. Всего было получено по 450 оценок блеска в фотометрических фильтрах B , V , R в течение 12 сут ($HJD 2458545.2$ – $HJD 2458556.5$). По данным фотометрической переменности звезды

в фильтре V построены карты поверхностных температурных неоднородностей. По нашей оценке, площадь пятен на поверхности звезды в начале 2019 г. составила порядка 12% от полной площади ее поверхности. 3 марта 2019 г. при проведении наших наблюдений была зарегистрирована вспышка FR Спс в момент, соответствующий $HJD = 2458554.25891447$ или 0.8 фазы вращения. Данные для вспышки указывают на быстрое возрастание блеска объекта на 0.19^m в полосе B и на 0.09^m в полосе V . Продолжительность вспышки была около 60 мин. Энергия, излученная во вспышке, составила $E_B = 2.17 \times 10^{33}$ эрг и $E_V = 1.40 \times 10^{33}$ эрг.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 17-52-45048).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Головин и др. (A. Golovin, M.C. Galvez-Otiz, M. Hernan-Obispo, M. Andreev, J.R. Barnes, D. Montes, E. Pavlenko, J.C. Pandey, et al.), MNRAS **421**, 132 (2012).
2. Кожевникова и др. (A.V. Kozhevnikova, V.P. Kozhevnikov, and I.Y. Alekseev), Astrofizika **61**, 30 (2018).
3. Саванов и др. (I.S. Savanov, S.A. Naroenkov, and M.A. Nalivkin), Astrofiz. Bull. **73**, 344 (2018).
4. Головин и др. (A. Golovin, E. Pavlenko, Yu. Kuznyetsova, and V. Krushevskaya), Inform. Bull. Var. Stars **57480** (2007).