

КОРОТКИЕ ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ КРАСНЫХ КАРЛИКОВ ПО РАЗНЫМ ОБЗОРАМ

Бондарь Н.И., Шляпников А.А.

Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия

SHORT ACTIVITY CYCLES OF RED DWARFS ACCORDING TO DIFFERENT SURVEYS

Bondar' N.I., Shlaypnikov A.A

Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Russia

A brief historical overview of the search for red dwarf activity cycles, studies conducted by the authors and colleagues, and the current state of the problem are considered. Using four years of Kepler data, cyclic changes in the amplitudes of light curves and rotation periods were measured for some of the 3203 stars. The results of this study are analyzed by the authors using observations published in the Gaia and ZTF databases.

<https://doi.org/10.31725/0552-5829-2024-45-48>

Введение

Интерес к изучению циклической активности у звёзд малых масс и её связи с периодом их вращения обусловлен необходимостью понимания особенностей проявлений звездной активности на разных этапах эволюции и перспектив эволюции активности Солнца.

Диаграммы период вращения – длина цикла активности показывают наличие двух последовательностей для активных и малоактивных звёзд, и то, что Солнце не принадлежит ни к одной из них, возможно, свидетельствует о переходном состоянии нашей звезды.

Краткий исторический обзор по поиску циклов активности красных карликов, исследования, выполненные авторами с коллегами, и современное состояние проблемы рассмотрены в данной работе.

С запуском космических обсерваторий для поиска экзопланет (проекты CoRoT, Kepler и K2, TESS) появилась возможность с высоким временным разрешением анализировать временные ряды не только по целевому назначению, но и производить поиск возможных циклов активности звёзд. В том числе, анализировать данные на наличие сверхкоротких циклов, аналогичных циклам типа Ригера, длительностью менее года.

Циклы активности у Солнца и F-M карликов

Циклические проявления активности Солнца были открыты в 1844 г. благодаря обнаружению 11-летнего цикла по наблюдениям солнечных пятен [1]. А в 1908 г. найдена связь между развитием пятен и магнитной активностью [2, 3]. Магнитный цикл смены полярности в 22 года, равный

удвоенному 11-летнему циклу, был обнаружен в 1919 г. [4] и детально исследован в 1959–1961 гг. [5].

Начало регулярных наблюдений линий H и K Ca II у ~ 100 звёзд спектральных типов F2–M2 на обсерватории Маунт Вилсон [6] и обнаружение циклов хромосферной активности, сравнимых по длительности с 11-летним солнечным циклом [7] легли в основу первого каталога звёзд, у которых наблюдалась циклическая активность [8].

Проекты НК [8] и «The Sun in Time» [9] дали основные результаты о циклической активности звёзд солнечного типа разного возраста, связях между определяемыми из наблюдений значениями периодов вращения звёзд, длительностью и амплитудой циклов, и параметрами звёзд и звёздного динамо [10–12].

Наряду со спектральными методами по изучению звёздных циклов, важную роль играют и фотометрические, узкополосные, широкополосные и панорамные систематические наблюдения программных звёзд, анализ фотографических архивов и баз данных различных обзоров.

Впервые вращательная модуляция блеска, обусловленная присутствием пятен, и возможный 8-летний цикл пятнообразования были открыты у звезды BY Dra [13].

По фотографическим архивам удалось исследовать кривые блеска у ряда звёзд за несколько десятилетий и заподозрить у нескольких K–M карликов длинные циклы в 40–60 лет [14–18]. По данным 1967–2015 гг. у 6 M карликов найдены циклы 25–40 лет [19]. По выборке из 65 G–M карликов [20] было найдено, что у 50% звёзд доминирующие циклы от 7 до 21 года, т.е. сравнимы с солнечным циклом, у 30% звёзд – меньше 7 лет.

По длительным рядам наблюдений у некоторых красных карликов обнаружено несколько циклов: у BY Dra циклы 50–60 и 8 лет [13, 16]; у V833 Tau – тренд 109 лет, циклы 27–30 лет, 5.2 и 2.2 гг. [11]; у ϵ Eri – 2.2 и 12 лет [21] и 34 г. [22].

Анализ коротких циклов активности по данным Kepler, Gaia и ZTF

Анализируя выборку из 23601 звезды, наблюдавшихся обсерваторией Кеплер, авторы [23] отобрали 3203 звезды, у которых обнаружили периодичность изменения амплитуд блеска в диапазоне от 0.5 до 6 лет (P_{cyc}) с периодами вращения от 1 до 40 дней (P_{rot}). При анализе временных рядов для обнаружения периодичности применялся метод Ломба-Скаргла. Отбор звёзд был основан на вероятности ложной тревоги (FAP), которая составляла менее 5%, что почти в три раза превышало ожидаемое значение для чистого шума. Для последующего анализа нами были отобраны 1201 звёзд с $\text{FAP} \leq 1\%$. После перекрёстной идентификации радиусом 1" по координатам с данными Gaia [24], для которых есть временные ряды, осталось 373. В итоговый список вошло 33 звёзды, после включения данных ZTF [25].

Далее – примеры обработки наблюдений данных Kepler, Gaia и ZTF.

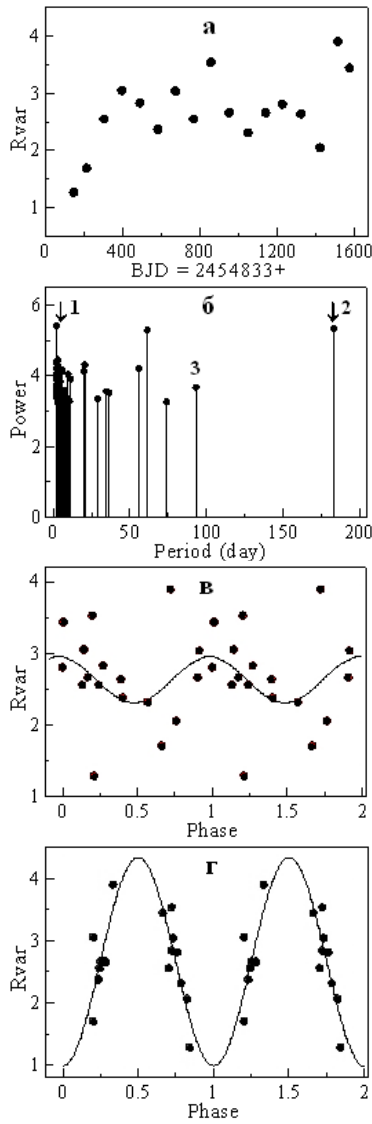


Рис. 1 а – г.

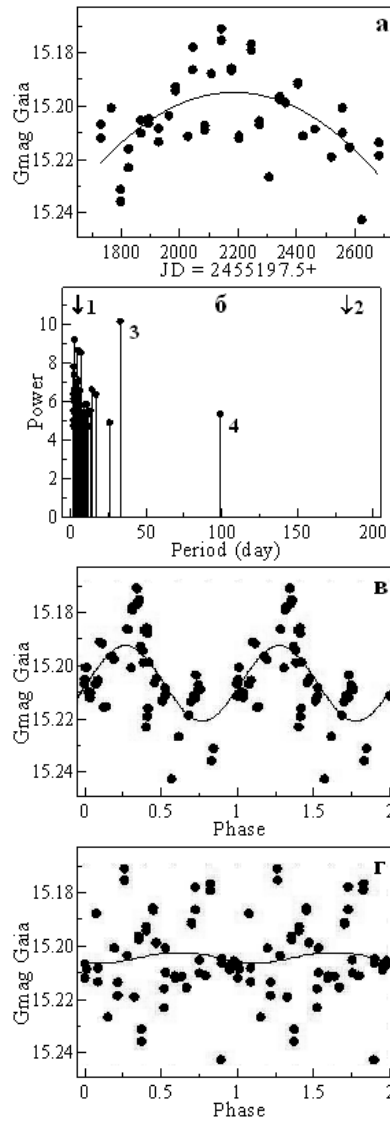


Рис. 2 а – г.

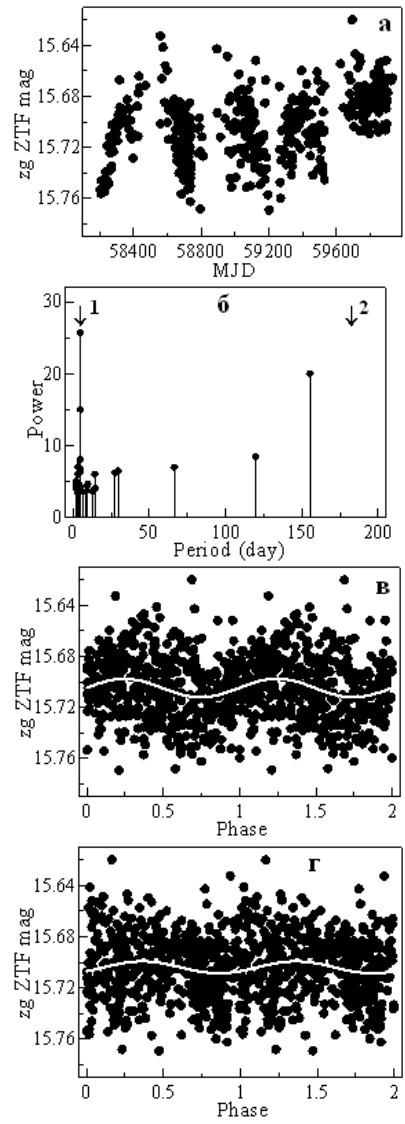


Рис. 3 а – г.

На рис. 1 продемонстрированы: оригинальный временной ряд звезды KIC 5009157 (а) 1427 дней (R_{var}) по данным [23]; его периодограмма (б); фазовая кривая (в) вращения ($P_{\text{rot}} = 4^{\text{d}}.89$) и фазовая кривая (г) цикла ($P_{\text{cyc}} = 182^{\text{d}}.5$). Цифрами на рисунке 1б указано: 1 – P_{rot} , 2 – P_{cyc} и 3 – $\approx P_{\text{cyc}}/2$.

Обработка данных Gaia. Рисунки 2 а – г. 2 а – временной ряд длительностью 952 дня. Виден тренд в изменении блеска. 2 б – периодограмма ряда. 2 в и 2 г – фазовые кривые с периодами $4^{\text{d}}.89$ и $182^{\text{d}}.5$. Как видно по рисункам 2 б и 2 г, период, связанный с P_{cyc} , отсутствует. Цифрами 3 и 4 на рис. 2 б обозначены периоды $\approx 33^{\text{d}}$ и $\approx 99^{\text{d}}$, возможно сопряжённые с P_{rot} и P_{cyc} .

На рис. 3 – результаты обработки данных ZTF. 3 а – временной ряд – 1728 дней. 3 б – периодограмма ряда. 3 в и 3 г – фазовые кривые с периодами $4^{\text{d}}.89$ и $182^{\text{d}}.5$. На рисунках 3 б и 3 г видно, что период, связанный с P_{cyc} , отсутствует либо очень слабо выражен. Амплитуда P_{cyc} по рис. 2 г и

3σ равна, соответственно, $\approx 0^m.004$ и $\approx 0^m.009$, что значительно ниже среднего значения ошибок наблюдений.

Заключение

Сравнение длительности циклов активности звёзд нижней части главной последовательности по данным различных обзоров позволяет определить достоверность их обнаружения, проследить их действие на более длительных интервалах времени и/или выявить новые циклы.

В данной работе, на примере звезды KIC 5009157, выполнен анализ её переменности по данным обсерваторий Kepler, Gaia и ZTF. По всем трём рядам наблюдений подтверждено существование периода вращения близкого к 4.89 дня. Циклическая активность с периодом 0.5 года, описанная в [23], явно выражена по данным Kepler, но не обнаружена по наблюдениям Gaia и ZTF. Составлен список звёзд для дальнейшего анализа.

Благодарности

В этом исследовании использовался инструмент доступа к каталогам VizieR, CDS, Страсбург, Франция [26], что помогло авторам в работе.

Литература

1. Schwabe H. // AN, 1844, 21, 233.
2. Hale G.E. // ApJ, 1908, 28, 315; ApJ, 1913, 38, 27.
3. Eberhard G., Schwarzschild K., ApJ, 1913, 38, 292.
4. Hale G.E., Ellerman F., Nicholson S.B., Joy A.H., 1919, ApJ, 49, 153.
5. Babcock H. // ApJ, 1959, 130, 364; 1961, ApJ, 133, 572.
6. Wilson O. // ApJ, 1968, 153, 221.
7. Vaughan A.H., Preston G.W., Wilson O.C. // PASP, 1978, 90, 267.
8. Baliunas S.L., Donahue R.A., Soon W.H. // ApJ, 1995, 438, 269.
9. Dorren, J.D., Guinan, E.F. // ApJ, 1994, 428, 805.
10. Donahue, R.A., Saar, S.H., Baliunas, S.L. // ApJ, 1996, 466, 384.
11. Oláh, K., Kővári, Z., Petrovay, K., et al. // A&A, 2016, 590, A133.
12. Boro Saikia, S., Marvin I. C.J., Jeffers S.V. et al. // A&A, 2018, 616, A108.
13. Chugainov P.F. // Izv. Krym. Astrofiz. Obs., 1973, 48, 3.
14. Phillips M.J., Hartmann L. // ApJ, 1978, 224, 182.
15. Hartmann L., Bopp B.W., Dussault M., et al. // ApJ, 1981, 249, 662.
16. Bondar' N.I. // AASuppl, 1995, 111, 259.
17. Bondar' N.I. // Izv. Krym. Astrofiz. Obs., 1996, 93, 111.
18. Shlyapnikov A.A., Bondar' N.I., Gorbunov M.A. // AcAT., 2022, 3, 2, 46.
19. Alekseev I.Yu., Kozhevnikova A.V. // Astronomy Reports, 2017, 61, 3, 221.
20. Bondar' N.I., Katsova M.M., Livshits M.A. // Ge&Ae, 2019, 59, 7, 832.
21. Metcalfe, T.S., Buccino, A.P., Brown, B.P. et al. // ApJ, 2013, 763, L26.
22. Fuhrmeister B., Coffaro M., Stelzer B. et al. // A&A, 2023, 672A, 149.
23. Reinhold T., Cameron R.H., Gizon L. // A&A, 2017, 603A, 52.
24. Gaia collaboration, 2022, yCat, 1355, 0G.
25. Chen X., Wang S., Deng L. et al. // ApJS, 2020, 249, 18.
26. Ochsenbein F., Bauer P., Marcout J. // A&AS, 2000, 143, 23.