ЦИКЛЫ ЗВЁЗД СОЛНЕЧНОГО ТИПА И БОЛЕЕ ХОЛОДНЫХ КАРЛИКОВ

Бондарь Н.И.¹, Кацова М.М.², Лившиц М.А.³

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Крым, Россия*

²*Государственный астрономический ин-т им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

³*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова, Троицк, Москва, Россия*

CYCLES ON SOLAR-TYPE STARS AND MORE COOL DWARFS

Bondar' N.I.¹, Katsova M.M.², Livshits M.A.³

¹*Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Crimea, Russia*

²*Sternberg State Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia*

³*Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Wave Propagation,
Troitsk, Moscow, Russia*

The features of the development of activity cycles on solar-type stars and fast rotating cool dwarfs are considered for 65 stars, observed on some decades. Cycles with duration of 7–18 years, as comparable to the 11-year solar cycle, are found for about 50% of studied stars. In cooler dwarfs with rotation periods of less than 5 days, cyclic changes in brightness occur on a longer scale, up to 80 years. The greatest level of activity is produced on K dwarfs, their main cycles are long and show the greatest amplitudes. Both old and young solar-type stars show the common tendency to increase the cycle length with decreasing of rotation. On cool dwarfs with $P_{\text{rot}} < 5$ days, there is no definite interrelation between the rotation and the cycle duration.

DOI: 10.31725/0552-5829-2018-67-70

Введение

Магнитная активность является общим феноменом G-M карликов, определяющим наблюдаемые виды переменности в разных диапазонах длин волн. Временная шкала переменности составляет от секунд (быстрые вспышки) до десятков лет (циклы активности, подобные солнечному магнитному циклу), а также вековые циклы в сотни и тысячи лет. У Солнца проявления активности в разных слоях атмосферы и солнечном ветре регулируются 11-летним циклом. Развитие циклов магнитной активности определяется скоростью вращения звезды и её внутренним строением. Согласно [1] у G карликов установление циклов начинается с возраста, при котором период вращения звезды достигает 1.1 дня, у K и M карликов – при периодах 3.3 и 7.2 суток соответственно. Звёзды соответствующих спектральных классов, вращающиеся быстрее, находятся в режиме насыщенной активности. Изучение звёздных циклов требует продолжительных

систематических наблюдений. В настоящее время для большинства объектов их длительность составляет 20–30 лет, что позволяет искать циклы не более 10–15 лет.

В данной работе приведены характеристики доминирующих циклов (циклов с максимальной амплитудой), полученные для 65 звёзд по многолетним спектральным и фотометрическим данным. Рассмотрены особенности связи между длительностью циклов и периодами вращения у звёзд солнечного типа и холодных карликов.

Длительности и амплитуды циклов

У карликов разных спектральных классов и разного возраста циклы активности могут составлять от нескольких лет до нескольких десятков лет. Наиболее надёжно определены циклы для 29 звёзд НК–проекта по 36-летним наблюдениям хромосферной активности [2]. Для 36 звёзд исследования циклов выполнены по фотометрическим рядам, включающим в том числе и фотографические измерения с начала прошлого века [3–7]. Для 10 звёзд мы расширили интервал исследования до 2018 года, дополнив полученные ранее ряды данными из фотометрических баз *Hipparcos*, *ASAS*, *SuperWASP*, *KWS* [8]. Таким образом, были получены данные о циклах для 65 звёзд (14 G, 28 K и 23 M карлика). У 50% карликов длительность циклов сравнима с солнечным циклом и составляет от 7 лет до 21 года. У быстро-вращающихся карликов обнаруживаются длинные циклы, до 80 лет. У 15 звёзд присутствуют только короткие циклы, меньше 7 лет (рис. 1.). У трёх полностью конвективных M-карликов с $P_{\text{rot}} < 5$ дней долговременные изменения блеска имеют неперiodический характер. Кривые блеска для ряда звёзд и результаты поиска циклов приведены в [9].

Рис. 1. Распределение исследованных звёзд по длительности циклов и периодам вращения.

Рис. 2. Связь амплитуды цикла с его длительностью у G-M карликов с разной скоростью вращения.

Особенности развития циклов у G-M карликов

Развитие циклов активности у звёзд солнечного типа во многом зависит от их скорости вращения. У звёзд с $P_{\text{rot}} > 5$ дней длина цикла возрастает при замедлении скорости вращения, причем эта группа неоднородна. У старых звёзд, вращающихся медленнее Солнца, эта тенденция выражена слабее, чем у молодых G и K карликов с $5 < P_{\text{rot}} < 20$ дней, и у них пока не выявлены циклы больше 20–22 лет. Среди молодых K карликов известны звёзды с циклами до 40 лет. Солнце находится между последовательностями старых и молодых звёзд.

Рис. 3. Связь числа оборотов в цикле и периода вращения у G-M карликов. Спектральные классы звезд обозначены как на рис. 2, соответствующим знаком указано положение Солнца. Пояснения даны в тексте.

ми для разных выборок звёзд [11–15]. В [11] для длинных и коротких циклов значение наклона $i \sim 0.77$, что согласуется с [9]. В [13, 14] рассмотрены только M звёзды, их циклы определены по наблюдениям длительностью менее 10 лет. Большие значения i указывают на то, что у более холодных карликов найденная связь ослабевает или отсутствует.

Амплитуда цикла у звёзд солнечного типа не превышает 0.2^m , у быстровращающихся холодных карликов она возрастает до 0.5^m и более, что указывает на значительную площадь активных областей.

Из рис. 2 следует, что K карлики выделяются из любой группы других G-M звёзд высоким уровнем активности по длительности циклов и амплитуде.

У наиболее молодых звёзд с $P_{\text{rot}} < 5$ дней не прослеживается определённой связи между вращением и длиной цикла. Полученная в [10] зависимость между наблюдаемыми параметрами P_{cyc} и P_{rot} и теоретическим числом динамо D ($P_{\text{cyc}}/P_{\text{rot}} \sim D^i$) рассматривалась другими авторами

для разных выборок звёзд [11–15]. В [11] для длинных и коротких циклов значение наклона $i \sim 0.77$, что согласуется с [9]. В [13, 14] рассмотрены только M звёзды, их циклы определены по наблюдениям длительностью менее 10 лет. Большие значения i указывают на то, что у более холодных карликов найденная связь ослабевает или отсутствует.

На рис. 3. показано существенное отличие наклонов линий регрессии при рассмотрении всего массива звёзд (сплошная линия с наклоном $i = 1.25$ (0.068) и звёзд солнечного типа (пунктирная линия, у которой $i = 0.76$ (0.15) согласно [15]).

Однако мы ещё не имеем достаточного числа звёзд с $P_{\text{rot}} < 5$ дней для анализа подобной связи по каждому спектральному классу с учетом периодов вращения.

Заключение

Особенности развития циклов активности рассмотрены у 65 G-M карликов с периодами вращения от долей суток до нескольких десятков дней, исследованных по многолетним рядам наблюдений. У звёзд солнечного типа не найдено циклов более 40 лет, у большинства из них циклы активности составляют от 7 лет до 21 года, т.е. сравнимы с 11-летним солнечным циклом. У быстровращающихся карликов циклы могут достигать 80 лет (V833Tau и V647 Her). У 30% звёзд обнаружены только короткие циклы, менее 7 лет. Для быстровращающихся карликов не наблюдается определенной связи между длиной цикла и периодом вращения, характерной для звёзд периодами вращения больше 5 дней, у которых длина цикла возрастает с замедлением вращения.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (гранты 16-02-00689 и 18-52-06002 Аз_а).

Литература

1. *Нузамов Б.А., Кацова М.М., Лившиц М.А.* // ПАЖ, 2017, 43, 230.
2. *Olah K., Kovari Zs., Petrovay K., Soon W., Baliunas S. et al.* // Astron. Astrophys., 2016, 590, id.A133, 13 pp
3. *Bondar N.I.* // Astron. Astrophys. Suppl., 1995, 1995, 111, 259.
4. *Бондарь Н.И.* // АЖ, 2015, 92, 253.
5. *Алексеев И.Ю., Кожевникова А.В.* // Астрон. ж., 2017, 94, 240.
6. *Бондарь Н.И.* // ГАО РАН: Труды, 2017, с. 49.
7. *Messina S., Guinan E.F.* // Astron. Astrophys., 2002, 393, 225.
8. KWS (Kamogata Kiso Kyoto Wide-field Survey, /kws.cetus-net.org/~maehara/VSdata.py?object).
9. *Bondar' N.I.* // Astron. Astrophys. Trans., 2018 (в печати).
10. *Baliunas S.L., Nesme-Ribes E., Sokoloff D., Soon W.H.* // ApJ., 1996, 460, 848.
11. *Olah K., Kollath Z., Strassmeier K. G., Granzer T. et al.* // Astron. Astrophys., 2009, 501, 703.
12. *Кацова М.М., Бондарь Н.И., Лившиц М.А.* // Астрон. ж., 2015, 92, 253.
13. *Suarez Mascareño A., Rebolo R., González Hernández J.I.* // Astron. Astrophys., 2016, 595.
14. *Savanov I.S.* // Astron. Rep., 2012, 56, 716.
15. *Vida K., Olah K., Szabo R.* // MNRAS, 2014, 441, 2744.