

ДОЛГОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЛЕСКА У ЗВЁЗД МАЛЫХ МАСС С СИЛЬНЫМИ МАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ

Бондарь Н.И.¹, Кацова М.М.²

¹*Крымская астрофизическая обсерватория РАН, Научный, Россия*

²*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

LONG-TERM VARIABILITY OF LOW-MASS STARS WITH STRONG MAGNETIC FIELDS

Bondar' N.I.¹, Katsova M.M.²

¹*Crimean Astrophysical Observatory RAS, Nauchny, Russia*

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

Numerous manifestations of the activity of G-M dwarfs are associated with the release of magnetic fields on the stellar surface. There are known stars for which surface magnetic fields amount to several kG. Among them there are K-dwarfs OU Gem and EQ Vir and M-dwarfs V1005 Ori and AU Mic with rotation periods of less than 10 days. Long-term brightness variations over several decades were considered for these stars according to the catalogs Hipparcos, ASAS, KWS and from publications. Slow trends, possibly cycles, with duration of about 40 years are found for OU Gem, V1005 Ori and AU Mic. All these stars have cycles of 10–16 years; EQ Vir, V1005 Ori, and AU Mic also have low-amplitude short cycles of 5–6 years. A tendency toward an increase in the amplitude of the main cycle in stars with a less strong surface magnetic field is noted.

DOI: 10.31725/0552-5829-2019-51-54

Введение

Феноменологически сходные проявления нестационарности у Солнца и звёзд нижней части главной последовательности – вспышки, факелы, пятна, мощные короны и корональные выбросы – имеют разные количественные и временные масштабы, что указывает на различия процессов, ответственных за их магнитную активность. Современная инструментальная база и методы анализа данных позволяет изучать активность в разных слоях атмосферы у звёзд с различными физическими параметрами, а также проводить непосредственные измерения магнитных полей. Для некоторых объектов по многолетним рядам выявлена связь между индексами активности в разных слоях атмосферы, а также с параметрами магнитного поля [1]. Результаты исследования звезды Проксима Центавра (dM5.5) [2] убедительно показывают развитие 7-летнего цикла активности в атмосфере звезды и усиление магнитного поля каждые 9 лет [3].

В нашей работе приведены результаты поиска циклических изменений блеска, связанных с процессами пятнообразования, у К-карликов

OU Gem и EQ Vir и ранних dM-звезд V1005 Ori и AU Mic. Используя данные о поверхностном магнитном поле выбранных объектов, рассмотрена связь между фотосферной активностью этих звёзд и величиной магнитного поля.

Длительности и амплитуды циклов

Фотометрические наблюдения выбранных нами звёзд показали, что они проявляют переменность на короткой шкале (с периодом вращения), связанную с наличием холодных пятен, и на длинной шкале (на интервалах в нескольких лет), когда становятся заметными изменения среднегодового блеска, связанные с изменением общей запытенности фотосферы от максимального до минимального уровня.

Используемые в работе параметры этих звёзд приведены в таблице 1. Данные о поверхностном магнитном поле взяты из [4].

Таблица 1. Некоторые параметры исследуемых звезд.

Звезда	Спектр	V (mag)	$B-V$ (mag)	P_{rot} (сут)	$\log(L_x/L_{bol})$	$\langle B \rangle$ kG
OU Gem	dK2e	6.77	0.95	7.36	-1.96	2.4
EQ Vir	dK5e	9.37	1.18	3.91	-3.17	2.0
V1005 Ori	dM0	10.11	1.37	4.41	-2.73	2.6
AU Mic	dM1e	8.63	1.32	4.85	-2.70	2.3

Для изучения поведения блеска на длительных временных интервалах для каждой звезды были сформированы компилированные кривые блеска с учетом данных фотографических архивов и опубликованных результатов фотоэлектрической фотометрии, а основными источниками стали базы данных Hipparcos, ASAS, SuperWASP и KWS [5].

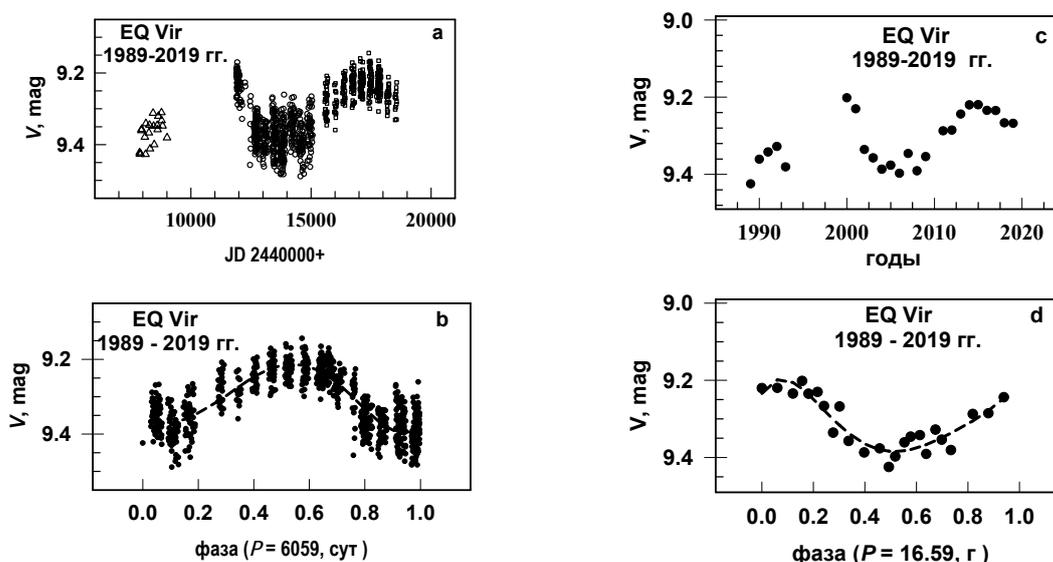


Рис. 1. Долговременные изменения блеска EQ Vir.

Анализ полученных рядов выполнен методами Юркевича, Скаргля и Хартли с помощью программы AVE [http://www.gea.cesca.es]. Аппроксимация кривых блеска выполнена полиномами пятой степени. Поиск периодичности по ряду остатков после вычитания вклада переменности с найденным периодом выполнялся до достижения уровня шума.

На рис. 1а показаны изменения блеска EQ Vir в 1989–2018 гг. Средние по дате V -величины получены по данным Hipparcos, ASAS и KWS. Разброс значений обусловлен точностью измерений и вращательной модуляцией блеска. Анализ компилированного ряда показал, что наиболее значимый пик на периодограммах соответствует $P = 6059$ сут, свертка с этим периодом показана на рис. 1б. Для среднегодовых значений (рис. 1с) получен такой же период (16.59 лет), который мы рассматриваем как цикл фотосферной активности звезды. Амплитуда цикла составляет 0.2^m , ее значение и форма цикла сохраняются на всем исследуемом интервале (рис. 1б,d). После вычитания этой периодичности по ряду остатков найден малоамплитудный период, равный 5.28 лет. Подобный анализ выполнен для остальных трех звезд.

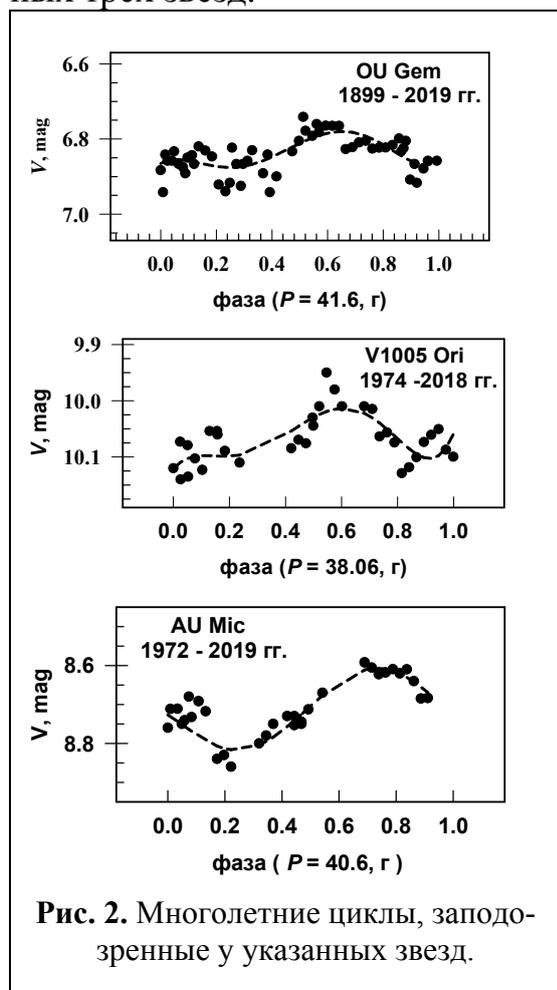


Рис. 2. Многолетние циклы, заподозренные у указанных звезд.

Для OU Gem фотометрические данные накоплены за 120 лет, с 1899 по 2019 год. На этом интервале максимальные значения блеска наблюдались дважды – в 1962 г. и 2004. Длительность возможного цикла 41.6 г., амплитуда – 0.2^m . У звезды также найден цикл 10.6 г., параметры и форма этого цикла не постоянны, отмечено смещение максимума циклов в эпохи 1899–1904 гг. и 1985–1993 гг. по сравнению с циклами 1953–1984 гг. и 1996–2019 гг.

Многолетние тренды, возможно циклы, длительностью 38.1 г. и 40.6 лет заподозрены у М-карликов V1005 Ori и AU Mic (рис. 2). После учёта трендов по рядам остатков у этих звезд найдены периоды 14–15 лет и 5–6 лет. Эти результаты согласуются с полученными в [6, 7], что указывает на устойчивость коротких малоамплитудных циклов в течение десятилетий.

Согласно [6] по измерениям показателей хромосферной активности AU Mic в 2001–2017 гг. заподозрен 16-летний цикл, что близко к длительности найденного нами фотосферного цикла 13.7 г.

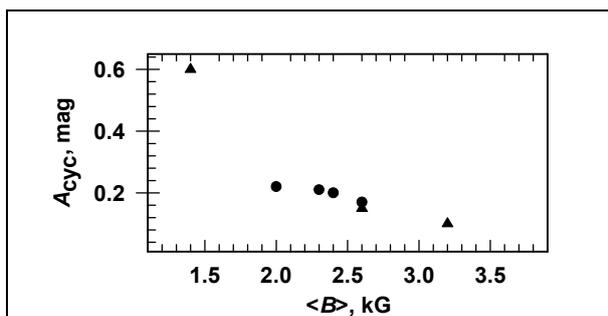


Рис. 3. Связь между амплитудой многолетних циклов и поверхностным магнитным полем у К–М карликов. Треугольники – звезды из [7].

Рассматривая амплитуду многолетних циклов как показатель фотосферной активности, выполнено сравнение фотосферной активности с данными о поверхностном магнитном поле звёзд из [4], где величина $\langle B \rangle = \sum |B_i|$. Полученные здесь значения амплитуды для 4-х звёзд дополнены определенными для основных циклов амплитудами у К-М карликов V833 Tau,

DT Vir, DX Cnc [8], у которых $\langle B \rangle < 4$ kG. На рис. 3 видна тенденция возрастания амплитуды основного цикла у звёзд с меньшим значением $\langle B \rangle$. Это означает, что фотосферная активность, связанная с формированием холодных пятен, подавляется при усилении поверхностного магнитного поля.

Выводы

У OU Gem, V1005 Ori, AU Mic обнаружены многолетние тренды, указывающих на возможные циклы фотосферной активности длительностью около 40 лет с амплитудой $\sim 0.2^m$. У всех звёзд найдена переменность среднего годового блеска с периодами 10–16 лет, а короткие циклы длительностью 4.6–5.9 лет наблюдаются у звёзд EQ Vir, V1005 Ori, AU Mic с амплитудой 0.08–0.04^m.

Рассмотрение связи между средним магнитным потоком и амплитудой заподозренных длинных циклов указывает на тенденцию к увеличению амплитуды цикла у звёзд с менее сильным поверхностным магнитным полем, меньше 2 kG.

Работа выполнена при частичной поддержке грантов Российского Фонда Фундаментальных Исследований 19-02-00191a и 18-52-06002 Az-a.

Литература

1. Pevtsov, A.A., Fisher, G.H., Acton, L.W. et al. // ApJ, 2003, 598, 1387.
2. Wargelin B.J., Saar S.H., Pojma'nski G. et al. // MNRAS, 2017, 464, 3281.
3. Yadav R.K., Christensen U.R., Wolk Scott J. and Poppenhaeger K. // ApJ, 2016, 833, L28.
4. Shulyak D., Reiners A., Engeln A. et al. // Nature Astronomy, 2017, 1, id.0184.
5. Bondar' N.I., Katsova M.M., Livshits M.A. // Geomagnetism & Aeronomy, 2019, 59, 832.
6. Ibañez Bustos R.V., Buccino A.P., Flores M. et al. // MNRAS, 2019, 483, 1159.
7. Küker M., Rüdiger G., Olah K. and Strassmeier K.G. // A&A, 2019, 622, A40.
8. Bondar N.I. // AApTr, 2019, 31, 1.