

EVIDENCES OF SURFACE DIFFERENTIAL ROTATION IN THE RED DWARF PZ MON СВИДЕТЕЛЬСТВА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ВРАЩЕНИЯ КРАСНОГО КАРЛИКА PZ MON

N.I. Bondar', V.V. Prokof'eva

НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория"
п. Научный, 98409, Ukraine, bondar@crao.crimea.ua

ABSTRACT. Photometric behavior of the active red dwarf PZ Mon (K2e) is studied using *UBVRI* observations obtained with 1.25 m telescope of the SRI "Crimean Astrophysical Observatory" in 1992–2004 and *V*-data from the ASAS catalogue obtained in 2000–2006. Frequency analysis of the full *V*-data and colour indices has shown the existence of close periods – 2429^d and 2500^d, respectively. Supposing that the star's surface is covered by spots a long-term variability has been explained as changes of stellar activity during 6.5 years. After subtraction of slow periodicity some periods in the range of 25^d–56^d with amplitudes more than 4 σ were found. Period $P = 34^d$ persisted at the whole interval of observations and at the short selected intervals and perhaps it is likely close to the rotation period of the star. Steady phase of this period indicates the existence of an active longitude where spots are generated. Assuming that some periods in the light curve and colour oscillations are produced by changes in latitude of spots we interpreted this as an influence of differential rotation of the star.

Прослежен характер переменности активного красного карлика PZ Mon (K2e), вызванный присутствием пятен на ее поверхности, процессами их образования и разрушения. Использованы *UBVRI*-наблюдениям 1992–2004 гг., выполненным на 125-см телескопе АЗТ-11 НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория"(КрАО), и по *V*-данным из каталога ASAS за 2000–2006 гг. Частотный анализ показал, что изменения блеска и цвета происходят с близкими значениями периодов – 2429^d и 2500^d соответственно. Сделано предположение, что долговременная переменность отражает изменения состояния активности звезды с периодом около 6.5 лет. После вычитания долговременных колебаний найдено несколько периодов в диапазоне 25^d – 56^d с амплитудой выше 4 σ . Период $P = 34^d$, который присутствует на всем интервале и в отдельные сезоны, по-видимому, близок к периоду вращения

звезды. Сохранение фазы этого периода указывает на наличие активной долготы образования пятен. Сделано предположение, что появление нескольких периодов колебаний блеска и показателей цвета вызвано изменением широты пятен вследствие дифференциального вращения звезды.

Изучение особенностей дифференциального вращения у звезд нижней части ГП дает возможность установить вклад дифференциального вращения, наряду с конвекцией и турбуленцией, в процессы генерации магнитного поля и развития магнитной активности. Обнаружить дифференциальное вращение у звезд возможно по меняющейся картине распределения активных областей, полученной методом доплеровского картирования, а также по изменениям их периодов вращения, выявленным по результатам широкополосной фотометрии или спектрофотометрическим измерениям потока в линиях H и K Ca II. Вследствие дифференциального вращения у звезд, как и у Солнца, средняя широта активных областей меняется, а следовательно, будет меняться значение наблюдаемого периода вращения. Обнаружить такие изменения можно по многолетним рядам наблюдений.

Фотометрическое поведение PZ Mon прослежено в полосах *UBVRI* с 1992 г. по 2004 г. Наблюдения выполнены на 1.25-м телескопе НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория" с помощью пятиканального фотометра-поляриметра. Изменения блеска и цвета звезды в этот период составляли 0^m.1–0^m.2. Предполагая, что малоамплитудная переменность вызвана наличием пятен на поверхности звезды, Алексеев и Бондарь (2006) нашли, что это холодные пятна, температура которых около 2700° К. Пятна занимают от 17 до 30 % площади видимой поверхности, максимальный уровень запятненности наблюдался в 1992 г. и в 2000 г.

В настоящей работе представлены и обсуждаются

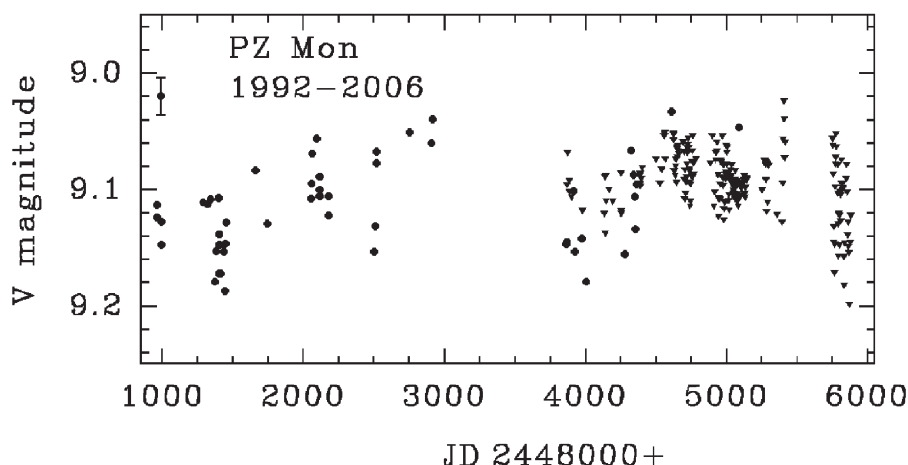


Рис. 1: Кривая блеска PZ Mon в полосе V в 1992–2006 гг. по данным наблюдений КраО (черные кружки) и ASAS (черные треугольники).

результаты поиска периодов вращения у красного карлика PZ Mon. Период вращения у этой звезды не был определен ранее. Первая оценка, согласно которой $P = 14^d.2$, получена по измерениям в 1992–2004 гг. в полосе U (Бондарь, Прокофьева 2005). Этот результат, естественно, нуждается в проверке по более плотным сезонным рядам, которые мы смогли получить для полосы V, дополнив наши наблюдения данными за 2000 – 2006 гг., размещенными в базе данных ASAS (www.astrow.edu.pl). Таким образом, здесь для поиска периода образован новый ряд в полосе V, содержащий 257 измерений на интервале в 4918 дней (рис. 1), в остальных полосах используются крымские наблюдения 1992 – 2004 гг., интервал наблюдений - 4128 дней.

Поиск периода вращения выполнен на всем интервале и на отдельных коротких интервалах интервалах в 1–3 года, содержащих достаточное число данных. Использовались методика и программы, описанные Бондарь и Прокофьевой (2006). На рис. 2. приведены результаты частотного анализа всех V-данных (верхняя кривая) и последовательного применения процедуры отбеливания за наиболее значимые частоты, соответствующие периодам 2429^d и $34^d.26$.

Период $34^d.26$ обнаружен на всем интервале наблюдений и на интервалах, относящихся к первым годам наблюдений в КраО и данным ASAS в 2000–2006 гг. Колебания с этим периодом устойчивы, их фаза сохранялась все годы наблюдений, но амплитуда изменялась. На верхнем графике рис. 3 представлены три интервала наблюдений в полосе V, полученные в 2002–2004 гг. и в 2006 г. Точки показывают среднее значение блеска в даты наблюдений, для наглядности они соединены пунктирной линией. В 2003–2004 гг. значение амплитуды $0^m.03$ сохранялось около 140 суток, затем, в течение 100 суток, ко-

Таблица 1: Фотометрические периоды PZ Mon, наблюдаемые в 1992–2006 гг. диапазоне $25^d - 56^d$

P	Даты	Интервал	Число	Тип	Ампли-
(дни)	JD244...+	(дни)	данных	данных	туда
25.5	48962-53090	4128	187	B-V, U-B	4σ
28.5	48293-49453	160	177	U-полоса	7σ
34.2	52621-52770	149	42	V-полоса	8σ
	52885-53144	259	75	V-полоса	8σ
	52623-53144	521	116	V-полоса	8σ
	53250-53876	626	55	V-полоса	8σ
	52623-53876	1253	171	V-полоса	6σ
	51868-53411	1543	164	V-полоса	4σ
40.3	48962-53880	4918	257	V-полоса	5σ
	48962-53880	4918	257	V-полоса	4σ
56.6	48962-53090	4128	187	U-B	6σ

лебания ослабели, амплитуда уменьшилась настолько, что их регистрация стала невозможной. В 2006 г. амплитуда переменности блеска возросла до $0^m.07$. На трех нижних графиках рис. 3 показаны результаты поиска периодов по данным за 2002–2006 гг. с применением трех методов: Лафлера-Кинмана (верхний график), Юркевича (средний), Диминга (нижний); пик с наибольшим значением вероятности соответствует периоду 34^d . Свертка данных с этим периодом приведена на рис. 4. Такие свертки были построены для всего ряда наблюдений и отдельных интервалов.

По результатам анализа показателей цвета за 1992–2004 гг. уверенно выявлены долговременные изменения с периодом около 2500 дней, что согласуется с найденным по кривой блеска периодом $P = 2429^d$. Этот период близок к характерному времени изменения площади запятненной поверхности, т.е. отражает изменения уровня активности звезды и, возможно, свидетельствует о цикле активности

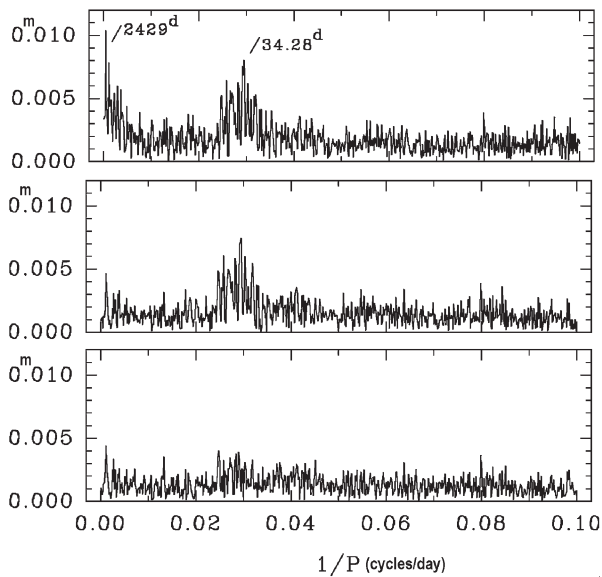


Рис. 2: Применение процедуры отбеливания для поиска значимых периодов. Найденные периоды указаны на верхнем графике.

длительностью 6.5–8 лет.

После вычитания периода долговременной переменности найдено несколько значений периодов в интервале 25–56 дней. Они внесены в таблицу 1, где в столбцах по порядку приведены: значения периодов, начальная и конечная даты интервала, на котором выполнен поиск периодичности, его длительность в днях, число данных, тип данных, отношение амплитуды периодического сигнала к ошибке ее определения.

Уверенное обнаружение периода 34^d на избранных интервалах и по всему 14-летнему ряду наблюдений дает основание предположить, что это значение близко к периоду вращения звезды. Присутствие этого периода на всем интервале наблюдений, несмотря на существенные пробелы, означает сохранение фазы колебаний, а следовательно, и существование определенной активной долготы, где образуются пятна. Изменение размеров пятен или их разрушение происходит через 5–7 оборотов, что приводит к переменной амплитуде колебаний блеска.

Обнаружение нескольких периодов в интервале 25–56 суток мы рассмотрели как свидетельство появления пятен на разной широте и предположили, что смещения по широте в значительной мере вызваны эффектом дифференциального вращения звезды. Полученные результаты мы сравнили с опубликованными в статье Donahue et al. (1996). Авторы этой работы выполнили поиск периодов вращения для 100 F-G-K карликов и Солнца. Исходными данными были многолетние ряды наблюдений активных областей в линиях H и K Ca II, к кото-

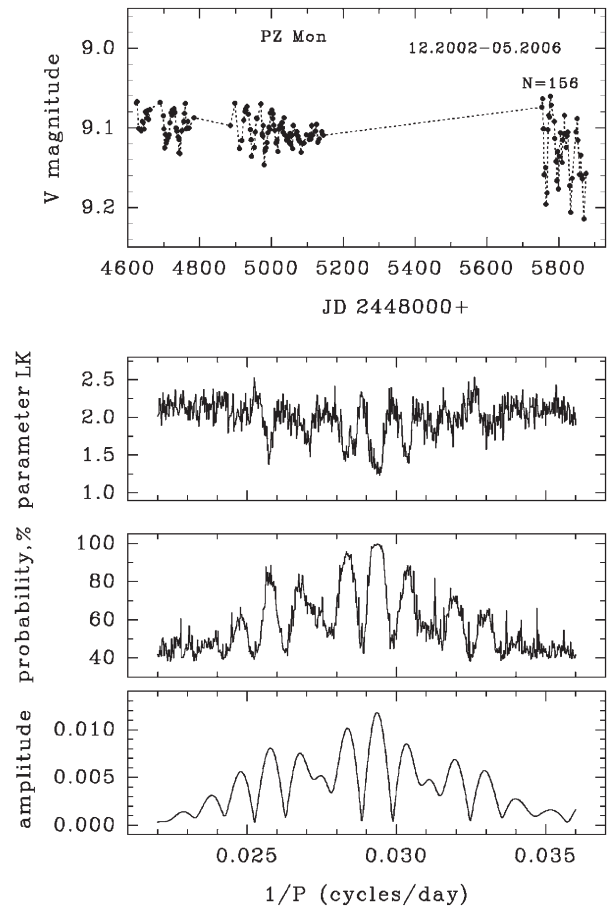


Рис. 3: Результаты частотного анализа, примененного к рядам наблюдений 2002–2006 гг.

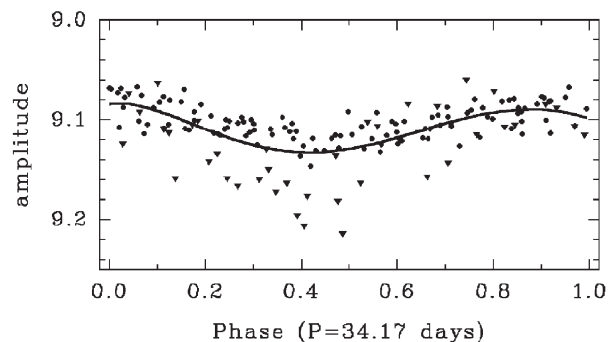


Рис. 4: Фазовая кривая блеска для $P = 34^d$ построена по данным 2002–2006 гг. Сплошная линия – полином 5-й степени, данные за 2002–2004 гг. отмечены зачерненными кружками, за 2006 г. – треугольниками.

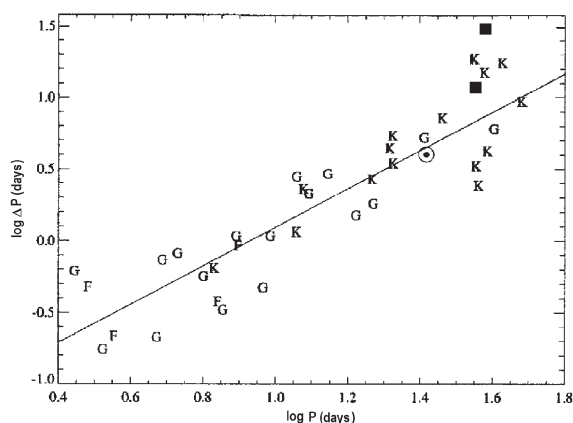


Рис. 5: Связь между наблюдаемыми периодами вращения и средним значением периода вращения, полученная Donahue R.A. et al. (1996) для F-G-K-карликов. Положение Солнца отмечено кружком с точкой, два варианта положения PZ Mon – зачерненными квадратами.

рым был применен периодограммный анализ. Сначала, для проверки методики поиска, они определили по нескольким последовательным сезонам периоды вращения у Солнца, затем этот метод применили к анализу данных по звездам, предполагая, что разница значений наблюдаемых периодов вращения, как и на Солнце, обусловлена изменением широты активных областей вследствие дифференциального вращения.

Для 36 звезд с уверенно найденной вращательной модуляцией была рассмотрена связь между интервалом значений наблюдаемых периодов вращения, спектральным классом и средней величиной вращения. Результат представлен на рис. 5, где разность наблюдаемых периодов $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ сопоставлена со средним вращением $\langle P \rangle$. Полученная зависимость $\Delta P \sim \langle P \rangle^{1.3}$ справедлива для звезд рассмотренных спектральных классов, включая Солнце. Наблюдаемые изменения периодов ΔP у звезд могут быть такими же, как у Солнца (15 %), но у некоторых K-звезд составляют более 50 %. Для звезды PZ Mon мы получили, что $\Delta P / \langle P \rangle = 0.87$, $\lg \Delta P = 1.49$, $\lg \langle P \rangle = 1.57$. На рис. 5 ее положение отмечено зачерненным квадратиком.

Соответственно этим значениям звезда попадает в группу красных карликов где разброс относительно приведенной зависимости становится заметным. Если предположить, что период 56 дней является кратным 28-дневному значению периода и исключить его из рассмотрения, то максимальным будет период 40 дней (см. табл. 1), и тогда $\Delta P / \langle P \rangle = 46\%$, $\lg \Delta P = 1.17$, $\lg \langle P \rangle = 1.51$, что хорошо согласуется с зависимостью для исследованных звезд ГП.

Полученные нами результаты дают основание предположить наличие дифференциального вращения у звезды PZ Mon. Найденный ранее период 14 дней является гармоникой 28-дневного периода, а не периодом вращения. Наблюдаемый в течение 14 лет устойчивый период 34 дня можно считать близким к периоду осевого вращения звезды. Дальнейшее изучение этого вопроса требует длительных и плотных рядов наблюдений.

Авторы выражают глубокую благодарность Р.Е. Гершбергу за интерес к работе и полезные замечания к тексту и Б.А. Бурнашевой за помощь в подготовке текста к печати.

Литература

- Alekseev I.Yu., Bondar' N.I.: 2006, *Astron. Astrophys. Transac.*, **25** (2–3), 247.
 Бондарь Н.И., Прокофьева В.В.: 2005, *Труды ГАИШ*, **78**, 64.
 Бондарь Н.И., Прокофьева В.В.: 2006, *Астрономический журнал*, **83**, 1.
 Donahue R.A., Saar S.H., Baliunas S.L.: 1996, *Astrophys. J.*, **466**, 384.