

УДК 524.31.084-337

ОБНАРУЖЕНИЕ КРУГОВОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ И СЛАБОАМПЛИТУДНОЙ ФОТОМЕТРИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ БЕЛОГО КАРЛИКА WD 1748+508

© 2016 К. А. Антониук^{1,2*}, С. В. Колесников^{1,3}, Н. В. Пить¹,
Г. Г. Валявин², А. Ф. Валеев², Т. Е. Бурлакова², Г.А. Галазутдинов^{4,5,2}

¹Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, 298409 Россия

²Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

³Астрономическая обсерватория одесского национального университета им.И.И.Мечникова, Одесса,
65014 Украина

⁴Католический университет Севера, Антофагаста, 0610 Чили

⁵Главная (Пулковская) обсерватория, Санкт-Петербург, 196140 Россия

Поступила в редакцию 30 августа 2016 года; принята в печать 5 сентября 2016 года

Приводятся результаты поляризационного и фотометрического исследования холодного белого карлика WD 1748+508. Наблюдения проводились в течение четырех последовательных ночей на телескопах Крымской астрофизической обсерватории. В результате в полосе V у звезды обнаружено наличие круговой поляризации на уровне $-0.36 \pm 0.087\%$ и фотометрической переменности с периодом ориентировочно от пяти часов до двух дней. Амплитуда переменности постоянна в течение всего сета наблюдений и составляет 10 ± 1 mmag. Ненулевая круговая поляризация прямо указывает на наличие у этого белого карлика глобального магнитного поля напряженностью от 10 МГс и более. Найденная фотометрическая переменность интерпретируется в рамках вращательно-модулированной переменности магнитных свойств атмосферы этой звезды.

Ключевые слова: белые карлики — звезды: магнитные поля — звезды: индивидуальные: WD 1748+508

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе мы представляем очередной результат выполнения программы фотометрических и магнитометрических наблюдений одиночных вырожденных звезд (горячих субкарликов и белых карликов [1–3]). Мотивацией к проведению исследований послужило обнаружение связи между магнитными и фотометрическими свойствами белых карликов [3–5], важность детального исследования этой связи, а также необходимость увеличения статистики известных магнитных белых карликов, имеющих ненулевые крупномасштабные магнитные поля. Последнее является весьма важной наблюдательной задачей, поскольку магнитные свойства большинства белых карликов до сих пор изучены слабо [6–11]. Особый интерес вызывает проявление магнетизма у наиболее холодных из них. Согласно [12], величины магнитных полей белых карликов и их частота встречаемости [3] растут по мере их охлаждения. И это несмотря

на тот факт, что детектирование магнитных полей у холодных белых карликов затруднено из-за их более низкой светимости. Спектры таких звезд (как правило, водородные) демонстрируют слабо развитые линии, что также затрудняет спектроскопическое наблюдение их зеемановского расщепления [12, 13]. В силу этих причин, по нашему мнению, количество холодных белых карликов с большими напряженностями глобального магнитного поля сильно недооценено, и теоретическое исследование феномена роста частот встречаемости магнитных белых карликов с возрастом требует новых наблюдательных данных для вырожденных звезд с температурами ниже 6000 К.

Напрямую проблема решается проведением массового зеемановского мониторинга белых карликов на телескопах с большими апертурами (3 м и более). Это требует существенных затрат наблюдательного времени, что весьма проблематично для больших телескопов. Между тем, наличие в вырожденных звездах связи между их магнитными и фотометрическими свойствами,

*E-mail: antoniuk@craocrimea.ru

а также наличие в спектрах белых карликов с наиболее сильными магнитными полями ненулевой широкополосной поляризации позволяет создавать предварительные выборки объектов по результатам фотометрических и поляризационных наблюдений. Такие наблюдения можно массово проводить на телескопах метрового/двухметрового классов. Это позволит создать выборку звезд для дальнейшего спектрополяриметрического исследования их магнитных свойств на больших телескопах.

В настоящей работе мы представляем результаты отбора одного из таких кандидатов в магнитные звезды (звезды с известным крупномасштабным магнитным полем) — холодного белого карлика WD 1748+708 ($T_{\text{eff}} = 5590$ K [14]). Объект исследовался нами фотометрически и поляриметрически. В итоге нами обнаружены как наличие ненулевой круговой поляризации в полосе фильтра V системы Джонсона, так и переменность блеска звезды в той же полосе. Мы интерпретируем этот результат как детектирование нового белого карлика — кандидата в семейство сильномагнитных белых карликов с величиной поверхностного магнитного поля от 10 МГс и более. По нашим сведениям, эта звезда не была известна ранее как магнитная в каком-либо из существующих обзоров магнитных белых карликов.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Объект WD 1748+708 наблюдался в течение четырех последовательных ночей (14–17 сентября 2015 г.) на телескопах Крымской астрофизической обсерватории (КРАО). Поляриметрические наблюдения проводились в касегреновском фокусе 2.6-м телескопа ЗТШ с использованием поляриметра с быстровращающимся анализатором [15]. Измерения осуществлялись в фильтре V в режиме одновременного определения всех четырех параметров Стокса. В качестве стандартов нулевой и ненулевой поляризации были использованы объекты из списка систематически измеряемых нами стандартов, а именно HD 165908, HD 185395, HD 188512, HD 155455. Редукция и анализ поляриметрических данных выполнялись стандартным образом [16].

Фотометрические наблюдения проводились на 1.25-м телескопе АЗТ-11 с камерой ProLine PL23042 также в широкополосном фильтре V системы Джонсона. В каждую ночь получались вспомогательные изображения для учета неоднородности чувствительности («плоские поля») и темнового тока. Наблюдательные данные проходили стандартную процедуру обработки и калибровки в программе MaxIm DL. Для дифференциальной фотометрии объекта использовались две звезды

Результаты измерения круговой поляризации у WD 1747+708 в фильтре V

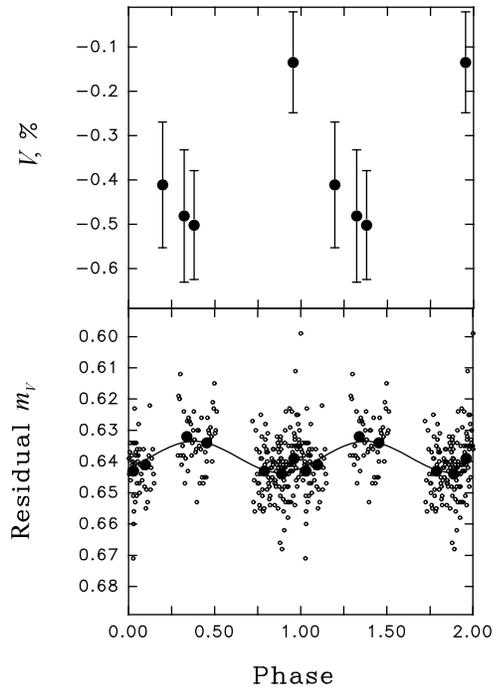
JD	Exp., min	CP, %	σ , %
2457280.37441	106	-0.5022	0.1227
2457281.35396	102	-0.4112	0.1421
2457282.44118	341	-0.4812	0.1495
2457283.35619	136	-0.1345	0.1139
Σ		-0.36	0.087

сравнения. Из-за того что звезды сравнения не являются фотометрическими стандартами, величина нуль-пункта носит оценочный характер. Однако неопределенность в нуль-пункте на результат анализа временных рядов не влияет.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Измерения линейной поляризации белого карлика WD 1748+708 не показали значимых величин. Результаты измерения круговой поляризации показаны в таблице, где приведены: юлианская дата (JD), время экспозиции (Exp.), значение круговой поляризации (CP) и ее ошибка (σ). Как можно видеть из таблицы, две оценки из четырех демонстрируют статистически значимые величины на уровнях, превышающих критерий 3σ . Суммарная по всем ночам наблюдений оценка поляризации $CP = -0.36 \pm 0.087\%$ является также устойчивой на уровне более 4σ . Это позволяет нам сделать заключение о вероятной магнитной природе исследуемой звезды, что в свою очередь должно сказаться и на фотометрических свойствах объекта.

После обработки фотометрических рядов наблюдений WD 1748+708, полученных в те же ночи в том же фильтре, выявлена переменность блеска звезды с амплитудой около 10 mmag. Применение метода Лафлера–Кинмана [17] при поиске периода обнаруживает значительное количество пиков, обозначающих возможные периоды на периодограмме от пяти часов до нескольких дней. К сожалению, в силу значительной неравномерности и недостаточного массива наблюдений выделить на данном этапе какой-либо из этих периодов не представляется возможным. Поэтому в настоящем исследовании мы ограничимся лишь констатацией факта обнаружения переменности с периодом в диапазоне примерно от пяти часов до двух дней. Наиболее вероятные времена переменности — порядка часов (более восьми часов). Пример свертки фотометрических, а также поляриметрических данных наблюдений с одним из возможных периодов около 8.3 часа показан на рисунке.



Периодические изменения круговой поляризации (верхняя панель) и потока (нижняя панель) в фильтре V от WD 1748+708 в зависимости от фазы переменности с возможным периодом 8.3 часа. Черные кружки на нижнем рисунке соответствуют результатам усреднений данных фотометрических наблюдений в бинах шириной 0.1 фазы. Бары ошибок усреднений не превышают размеры радиусов кружков. Сплошная линия на нижней панели — результат аппроксимации данных синусоидой.

Необходимо также заметить, что из-за плохой погоды одна из оценок круговой поляризации, приведенных в таблице, является результатом усреднения серии одиночных наблюдений в интервале более пяти часов. Тестирование периода 8.3 часа показало, что эта оценка не является аргументированной и приведена на рисунке лишь формально. К сожалению, эту оценку нельзя также методически корректно разделить на серию оценок на более короткой временной шкале из-за сильной неоднородности погодных условий в процессе этой конкретной экспозиции. Между тем это никак не влияет на основные выводы статьи, а лишь служит дополнительным аргументом тому, что истинный период вращения звезды может быть существенно длиннее приведенного на рисунке.

Аппроксимация данных синусоидой (сплошная линия на нижней панели рисунка) определяет величину амплитуды переменности в 10 ± 1 mmag. В совокупности с полученной статистически значимой оценкой круговой поляризации этих данных о новом магнитном белом карлике достаточно для первичного анализа. Детали поведения обнаружен-

ной круговой поляризации (магнитного поля) и переменности потока от звезды с вращением будут проанализированы нами в следующих работах после новых наблюдений.

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Мы представили результаты поляриметрических и фотометрических исследований магнитного белого карлика WD 1748+708. Получены надежные свидетельства в пользу существования в спектре звезды ненулевой круговой поляризации и регулярной, вероятно, модулированной вращением фотометрической переменности на уровне $m_v = 0^m01$.

Наличие в континууме спектра белого карлика круговой поляризации величиной около 0.5% практически безальтернативно указывает на магнитную природу объекта [18]. Точную величину поверхностного магнитного поля звезды можно будет назвать только после проведения фазоразрешенной зеемановской спектрополяриметрии объекта. Между тем оценочно такая величина круговой поляризации в континууме вследствие кругового дихроизма соответствует характерной величине поверхностного поля белого карлика более 10 МГс [18].

Наиболее вероятная природа фотометрической переменности, на наш взгляд, состоит в индуцировании магнитным полем неоднородностей (в частности, в околополюсных областях) в силу причин, описанных в работах [1, 3–5]. Подобные явления также хорошо известны [19] и наблюдаются [20] у конвективно-спокойных звезд спектральных классов Ar/Vr.

В заключение хочется также заметить, что, формируя программу наблюдения холодных белых карликов с целью поиска среди них магнитных, мы исходили из того, что согласно ряду исследований наибольшее число и высокие частоты встречаемости белых карликов с самыми большими магнитными полями наблюдаются среди наиболее холодных звезд этого класса [21–23]. В этой связи примечательно, что первый выбранный нами объект WD 1748+708 из списка холодных белых карликов оказался магнитной звездой с мегагауссным полем. И это несмотря на то, что оцененная на сегодня частота встречаемости магнитных белых карликов с полями больше одного мегагаусса среди белых карликов с эффективными температурами более 10 000 К в среднем не превышает 4% [13]. Это, конечно, может быть и случайным совпадением, но может также означать, что количество холодных магнитных белых карликов с температурами менее 10 000 К сильно недооценено. Это обстоятельство мотивирует нас продолжать поиск новых магнитных белых карликов из выборки холодных звезд этого класса.

БЛАГОДАРНОСТИ

Наблюдения и анализ данных WD1748+708 выполнены при поддержке фонда РФФИ (гранты № 15-02-05183 и № 15-02-06178). Интерпретационная (теоретическая) часть работы поддержана Российским научным фондом (проект 14-50-00043, направление «Магнитометрия звезд»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Valyavin, K. Antonyuk, S. Plachinda, et al., *Astrophys. J.* **734**, 17 (2011).
2. A. F. Valeev, K. A. Antonyuk, N. V. Pit', et al., *Astrophysical Bulletin* **70**, 318 (2015).
3. G. Valyavin, D. Shulyak, G. A. Wade, et al., *Nature* **515**, 88 (2014).
4. G. A. Wade, S. Bagnulo, T. Szeifert, et al., *ASP Conf. Ser.* **307**, 569 (2003).
5. C. S. Brinkworth, M. R. Burleigh, K. Lawrie, et al., *Astrophys. J.* **773**, 47 (2013).
6. G. D. Schmidt and P. S. Smith, *Astrophys. J.* **448**, 305 (1995).
7. R. Aznar Cuadrado, S. Jordan, R. Napiwotzki, et al., *Astron. and Astrophys.* **423**, 1081 (2004).
8. G. Valyavin, S. Bagnulo, S. Fabrika, et al., *Astrophys. J.* **648**, 559 (2006).
9. J. D. Landstreet, S. Bagnulo, A. Martin, and G. Valyavin, *Astron. and Astrophys.* **591**, A80 (2016).
10. J. D. Landstreet, S. Bagnulo, G. G. Valyavin, et al., *Astron. and Astrophys.* **580**, A120 (2015).
11. J. D. Landstreet, S. Bagnulo, G. G. Valyavin, et al., *Astron. and Astrophys.* **545**, A30 (2012).
12. S. O. Kepler, I. Pelisoli, D. Koester, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **455**, 3413 (2016).
13. S. O. Kepler, I. Pelisoli, S. Jordan, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **429**, 2934 (2013).
14. P. Bergeron, S. K. Leggett, and M. T. Ruiz, *Astrophys. J. Suppl.* **133**, 413 (2001).
15. N. M. Shakhovskoj and Y. S. Efimov, *Izvestiya Krymskoj Astrofizicheskoj Observatorii* **45**, 90 (1972).
16. A. V. Berdygin and N. M. Shakhovskoi, *Bull. Crimean Astrophys. Obs.* **87**, 112 (1993).
17. J. Lafler and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965).
18. G. D. Schmidt and J. E. Norsworthy, *Astrophys. J.* **366**, 270 (1991).
19. I. I. Romanyuk, *Astrophysical Bulletin* **71**, 340 (2016).
20. I. Romanyuk, D. Kudryavtsev, E. Semenko, and A. Moiseeva, *Astrophysical Bulletin* **71**, 436 (2016).
21. E. M. Sion, J. B. Holberg, T. D. Oswalt, et al., *Astron. J.* **147**, 129 (2014).
22. J. Liebert, P. Bergeron, and J. B. Holberg, *Astron. J.* **125**, 348 (2003).
23. S. Fabrika and G. Valyavin, *ASP Conf. Ser.* **169**, 214 (1999).

K. A. Antonyuk, S. V. Kolesnikov, N. V. Pit, G. G. Valyavin, A. F. Valeev, T. E. Burlakova, and G. A. Galazutdinov

We report the results of a polarimetric and photometric study of the cool white dwarf WD 1748+508. Observations were performed during four consecutive nights on the telescopes of the Crimean Astrophysical Observatory. As a result, polarization was detected in the *V* band at the level of $-0.36 \pm 0.087\%$ and the star was found to be photometrically variable with a period ranging from five hours to about two days. Throughout the entire observing set the variability amplitude was constant and equal to about 10 ± 1 mmag. Non-zero circular polarization directly indicates that the white dwarf has a global magnetic field with a strength of 10 MG or higher. We interpret the photometric variations found in this study in terms of rotationally modulated variability of magnetic properties of the star's atmosphere.

Keywords: *white dwarfs—stars:magnetic field—stars: individual:WD 1748+508*