

УДК 524.35-337

МОНИТОРИНГ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОЧЕНЬ МЕДЛЕННО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ СР-ЗВЕЗДЫ HD 965

© 2015 И. И. Романюк*, Д. О. Кудрявцев, Е. А. Семенко, И. А. Якунин

Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 3 сентября 2015 года; принята в печать 10 сентября 2015 года

На 6-м телескопе выполнены измерения продольного магнитного поля B_e химически пекулярной звезды HD 965. В течение 2000–2015 гг. нами для нее получено более 30 спектров с зеемановским анализатором круговой поляризации. В положительном экстремуме величина продольного поля достигает +600 Гс, а в отрицательном уходит ниже –1300 Гс. Магнитный мониторинг звезды показывает, что период переменности величины B_e , т.е. период ее вращения, превышает 15 лет. Таким образом, HD 965 входит в пятерку самых медленных ротаторов среди магнитных звезд.

Ключевые слова: *звёзды: химически пекулярные — звёзды: магнитное поле — звёзды: индивидуальные: HD 965*

1. ВВЕДЕНИЕ

Химически пекулярная звезда HD 965 (HIP 1127, Renson 160) принадлежит к редкому типу очень медленных ротаторов. Период ее вращения не установлен до сих пор, но еще Матис и др. [1] показали, что он превышает два года. Авторы обнаружили в спектре расщепленные зеемановские компоненты и определили, что величина среднего модуля поля B_s (другое название — «поверхностное поле») примерно равна 4.4 кГс и медленно меняется на интервале времени более года.

Пекулярность впервые была обнаружена Берто [2]. Спектр звезды характеризуется большим набором узких линий. Это позволяет выполнять измерения ее магнитного поля с высокой точностью.

Стандартная фотометрия не приспособлена для изучения переменности, происходящей на временах в годы и десятилетия. Возможная переменность спектральных линий, как правило, связана с пятнами соответствующих химических элементов на поверхности звезды, и при наличии нескольких пятен период такой переменности может не соответствовать периоду вращения: из-за очень медленного вращения наблюдается лишь инструментальный профиль спектральных линий, выделять пятна на форме профиля невозможно, могут наблюдаться только небольшие изменения интенсивностей линий. Только мониторинг продольного магнитного поля B_e на протяжении длительного времени, на наш взгляд, позволяет эффективно

определять периоды вращения очень медленных ротаторов. Такие объекты встречаются крайне редко, поэтому их интересно исследовать для понимания природы явления.

Дополнительный интерес к звезде возник из-за того, что ряд ее физических характеристик (температура, спектральный класс, химический состав, наличие магнитного поля и др.) указывает на то, что HD 965 может быть представителем подкласса так называемых гоАр-звезд, демонстрирующих быстрые пульсации блеска и спектра в моменты, когда наблюдается один из полюсов магнитного диполя звезды (модель магнитного пульсатора, детали см. в работе Куртца [3]).

Для поиска таких пульсаций Куртц и др. [4] провели высокоточную фотометрию HD 965. Наблюдения показали отсутствие у нее каких-либо быстрых осцилляций блеска. Для решения вопроса о применимости модели магнитного пульсатора к этой звезде было необходимо определить, на какую фазу кривой продольной компоненты продольного поля приходились наблюдения, выполненные в работе [4].

С целью магнитного мониторинга HD 965 для поиска периода ее вращения она в 1999 г. по предложению Г. Уэйда была включена в нашу совместную программу наблюдений на 6-м телескопе магнитных полей звезд с очень узкими линиями. Первые результаты наблюдений были опубликованы в 2005 г. [5]. Кроме данных новых магнитных измерений, в упомянутой выше статье подробно рассмотрены результаты предыдущих спектральных, магнитных и фотометрических исследований.

*E-mail: roman@sao.ru

Было подтверждено, что звезда действительно является очень медленным ротатором с периодом вращения более десяти лет. Из приведенных в работе результатов наблюдений продольного поля, выполненных Г. Матисом в Чили (ESO), следует, что в отрицательном экстремуме поля звезда находилась, по-видимому, в 1997 г. Там же было продемонстрировано, что поиски Куртцем и др. [4] быстрой переменности были выполнены в тот период, когда продольное магнитное поле звезды было равно нулю, т.е. когда наблюдался магнитный экватор. В модели магнитного пульсатора быстрые осцилляции ожидаются только в случае наблюдений магнитных полюсов звезды. Поэтому необходимо было повторить поиски пульсаций блеска в периоды видимости положительного или отрицательного экстремумов продольного поля. Но для этого требовался магнитный мониторинг звезды с целью определения периода ее вращения и построения кривой переменности продольной компоненты поля B_e .

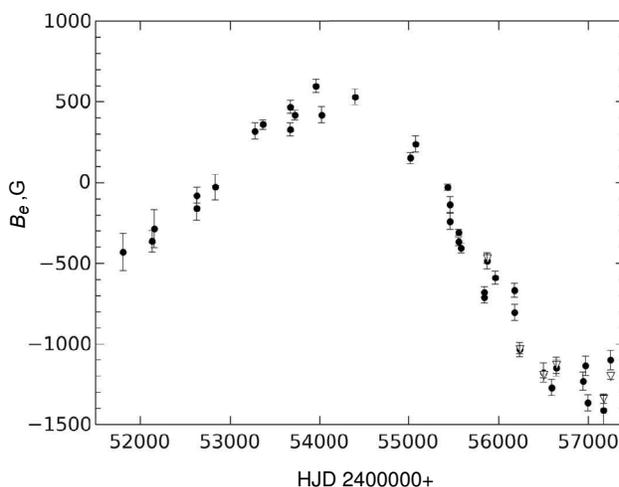
2. НАБЛЮДЕНИЯ

Магнитный мониторинг HD 965 выполнялся на 6-м телескопе САО РАН в период с 2000 по 2015 гг. на Основном звездном спектрографе. Описание прибора приведено на сайте обсерватории.¹

Методические вопросы нами описывались неоднократно (см., например, работу Романюка и др. [6]). Необходимо, однако, сделать небольшие дополнительные замечания, так как наблюдения выполнялись в течение длительного времени с использованием различных анализаторов круговой поляризации и светоприемников. В частности, в наблюдениях HD 965 с 2000 по 2005 г. использовался ахроматический анализатор круговой поляризации Найденова и Чунтонова [7], а с 2005 г. по настоящее время — анализатор круговой поляризации с резателем изображения конструкции Чунтонова [8]. В качестве светоприемника с 2000 по 2002 гг. использовалась матрица ПЗС размером 1160×1040 элементов, с 2002 по 2010 гг. — матрица 2048×2048 элементов, а с 2010 г. по настоящее время — матрица 4600×2000 элементов. Размеры элементов в каждой из матриц примерно одинаковы, поэтому с увеличением их количества возрастал регистрируемый спектральный диапазон (140 \AA , 250 \AA и 550 \AA соответственно для первой, второй и третьей из указанных выше матриц).

Процедура обработки данных подробно описана в работе Кудрявцева и др. [9], некоторые дополнительные данные, касающиеся работы с матрицей размером 2048×2048 элементов — в статье [6].

¹<http://www.sao.ru/hq/lizm/mss/ru/>



Кривая изменения продольной компоненты магнитного поля B_e CP-звезды HD 965 на временном интервале 2000–2015 гг. Черные точки — измерения по сдвигам противоположно поляризованных компонент, белые треугольники — измерения методом регрессии.

Продольное магнитное поле B_e определяется по взаимному сдвигу противоположно циркулярно поляризованных компонент спектральных линий. Во всех случаях использовалась спектральная область с центром примерно на 4500 \AA . Спектр HD 965 изобилует многочисленными узкими линиями, что позволяет получать высокоточные наблюдения ее магнитного поля (типичная ошибка B_e равна $30\text{--}40 \text{ Гс}$).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ПРОДОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Результаты измерений магнитного поля представлены в таблице. В колонках таблицы даны юлианская дата наблюдений, продольное магнитное поле B_e и ошибка его измерения σ , отношение сигнал/шум для отдельной поляризации в полученных зеемановских спектрах. Данные таблицы также представлены на рисунке.

Магнитные поля по нескольким последним спектрам были определены также методом регрессии. Способ предложен Баньюло и др. [10]. Как правило, полученные этим методом поля оказываются существенно (на $20\text{--}40\%$) меньше, чем определенные классическим способом по сдвигу между линиями в спектрах противоположно направленных круговых поляризаций. Особенно это заметно при измерениях быстро вращающихся звезд (см., например, работу Якунина [11]). Но в случае HD 965 видим, что продольное поле, полученное разными способами, одинаково.

Результаты измерений магнитного поля HD 965

JD 2450000 +	$B_e \pm \sigma$, Гс	S/N	Комментарий	JD 2450000 +	$B_e \pm \sigma$, Гс	S/N	Комментарий
1806.479	-430 ± 120	100		5843.398	-710 ± 30	250	
2130.497	-360 ± 70	100		5871.225	-480 ± 30	150	
2153.356	-280 ± 120	40			-470 ± 30	150	regression
2625.209	-160 ± 80	90		5962.138	-590 ± 30	150	
2626.232	-80 ± 50	90		6174.540	-670 ± 40	200	
2831.529	-30 ± 80	180		6177.429	-800 ± 50	300	
3273.296	$+320 \pm 50$	190		6234.208	-1030 ± 50	110	
3362.231	$+360 \pm 30$	300			-1030 ± 30	110	regression
3666.290	$+330 \pm 40$	330		6500.509	-1180 ± 60	160	
3667.270	$+470 \pm 40$	250			-1190 ± 20	160	regression
3718.245	$+420 \pm 30$	450		6589.383	-1270 ± 50	160	
3953.425	$+600 \pm 40$	350			-1250 ± 20	160	regression
4015.236	$+420 \pm 50$	350		6640.125	-1150 ± 50	150	
4402.285	$+530 \pm 50$	300			-1130 ± 50	150	regression
5017.511	$+150 \pm 40$	250		6940.302	-1230 ± 60	150	
5075.438	$+240 \pm 50$	300			-1170 ± 30	150	regression
5431.458	-30 ± 20	250		6967.292	-1130 ± 60	150	
5459.492	-240 ± 50	250		6995.144	-1360 ± 50	200	
5461.461	-140 ± 50	300		7169.525	-1410 ± 90	150	
5553.174	-310 ± 20	300			-1340 ± 30	150	regression
5555.139	-370 ± 30	200		7246.465	-1100 ± 60	200	
5583.147	-410 ± 30	180			-1200 ± 20	200	regression
5842.412	-680 ± 30	250					

4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видим, наши пятнадцатилетние наблюдения не покрыли периода вращения звезды. Скорее всего, он больше 20 лет.

Отметим, что в настоящее время известно всего 16 звезд с периодом вращения более 1000 суток [12]. Из них период вращения более десяти лет имеют всего четыре:

- (1) HD 201601 = γ Eri — более 80 лет (по многочисленным измерениям разных авторов);
- (2) HD 9996 — 21–22 года (имеются многочисленные измерения разных авторов);
- (3) HD 965 — более 15 лет (наши измерения в настоящей работе);

(4) HD 110066 — более 13 лет (данные Матиса [13]).

Недавние фотометрические измерения HD 110066 на спутниках STEREO [14] показали, что наблюдается переменность с периодом 2.26 суток. Все же нам представляется правильным длинный период, так как линии в спектре этой звезды чрезвычайно узкие, наблюдаются расщепленные зеемановские компоненты, указывающие на медленно меняющееся поле B_s порядка 4 кГс. В то же время все измерения продольного поля указывают на величину B_e не более 200 Гс. Очевидно, что наблюдается преимущественно поперечный компонент поля. При коротком периоде это возможно только в случае, если угол i наклона оси вращения к лучу зрения

будет близок к 0° , а угол β между осью диполя и осью вращения близок к 90° . Но в таком случае нам видна постоянно одна и та же область поверхности, и никакая переменность блеска из-за вращения не должна наблюдаться.

Кроме того, Матис в работе [13] упоминает две звезды, у которых период вращения не найден, но может превысить десять лет. Это объект южного неба HD 29578 с периодом более пяти лет и HD 50169 с периодом более восьми лет. Последняя звезда включена в нашу программу наблюдений на 6-м телескопе.

В любом случае мы видим, что HD 965 относится к редкому типу очень медленно вращающихся магнитных CP-звезд. Существование таких объектов — сильный аргумент в поддержку теории реликтового происхождения магнитных полей у химически пекулярных звезд.

Отметим, что в литературе присутствуют неверные сведения о вращении звезды. Например, в каталоге скоростей вращения [15] приведена заведомо ошибочная величина $v \sin i = 77 \text{ км с}^{-1}$, а в работе [14] — $v \sin i = 90 \text{ км с}^{-1}$. Это очевидные ошибки, которые, к сожалению, получили широкое распространение. На самом деле величина $v \sin i$ близка к нулю (что очевидно при периоде более пятнадцати лет), доплеровское уширение линий не превышает инструментальное даже при использовании спектрографов высокого разрешения. Магнитное уширение линий незначительно, поэтому причина таких ошибок неясна.

Из важных данных, представляющих интерес для обсуждаемой проблемы, отметим некоторые результаты, полученные в работах [16] и [14].

В работе Балеги и др. [16] методом спекл-интерферометрии найден спутник на расстоянии $0''.2$, он слабее главного компонента на 4^m . Абсолютная звездная величина спутника близка к солнечной. Орбитальный период системы авторами оценивается в 580 лет. Он на полтора порядка превышает ожидаемый период магнитной переменности звезды. Это исключает двойственность как возможную причину указанной переменности.

В исследовании [14] путем фотометрии со спутниками STEREO было найдено, что HD 965 с высокой точностью не является переменной. Разумеется, при периоде вращения порядка двадцати лет никакие изменения блеска, связанные с вращением, на временном интервале дней—недель—месяцев при современном уровне точности зарегистрированы быть не могут.

Что касается возможной пульсационной переменности, то сравнение с нашей кривой продольного поля B_e показывает, что фотометрия на STEREO выполнялась в период времени, когда

звезда была обращена к наблюдателю своим магнитным экватором. В статье [14] не указаны точные моменты наблюдений HD 965, но естественно предположить, что они выполнялись в то же время (в 2008–2010 гг.), что и для других звезд, для которых дана начальная эпоха наблюдений. Согласно данным, полученным в настоящей работе, в указанное время продольное поле B_e было близким к нулю, следовательно, был виден магнитный экватор. Таким образом, кратковременные пульсации блеска не должны были наблюдаться. Поэтому нет никаких причин сомневаться в том, что период более 15 лет, найденный в наших магнитных наблюдениях, является периодом вращения звезды.

Мы видим, что в настоящее время звезда находится в отрицательном экстремуме магнитного поля. Необходимо срочно провести новые фотометрические измерения с целью поиска пульсаций блеска. Следующая такая возможность появится не ранее, чем через десять лет.

Мы предлагаем хороший тест на проверку модели магнитного пульсатора для этой звезды. Магнитный мониторинг HD 965 будет продолжен.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Г. Уэйду за предложение включить звезду в программу наблюдений на 6-м телескопе, В. Г. Елькину — за наблюдения, проведенные в 2000–2002 гг., Г. А. Чунтонову — за создание эффективных анализаторов круговой поляризации, стабильно работающих на протяжении многих лет. Авторы благодарят Российский научный фонд (грант № 14-50-00043) за финансовую поддержку настоящего исследования. Наблюдения на 6-метровом телескопе САО РАН проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. G. Mathys, S. Hubrig, J. D. Landstreet, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **123**, 353 (1997).
2. C. Bertaud, *J. Obs.* **48**, 211 (1965).
3. D. W. Kurtz, *Annual Rev. Astron. Astrophys.* **28**, 607 (1990).
4. D. W. Kurtz, N. Dolez, and M. Chevreton, *Astron. and Astrophys.* **398**, 117 (2003).
5. V. G. Elkin, D. W. Kurtz, G. Mathys, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **358**, 1100 (2005).
6. I. I. Romanyuk, E. A. Semenko, and D. O. Kudryavtsev, *Astrophysical Bulletin* **69**, 427 (2014).
7. И. Д. Найденев, Г. А. Чунтонов, *Сообщ. САО*, № 16, 63 (1976).

8. G. A. Chuntunov, in *Magnetic Stars*, Ed. by Yu. V. Glagolevskij, D. O. Kudryavtsev, and I. I. Romanyuk (Special Astrophysical Observatory, Nizhny Arkhyz, 2004), p. 286.
9. D. O. Kudryavtsev, I. I. Romanyuk, V. G. Elkin, and E. Paunzen, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **372**, 1804 (2006).
10. S. Bagnulo, T. Szeifert, G. A. Wade, et al., *Astron. and Astrophys.* **389**, 191 (2002).
11. I. A. Yakunin, *Astrophysical Bulletin* **68**, 214 (2013).
12. G. Mathys, *ASP Conf. Ser.* **494**, 3 (2015).
13. G. Mathys, *Contr. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **38**, 217 (2008).
14. K. T. Wraight, L. Fossati, M. Netopil, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **420**, 757 (2012).
15. R. Glebocki and P. Gnacinski, *ESA SP-560*, 571 (2005).
16. Yu. Yu. Balega, V. V. Dyachenko, A. F. Maksimov, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 44 (2012).

Magnetic Field Monitoring of the Very Slowly Rotating CP Star HD 965

I. I. Romanyuk, D. O. Kudryavtsev, E. A. Semenko, and I. A. Yakunin

With the 6-m telescope we performed the magnetic field B_e measurements for the chemically peculiar star HD 965. During 2000–2015 we obtained over 30 spectra with a Zeeman circular polarization analyzer. The longitudinal field reaches +600 G at the positive extremum and goes below –1300 G at the negative one. The magnetic monitoring of the star shows that the period of B_e variability, i.e., the rotation period, exceeds 15 years. Thus, HD 965 belongs to the five slowest rotators among magnetic stars.

Keywords: *stars: chemically peculiar—stars: magnetic field—stars: individual: HD 965*