

О НЕКОТОРЫХ СВОЙСТВАХ He-w ЗВЕЗДЫ HD35502

Ю.В.ГЛАГОЛЕВСКИЙ¹, Г.А.ЧУНТОНОВ¹, А.В.ШАВРИНА²,
Я.В.ПАВЛЕНКО²

Поступила 10 ноября 2009

Принята к печати 15 декабря 2009

Сделано предварительное исследование звезды HD35502. В разных фазах периода измерено магнитное поле. Получены предварительные значения параметров магнитного поля на основе модели центрального квадруполя. Оказалось, что эффективное магнитное поле B_e изменяется в пределах $0 + -5000$ Gs, среднее поверхностное магнитное поле изменяется в пределах $6300 + 6700$ Gs, поле на полюсах $B_p = 7000$ Gs, угол между осью квадруполя и осью вращения $\beta = 80^\circ$. Гелий сконцентрирован на поверхности, как первое приближение, вокруг (отрицательного) полюса и на $\tau > 1$ его содержание ослаблено примерно в 2 раза, что подтверждает гипотезу диффузии гелия под действием гравитации и ветра в стабильной атмосфере. Химические элементы Si и Cr концентрируются в четырех пятнах на магнитном экваторе между магнитными полюсами, или в кольце совпадающем с магнитным экватором, в настоящее время не совсем ясно.

Ключевые слова: *звезды: магнитные поля - объект: HD 35502*

1. *Введение.* В работе [1] у звезды HD 21699 исследовано распределение гелия и кремния по поверхности, а также изучена стратификация этих элементов по глубине в атмосфере. Эта звезда удобна для такого исследования, потому что из-за сильного смещения магнитного диполя из центра звезды перпендикулярно его оси на ее поверхности образуется система из близко расположенных магнитных пятен положительного и отрицательного знака. В результате образуется одна область с сильным магнитным полем и магнитными силовыми линиями преимущественно направленными перпендикулярно поверхности и другая область, в которой силовые линии направлены преимущественно параллельно поверхности. Теоретические исследования показали [2-6], что гелий и кремний ведут себя в таких условиях по-разному, например, кремний скапливается в области горизонтальных силовых линий, а гелий тонет в магнитных пятнах. В нашем предыдущем исследовании звезды HD 21699 [1] были подтверждены эти предсказания. Представляется целесообразным исследовать другие магнитные CP-звезды с другими свойствами. В программу исследований была включена также звезда HD 35502, у которой продольное магнитное поле изменяется в пределах одного знака - минуса. Это указывает на то, что при вращении на видимой полусфере всегда преобладает одна и та же магнитная область

с отрицательным полем, а противоположная область не видна.

В каталоге [7] приводится 6 измерений магнитного поля и предполагаемая кривая изменений поля с фазой периода вращения $P=1^d.707$. Измеренные величины поля находятся в пределах от 0 до -3500 Gs. В работе [8] описаны некоторые свойства звезды. В ее спектре наблюдается переменная эмиссия в линии $\text{H}\alpha$. Отмечается также, что в спектре этой звезды наблюдались сильные изменения в течение 2.7 часа. Фотометрическая переменность происходит с периодом 1.69 дней. Максимум блеска звезды приходится в момент, данный следующей эфемеридой [9]

$$\text{JD} = 2447913.914 + (1.69519 \pm 0.00005) \cdot E \quad (1)$$

В этой же работе дана кривая изменения интенсивности линии $\text{HeI } \lambda 5876\text{\AA}$, проведенная в зависимости от такого же периода. Кривая плавная, следовательно, изменения за 2.7 часа (0.07 периода) не могут быть связаны с вращением, они кратковременные, связанные, как можно предположить, с нестационарными процессами в атмосфере. Если это так, то это была бы первая магнитная звезда, у которой обнаружены столь сильные нестационарные процессы.

Интересно также, что HD 35502 является двойной [10] с разделением компонент $\rho < 0.059$ arcsec.

2. *Физические параметры звезды.* Эффективная температура звезды, оцененная по фотометрическим данным, $T_{\text{эф}} = 15920$ К [11]. Абсолютная болометрическая величина звезды, определенная (там же) по параметру β многоцветной фотометрии, $M_b = -1$, откуда $\log g = 4.00$ и $R = 2.6 R_{\odot}$ в соответствии с формулой $\log R/R_{\odot} = 8.46 - 2 \log T_{\text{эф}} - 0.2 M_b$. В другой работе [9] $T_{\text{эф}} = 16610$ К и $\log g = 4.41$, откуда $R = 2.5 R_{\odot}$. В [12] дается температура, полученная по фотометрическим данным, $T_{\text{эф}} = 19770$ К. В работе [13] приводятся близкие к [9] оценки величины $T_{\text{эф}} = 16200$ К и $R = 2.7 R_{\odot}$. В каталоге [14] $R = 3.5 R_{\odot}$.

В нашем анализе спектров звезды He-weak HD 21699 [1] мы определили $T_{\text{эф}} = 16000$ К и $\log g = 4.0$ по профилю водородной линии H δ , которая совпала с оценкой $T_{\text{эф}}$ по фотометрии [11]. Линии Si II Si III при моделировании с такой моделью атмосферы дали близкие содержания кремния (внутри 0.15 dex) для 3-х фаз вращения, спектры которых содержали линии Si III ($\lambda 4552, 4567, 4574 \text{\AA}$). Это подтвердило правильность выбора модели атмосферы. В данной работе мы также использовали линию H δ для выбора модели атмосферы. Синтетические профили H δ были построены для диапазона температур 15000-20000 К и $\log g = 3.5 - 5.0$ из сетки моделей Куруца [15] по программам синтетического спектра Цымбала [16] и Хана [17]. Лучшее представление наблюдаемых профилей H δ получилось по модели атмосферы с $T_{\text{эф}} = 19000$ К, $\log g = 4.5$ при $v \sin i = 80$ км/с. Линии Si II и Si III с такими же параметрами атмосферы также дали сходные содержания для близких

фаз вращения, а именно $\varepsilon = 7.9 - 8.0 \text{ dex}$ (в шкале $\varepsilon(\text{H}) = 12.0$) по линиям Si III для фазы 0.63 и $\varepsilon = 7.8 \text{ dex}$, по линиям Si II для фазы 0.656 (новая 0.77, см. далее). Поэтому для дальнейшего анализа мы выбрали модель атмосферы с $T_{\text{eff}} = 19000 \text{ K}$ и $\log g = 4.5$. Эти параметры соответствуют звезде с $R = 3.0 R_{\odot}$. Учитывая $v \sin i = 80 \text{ км/с}$, мы оценили скорость вращения звезды $v = 50.6 \cdot R/P = 89 \text{ км/с}$ и угол наклона оси вращения к лучу зрения $i \approx 64^{\circ}$.

Таким образом, по всем данным радиус звезды находится в пределах $2.5 - 3.5 R_{\odot}$, температура в пределах $15920 - 19000 \text{ K}$, среднее значение $R = 2.9 R_{\odot}$. Исходя из всех приведенных данных, угол $i = 50 - 90^{\circ}$. Примем для дальнейшего анализа найденную нами величину $i = 64^{\circ}$. Этот угол необходим для моделирования магнитного поля, от него зависит главным образом величина магнитного поля на полюсах B_p и среднее значение поверхностного магнитного поля B_s .

Большое различие в оценках температуры у разных авторов может быть признаком аномальных физических условий на звезде вследствие наличия нестационарной оболочки.

3. Магнитное поле. Продольное магнитное поле B_e впервые измерялось по линиям водорода Болендером и приведено в [7]. Мы получали земановские спектры на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа с анализатором циркулярной поляризации и резателем изображений [18]. Область спектра $\lambda 4000 - 4240 \text{ \AA}$ регистрировалась на матрице $2\text{K} \times 2\text{K}$ с разрешением 15000.

Оказалось, что спектр звезды HD35502 состоит из расщепленных линий металлов, как это видно из рис.1, на котором приведена область

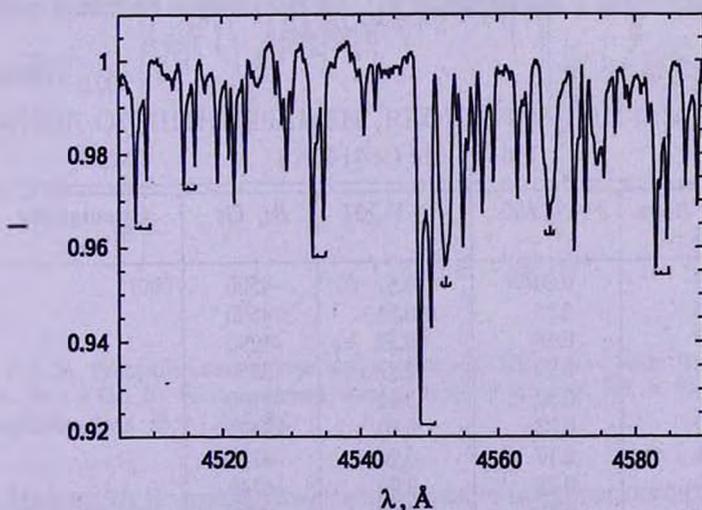


Рис.1. Участок спектра звезды HD 35502, показывающий, что все линии расщеплены на 3 компоненты (фаза 0.59). Это линии (слева направо): $\lambda 4508.29 \text{ Fe II}$, $\lambda 4508.32 \text{ Fe III}$; $\lambda 4515.34 \text{ Fe II}$; $\lambda 4534.17 \text{ Fe II}$; $\lambda 4549.47 \text{ Fe II}$; $\lambda 4552.62 \text{ Si III}$; $\lambda 4567.84 \text{ Si III}$; $\lambda 4583.84 \text{ Fe II}$.

спектра $\lambda 4515 - 4590 \text{ \AA}$. Отмеченные линии последовательно принадлежат химическим элементам Fe II ($\lambda 4508.29, 4515.34, 4534.17, 4549.47$ и 4583.84 \AA), Si III ($4552.62, 4567.84 \text{ \AA}$) и 4508.32 \AA , Fe III. Видно, что линии Fe состоят из двух сильных компонент и одной центральной слабой, а линии Si из одной центральной сильной и двух слабых по краям. Очевидно, что расщепление происходит вследствие неравномерного их распределения по поверхности, причем Fe и Si концентрируются на разных участках поверхности. Поэтому измерения продольного магнитного поля *Ve* проводилось только по линиям водорода H δ и He $\lambda 4140 \text{ \AA}$, на которых такого расщепления не заметно. Кроме того, водород равномерно распределен по поверхности звезды, что позволяет исключить ошибки, связанные с неоднородным распределением. Гелий мы включили, учитывая близкие к водороду величины поляризации в зеемановских спектрах. Сопоставление измерений поля по линиям H δ и He $\lambda 4140 \text{ \AA}$ показало, что они в общем сходятся, хотя бывают различия, превышающие ошибки.

Из рис.1 видно, что все линии расщеплены на 3 компонента, что может служить указанием на наличие на поверхности более чем двух "лятен" химических элементов. Если учесть, что пятна связаны с магнитными полюсами, то можно предположить, что, вероятно, поле у звезды квадрупольное. Если это так, то непонятно почему изменения интенсивности линий гелия и фотометрическая переменность, найденные в работе [9], происходят с одной волной как у звезд с дипольным полем.

Измеренные нами величины магнитного поля в разных фазах периода вращения приведены в табл.1. Средняя ошибка измерений равна $\pm 500 \text{ Gs}$.

Если наши измерения продольного магнитного поля отложить на графике $Ve(\phi)$ в соответствии с эфемеридой (1), то получается большой разброс

Таблица 1

ВЕЛИЧИНЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ, ИЗМЕРЕННЫЕ ПО ЛИНИЯМ
H δ И He ($\lambda 4140 \text{ \AA}$)

Юлианский день 2450000.0 +	$P=1^d.695.$	$P=1^d.707$	$Ve, \text{ Gs}$	Смешанное поле
4845.203	0.80	0.51	-4500	
4833.264	0.75	0.51	-4500	
4880.417	0.58	0.55	-5290	
4072.375	0.90	0.77	-3850	
4878.167	0.24	0.82	-1180	*
4782.542	0.83	0.80	-1420	*
4832.271	0.17	0.93	-4740	
4846.190	0.38	0.09	-4740	
4846.440	0.53	0.23	+380:	*
4781.583	0.27	0.24	+630:	*
4748.353	0.66	0.77	-2530	

точек без признаков существования какой-либо периодичности. Причем, даже в очень близких фазах оказываются сильно различающиеся величины магнитного поля. Например, на рис.2А приведен спектр поляризации (по оси абсцисс отложен номер пиксела N , по оси ординат параметр Стокса V) в линиях H δ и He λ 4140Å для фазы $\Phi = 0.53$, соответствующий полю $B_e \approx +0.4$ kGs, а на рис.2В спектр в $\Phi = 0.58$, соответствующий сильному полю отрицательной полярности $B_e = -5.3$ kGs, разница по времени составляет около 2 часов (0.05 периода).

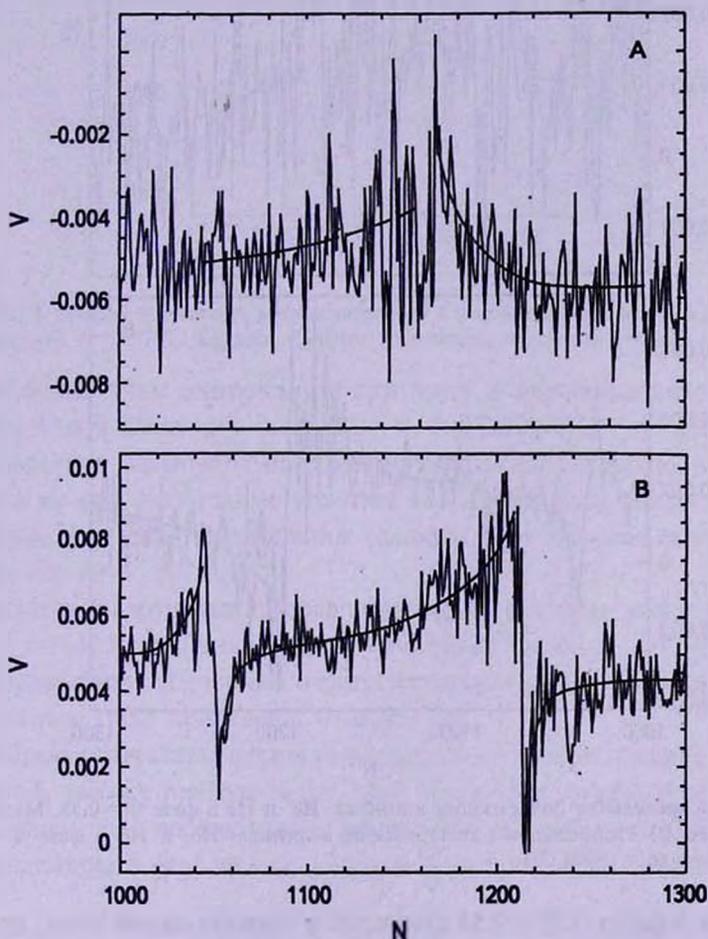


Рис.2А. Распределение поляризации в линиях H δ и He в фазе $\Phi = 0.83$. Магнитное поле $B_e \approx 0$ Gs. В) Распределение поляризации в линиях H δ и He в фазе $\Phi = 0.80$. Магнитное поле $B_e = -5000$ Gs.

На рис.3А,В приведены зеемановские спектры поляризации в фазах 0.80 и 0.83, которые тоже показывают сильное различие. В первом случае величина $B_e = -4.5$ kGs, во втором $B_e = -0.3$ kGs. Разница по времени

между первым и вторым случаем 1.2 часа. Такие быстрые изменения трудно объяснить другими причинами кроме предположения о неверных фазах периода вращения. Переменность, не связанная с вращением пока еще не была обнаружена ни у одной магнитной звезды.

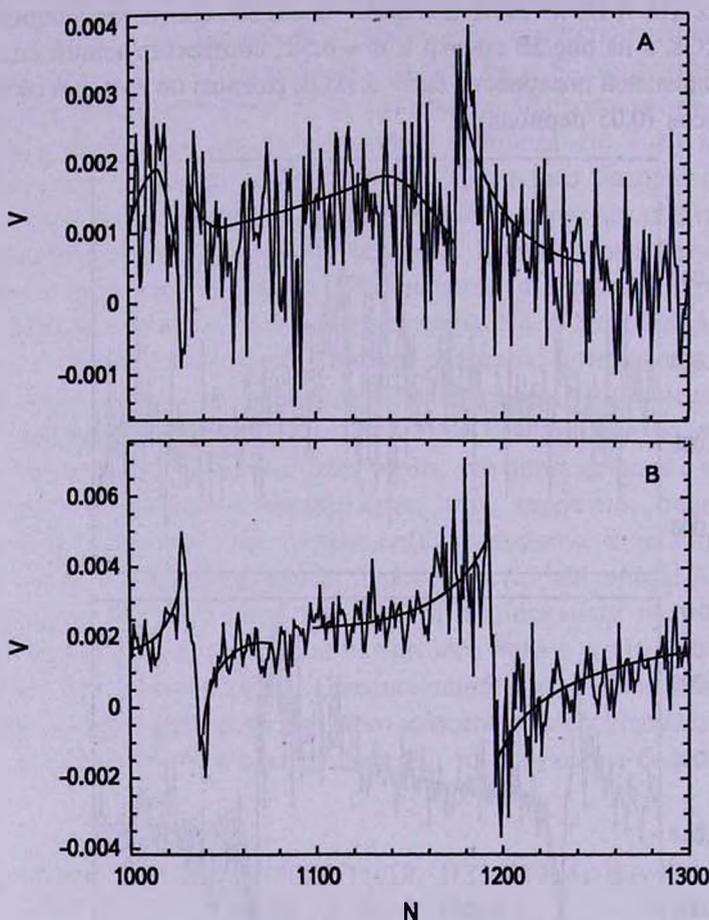


Рис.3А. Распределение поляризации в линиях H δ и H ϵ в фазе $\Phi = 0.53$. Магнитное поле $B_e \approx 0$ Gs. В) Распределение поляризации в линиях H δ и H ϵ в фазе $\Phi = 0.58$. Магнитное поле $B_e = -5000$ Gs.

Спектры в фазах 0.38 и 0.53 получены в течение одной ночи, причем первый из них показал поле -4740 Gs, а второй $+380$ Gs.

Смешанное поле получается в фазах 0.27 и 0.83, они получены через сутки ($0^d.959$), т.е. через примерно половину периода. Такая ситуация может происходить только в случае квадрупольного поля. Но точно такое смешанное поле наблюдается и в фазе 0.53, что не может быть объяснено ни дипольной, ни квадрупольной конфигурацией. На рис.4 приведены данные для магнитного поля, отложенные с периодом $P = 1^d.707$, полученным в работе [7]. Сплошной

линией приведены результаты вычисления фазовой зависимости при предположении квадрупольного магнитного поля. Видно, что и в этом случае вычисленная квадрупольная зависимость не очень хорошо соответствует наблюдениям, однако наблюдаемые величины магнитного поля и модельная

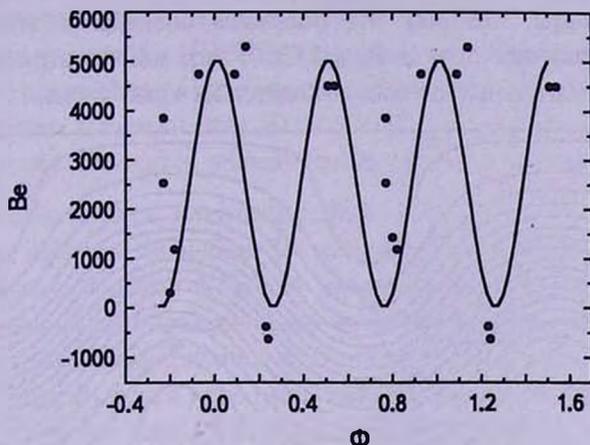


Рис.4. График изменения магнитного поля с фазой периода вращения, построенный с периодом $P = 1^d.707$. Кружки - наши измерения, сплошная линия - модельная.

зависимость лучше соответствуют друг другу, а смешанное поле наблюдается только в двух фазах $\Phi = 0.23 - 0.24$ и $\Phi = 0.80 - 0.82$, что и должно быть при наличии квадрупольного магнитного поля. Очевидно, что период и начальную фазу необходимо уточнить на основе последующих наблюдений. Дальнейшие наши вычисления сделаны при предположении периода вращения $P = 1^d.707$.

Модель квадрупольного поля вычислялась методом "магнитных зарядов" [19] с $i = 64$, полученным выше, начальной фазой $\Phi = 0$, совпадающей с максимальным значением отрицательного магнитного поля. Параметры магнитного поля приведены в табл.2.

Меркаторская карта распределения магнитного поля по поверхности приведена на рис.5, там же приведены глобусы, которые показывают распределение магнитного поля так как мы его видим. Первый глобус показывает видимое распределение в фазе $\Phi = 0$, а второе в фазе $\Phi = 0.25$. В фазах 0.5 и 0.75

Таблица 2

ПАРАМЕТРЫ КВАДРУПОЛЬНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ HD35502

Знак монополя	Долгота монополя, λ	Широта монополя, δ	Поле на полусе B_p , Gs
-	0	10	-7000
+	90	-10	+7000
-	180	10	-7000
+	270	-10	+7000

распределение такое же вследствие симметричного распределения полюсов по поверхности. Магнитный экватор заштрихован. Хорошо видно, что большую часть видимого диска в $\Phi = 0$ занимает область с отрицательным магнитным полем, в фазе $\Phi = 0.25$ площади с отрицательным и положительным полем примерно одинаковы, поэтому мы получаем спектры в этих фазах, показывающие смешанное поле и $Be \approx 0$ Gs. В этот момент отрицательный и положительный магнитные полюса находятся на краю диска.

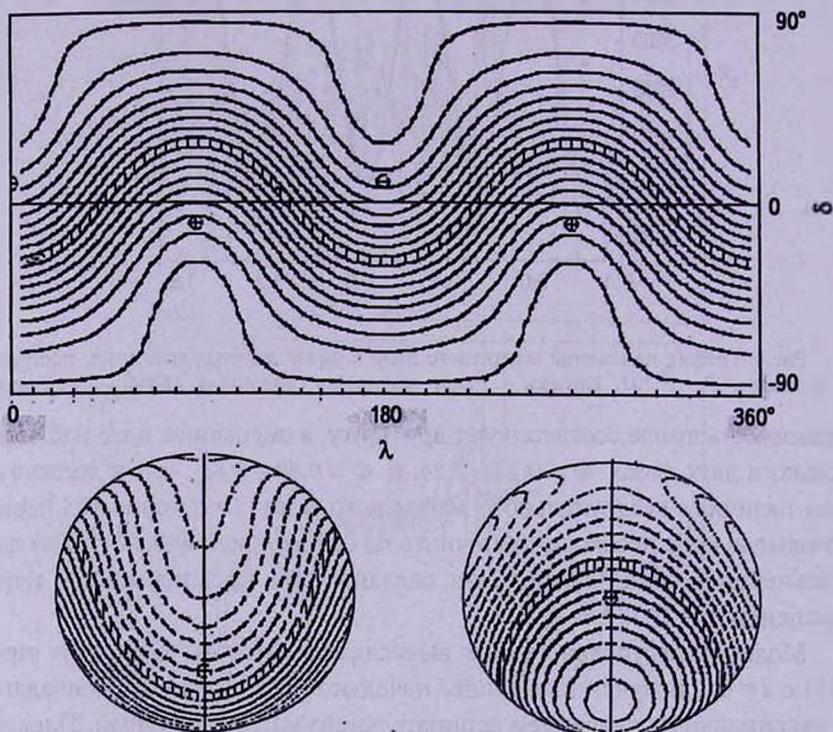


Рис.5. Меркаторская карта предполагаемого распределения магнитного поля по поверхности HD 35502 и распределение поля по видимому диску в фазах $\Phi = 0$ и $\Phi = 0.25$ (соответственно то же самое наблюдается в $\Phi = 0.5$ и $\Phi = 0.75$).

В последнем столбце табл.1 отмечены фазы, в которых зеемановские спектры показывают наличие смешанного поля. Это те фазы, в которых становится заметным влияние области с положительным магнитным полем. Благодаря более мелким магнитным областям разного знака, по сравнению с дипольной структурой, при вращении звезды и поле, и химсостав, и другие свойства меняются при вращении довольно быстро. Вероятно этим, а не нестационарными процессами, объясняются те быстрые изменения, которые отмечены Болендером [8]. Из рис.4 видно, что максимальная крутизна фазовой зависимости так велика, что за 0.1 фазы (~4 час) поле

изменяется на 3 kGs. Следовательно, если поле квадрупольное, то предполагать наличие нестационарных явлений на звезде нет необходимости. Эта звезда так же стабильна, как и все магнитные CP-звезды. Предположению о квадрупольной структуре поля противоречат оценки поля вблизи $\Phi \approx 0.8$, где три точки расположены с сильным разбросом.

Изучаемая нами звезда HD 35502 принадлежит к редкому среди магнитных звезд типу со сложной структурой магнитного поля на поверхности. Вероятно она принадлежит к звездам типа HD 37776 [20], на диаграмме Герцшпрунга-Рессела они обе находятся вблизи линии нулевого возраста.

4. *Переменность спектральных линий.*

а) *Линии водорода.* В работе [8] анализируются профили линии $H\alpha$ в разных фазах. В фазах 0.38-0.44 наблюдается небольшая эмиссия в центре линии, в этих фазах звезда становится ярче. В соответствии с нашей моделью квадрупольного магнитного поля (рис.4) в этот момент в центре видимого диска находится область отрицательной полярности, очевидно из нее происходит выброс вещества. Эмиссия наблюдается [8] также в крыльях $H\alpha$ в фазе 0.03, когда через центральный меридиан (см. рис.4) проходит отрицательный магнитный полюс (рис.4). Именно вблизи этой фазы Болендер [8] наблюдал изменения в спектре в течение 1.7 часов. Быстрые изменения магнитного поля и других, связанных с ним явлений вероятно происходят вследствие большой крутизны изменения магнитного поля по сравнению с дипольной, и быстрым вращением. В линии $H\delta$ признаков эмиссии не заметно.

б) *Линии металлов.* Линии некоторых металлов раздвоены (рис.1) практически в течение всего периода вращения, но между ними виден третий слабый компонент. Как сказано выше, в этом участке имеются линии Fe и Si, которые ведут себя по-разному. Линии Fe имеют слабый центральный компонент, а линии Si - сильный. Очевидно, что распределение этих элементов разное. Если поле квадрупольное, как мы предполагаем, то при вращении звезды одновременно должны быть видны на видимой поверхности либо два, либо три пятна.

Отметим, что все линии FeII на рис.1 (фаза 0.59), кроме $\lambda 4534.17 \text{ \AA}$ описываются повышенным содержанием железа ($\log N(\text{Fe}/\text{H}) = -3.0 \text{ --- } -3.2$, т.е. на 1.5-1.3 dex выше солнечной величины), а $\lambda 4534.17 \text{ \AA}$ - на 2.2 dex выше солнечного содержания железа. В последней линии есть вклад линий Mg II $\lambda 4534.28 \text{ \AA}$ и 4534.30 \AA , но небольшой. Линии Si III дают содержание кремния $\log N(\text{Si}/\text{H}) = -4.0 \text{ --- } -4.1$. Из линий Si II $\lambda 4128, 4130 \text{ \AA}$ в близкой фазе 0.77 мы получили близкую величину содержания кремния -4.20, что говорит о правильности подбора модели атмосферы.

У нас недостаточное количество данных для построения зависимости величины расщепления линий с фазой периода. Из имеющихся данных

видно, что линии $\lambda\lambda 4072.56$ и 4215.74 \AA (Сг II) имеют максимальную величину расщепления, равную 1.46 \AA . Отметим также, что только в фазе 0.82 наблюдается одиночная линия. Очевидно, что пятно, в котором концентрируется этот элемент, в этот момент проходит через видимый меридиан. К сожалению, пока мало наблюдательных данных для подтверждения и понимания этого эффекта.

Таблица 3

РАСЩЕПЛЕНИЕ ЛИНИЙ

Φ ($P=1.695$)	Φ ($P=1.707$)	$\Delta\lambda$ ($\lambda 4072 + 4215 \text{ \AA}$)	$\Delta\lambda$ (SiII $\lambda 4128 + 4130 \text{ \AA}$)
0.80	0.51	1.40	1.15
0.75	0.51	0.50	0.50
0.58	0.55	1.46	1.10
0.90	0.77	1.20	1.10
0.24	0.82	0.00	0.00
0.83	0.80	1.16	0.95
0.17	0.93	0.56	0.88
0.38	0.09	1.30	1.10
0.53	0.23	1.00	1.00
0.27	0.24	0.52	0.45
0.66	0.77	1.44	-
0.63	0.59	-	0.00 SiII $\lambda 4552, 4568 \text{ \AA}$

с) *Линии Si*. Центры линий кремния $\lambda\lambda 4128, 4130 \text{ \AA}$ расщеплены так же, как и у приведенных выше элементов (табл.3). Однако амплитуда изменений величины расщепления меньше, она равна 1.10 \AA . Из аналогичных зависимостей для других элементов, которые мы здесь не приводим, хорошо видно, что кремний ведет себя точно так же как Сг II, т.е. кремний сконцентрирован в тех же областях поверхности звезды. Как и у этого

Таблица 4

СОДЕРЖАНИЕ КРЕМНИЯ Si/H

Фаза	$\lambda 4128 \text{ \AA}$	$\lambda 4130 \text{ \AA}$
0.09	-4.77	-4.77
0.55	-4.70	-4.85
0.23	-4.45	-4.65
0.24	-4.50	-4.50
0.51	-4.65	-4.75
0.51	-4.65	-4.75
0.77	-4.55	-4.80
0.77	-4.60	-4.75
0.80	-4.50	-4.65
0.82	-4.50	-4.50
0.93	-4.62	-4.82

элемента линии кремния не показывают расщепления в фазе 0.82. Методом синтетических спектров мы получили содержание кремния по линиям $\lambda 4128$, 4130 \AA , приведенные в табл.4.

Фазовая зависимость, построенная по этим данным приведена на рис.6, где стрелками указано положение экстремумов магнитного поля. Значками "-" показано положение максимумов отрицательного магнитного поля, а значками "+" положение поля равного нулю. Штриховой линией проведена кривая, сделанная от руки, экстремумы которой совпадают с

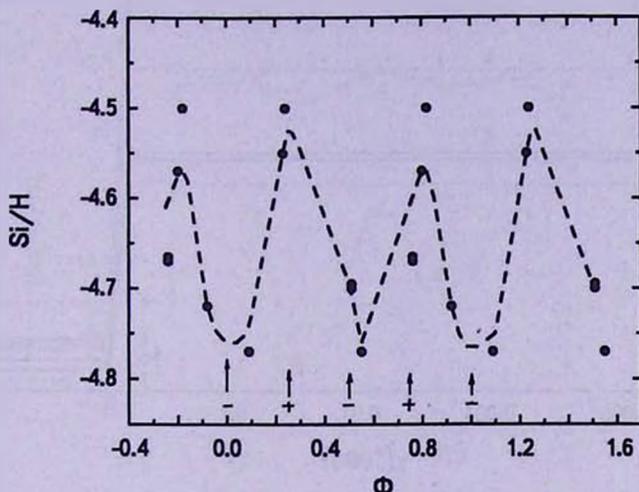


Рис.6. Изменение содержания Si с фазой периода вращения.

экстремумами магнитного поля. Получается, что в магнитных полюсах отрицательного знака кремний ослаблен, а между ними усилен. Теоретически так и должно быть, потому что кремний скапливается там, где магнитные силовые линии горизонтальны. Рассматриваемая зависимость обратна зависимости для He (см. следующий раздел).

Так же как и на зависимости рис.4 вблизи $\Phi \approx 0.8$ наблюдается значительный разброс точек.

d) *Изменение интенсивностей линий гелия.* В работе [9] отмечается, что содержание гелия у HD 35502 в два раза меньше, чем у нормальных звезд с такой же температурой, причем интенсивность линии гелия $\lambda 5876 \text{ \AA}$ заметно изменяется. В фазе $\Phi = 0.1$ она минимальна, а в $\Phi = 0.6$ максимальна. Таким образом эта линия ведет себя так, как будто поле у звезды дипольное.

На наших спектрах линии He $\lambda 4140 \text{ \AA}$ асимметричны и меняют свою форму. Глубина линии $\lambda 4026$ и 4140 \AA с фазой периода вращения изменяется в значительных пределах, превышающих ошибки измерений.

Мы сделали попытку исследования стратификации He в разных фазах

периода вращения по линии $\lambda 4026\text{\AA}$. Распределение гелия с глубиной представлялось в виде ступенчатой функции (рис.7). Исследование стратификации гелия показало, что во всех фазах скачек изменения содержания происходит на одинаковом $\tau \approx 1$. В глубоких слоях среднее содержание

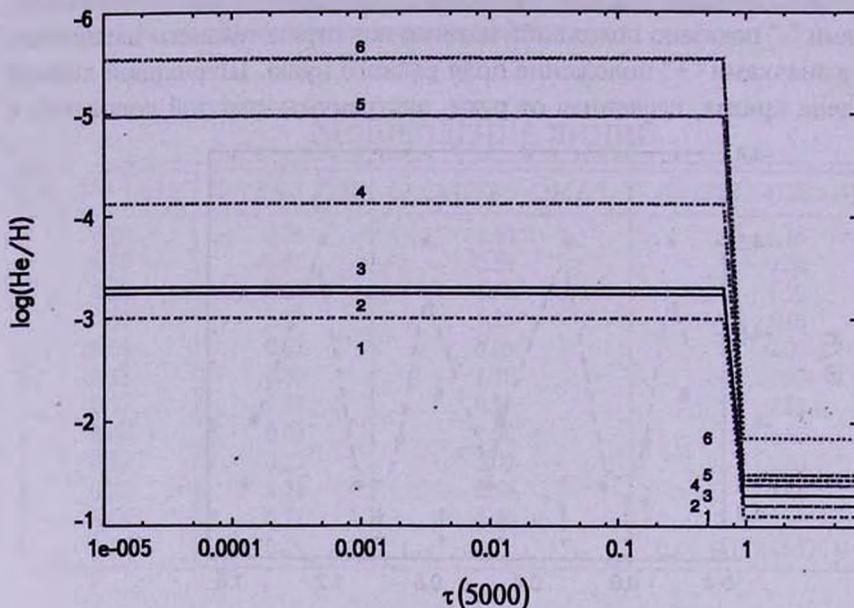


Рис.7. Распределение содержания гелия $\lambda 4026$ с глубиной в атмосфере в разных фазах периода вращения. Верхний слой, фазы: 1- 0.77; 2-0.14 и 0.51; 3-0.09; 4-0.77; 5-0.24; 6-0.23 и 0.80. Глубокий слой, фазы: 1-0.77; 2-0.51 и 0.51; 3-0.09; 4-0.24; 5-0.77, 0.80 и 0.14; 6-0.53.

Таблица 5

СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ ДО И ПОСЛЕ СКАЧКА

Φ ($P=1.695$)	Φ ($P=1.707$)	$\log(\text{He}/\text{H})$ поверх.	$\log(\text{He}/\text{H})$ глуб.
0.268	0.24	-4.97	-1.40
0.380	0.09	-3.30	-1.30
0.527	0.23	-5.53	-1.85
0.580	0.55	-3.24	-1.45
0.656	0.77	-4.12	-1.50
0.755	0.51	-3.24	-1.20
0.798	0.51	-3.24	-1.20
0.834	0.80	-5.54	-1.50
0.903	0.77	-3.00	-1.10

гелия $\log(\text{He}/\text{H}) \approx -1.4$, в поверхностных слоях $\log(\text{He}/\text{H}) \approx -4$ (табл.5), (солнечное содержание составляет -1.05). У звезды HD 21699 [1], например, скачек содержания тоже попадает на $\tau \sim 1$, но разница содержания меньше

и составляет ~ 2.5 dex. Гелий ослаблен во всех слоях атмосферы, но на поверхности дефицит достигает величины до трех порядков. На рис.8 приведен график зависимости величины содержания He от фазы периода на двух уровнях атмосферы. Фазовые зависимости оказались с разной амплитудой. В глубоких слоях амплитуда меньше, на поверхности больше. По форме они подобны (кривые проведены от руки). Стрелки на рисунке показывают положение магнитных полюсов, причем стрелки вверх показывают положение области на видимом меридиане с максимальным

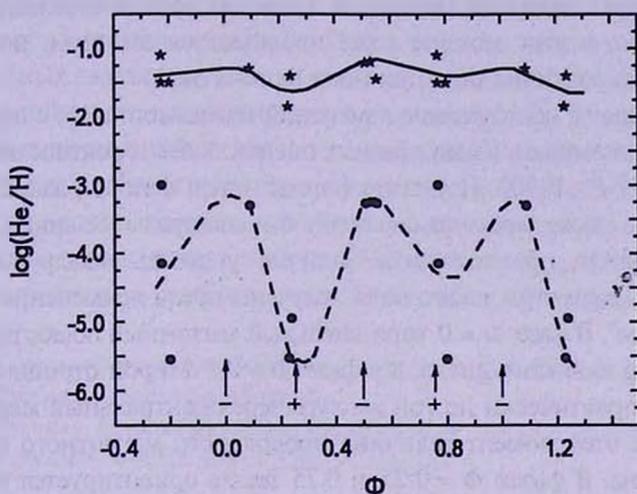


Рис.8. Изменение содержания гелия по глубине в разных фазах периода вращения. Стрелки показывают момент, когда магнитные полюса проходят через центральный меридиан (соответственно максимум напряженности). Стрелка вверх - отрицательный полюс, стрелка вниз - видны оба полюса.

(отрицательным) полем, а стрелки вниз - с минимальным полем. Рассматриваемая зависимость по форме обратна зависимости для Si (см. предыдущий раздел). Несмотря на недостаточное количество измерений, они не противоречат предположению, что содержание гелия в магнитных полюсах больше, чем в окружающих областях, на фоне общего ослабления гелия. Такое же свойство мы изучали у звезды HD 21699 [1]. В области магнитных полюсов гелий усилен вследствие его выноса ветром. Так же как на рис.4 и 6 вблизи $\Phi \approx 0.8$ наблюдается сильный разброс точек.

Проблема заключается в том, что фазовая зависимость изменения интенсивности линий гелия, полученная нами, не совпадает с приведенной зависимостью в работе [9]. Необходимы дальнейшие спектроскопические наблюдения для окончательного решения этой проблемы.

5. Обсуждение. Таким образом, получены первые предварительные результаты спектроскопического и магнитометрического исследования одного из интересных CP объектов HD 35502. Остановимся на основных пунктах

полученных результатов.

1) Звезда молодая, находится вблизи ZAMS. $T_{\text{эф}} = 19000 \text{ K}$, $\log g = 4.5$. Этим объясняется то, что вокруг нее сохранились еще остатки газопылевого облака, создающего в линии Na эмиссию [8]. В соответствии с данными этой работы профиль линии Na изменяется с фазой периода вращения. Наличие эмиссии в центре этой линии вблизи фазы $\Phi \approx 0.38$ и 0.44 позволяет предполагать наличие газового облака вблизи отрицательного магнитного полюса при предположении квадрупольного магнитного поля. Но в $\Phi = 0.03$ через видимый меридиан проходит другой отрицательный магнитный полюс, в этот момент тоже наблюдается эмиссия, но уже в крыльях. Причина различия остается пока непонятной.

2) Предварительное исследование изменений магнитного поля с периодом вращения позволило выбрать из двух разных оценок более вероятное значение периода вращения $P = 1^{\text{д}}.707$. Изучение формы новой фазовой зависимости магнитного поля, а также характера переменности спектральных линий разных элементов позволило предположить наличие у звезды квадрупольного магнитного поля. Параметры такого поля получены путем применения метода "магнитных зарядов". В фазе $\Phi = 0$ отрицательный магнитный полюс проходит почти через центр видимого диска, а в фазе $\Phi = 0.5$ второй отрицательный полюс проходит практически по той же дуге через центральный меридиан, вследствие чего в этот момент величина продольного магнитного поля B_e опять максимальна. В фазах $\Phi = 0.25$ и 0.75 звезда ориентируется так, что видны оба полюса, в этот момент мы наблюдаем звезду с магнитного экватора, поэтому продольное поле $B_e \approx 0 \text{ Gs}$. Задача дальнейших исследований заключается в уточнении периода вращения, в результате которого мы надеемся уменьшить разброс точек на исследуемых зависимостях от фазы периода вращения.

4) Линии Si, Fe, Cг и других элементов расщеплены на 2-3 компонента. Характер изменения их длин волн показывает, что расщепление скорее всего происходит потому, что "пятна" этих элементов находятся в разных частях диска, причем одно из них восходит, другое заходит. Задача дальнейших исследований заключается в том, чтобы выяснить, каким образом их распределение связано с магнитным полем.

5) Особенно интересно поведение линий кремния $\lambda 4128$, 4130 \AA . Центральные части линий тоже расщеплены на компоненты. Смещение компонент имеет такой же характер, что и в случае CгII. Судя по зависимости величины расщепления от фазы периода концентрация этих элементов происходит в одних и тех же участках поверхности. Получается, что в магнитных полюсах кремний ослаблен, а между ними усилен. С теоретической точки зрения кремний должен концентрироваться в областях с горизонтальным направлением силовых линий, т.е. между полюсами, потому что кремний скапливается там,

где магнитные силовые линии горизонтальны. В этом мы убедились, в частности, на основании исследования звезды HD 21699 [1].

б) Исследование стратификации гелия показало, что во всех фазах скачек изменения содержания происходит на одинаковой глубине $\tau \sim 1$. В глубоких слоях среднее содержание гелия $\log(\text{He}/\text{H}) \sim -1.3$, в поверхностных слоях $\log(\text{He}/\text{H}) \sim -4.5$, т.е. различие составляет более трех порядков. Для сравнения приведем аналогичные данные для звезды HD 21699 [1]: у нее граница изменения содержания приходится тоже на $\tau \sim 1$ а различие составляет около 300 раз.

Стратификация содержаний химических элементов в химически пекулярных звездах изучена в недавней работе [21]. Их самосогласованные модели показали, что такие элементы, как Fe, Cr, Si и Ca действительно (в соответствии с наблюдательными данными) накапливаются на больших оптических глубинах, в то время как они находятся в большом дефиците в верхних слоях атмосферы. Переходная зона для железа в их моделях располагается на оптической глубине вблизи $\tau_{5000} = 1$.

Исследование этой интересной звезды будет продолжено.

¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: glagol@sao.ru

² Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук
Украины, e-mail: shavrina@mao.kiev.ua

ABOUT SOME PROPERTIES OF He-w STAR HD35502

Yu.V.GLAGOLEVSKIY¹, G.A.CHOUNTONOV¹, A.V.SHAVRINA²,
Ya.V.PAVLENKO²

The preliminary research of star HD35502 was made. The magnetic field has been measured in different phases of the period. Preliminary parameters of a magnetic field are obtained on the basis of model of the central quadrupole. It was appeared, that effective magnetic field B_e changes within the limits of $0 + -5000$ Gs, the average surface field varies within the limits of $6300 + 6700$ Gs, a field on poles $B_p = 7000$ Gs, the angle between an axis of a quadrupole and an axis of rotation $\beta = 80^\circ$. Helium is concentrated on the surface, as a first approximation, around (negative) poles and on $\tau < 1$ abundance is lower by 4 order, on $\tau > 1$ abundance is weakened approximately in 2 times, that confirms hypothesis of helium diffusion process under action of gravitation and wind in a stable atmosphere. Chemical elements Si, Cr are

concentrated in four spots on magnetic equator between of magnetic poles, or in a ring coinciding with the magnetic equator, this time it is not clear.

Key words: *stars:magnetic fields - individual:HD35502*

ЛИТЕРАТУРА

1. Ю.В.Глаголевский, А.В.Шаверина, Дж.Сильвестер и др., *Астрофиз. Бюлл.* 64, 170, 2009.
2. P.S.Osmer, D.M.Pterson, *Astrophys. J.*, 187, 117, 1973.
3. S.Vauclair, *Astron. Astrophys.*, 45, 233, 1975.
4. S.Vauclair, J.Hardorp, D.M.Pederson, *Astrophys. J.*, 227, 526, 1979.
5. G.Alecian, S.Vauclair, *Astron. Astrophys.*, 101, 16, 1981.
6. C.Megessier, *Astron. Astrophys.*, 138, 267, 1984.
7. V.D.Bychkov, L.V.Bychkova, J.Madej, *Astron. Astrophys.*, 430, 1143, 2005.
8. D.Bohlender, *CFHT Inform. Bulletin*, №27, 21, 1992.
9. G.Catanzaro, F.Leone, *Astron. Nachr.*, 324, 445, 2003.
10. E.Horch, W.F.Altena, T.M.Girard et al., *Astron. J.*, 121, 1597, 2001.
11. Yu.V.Glagolevskij, *Bull. SAO*, 33, 33, 2002.
12. J.D.Landstreet, S.Bagnulo, V.Andretta et al., *Astron. Astrophys.*, 470, 685, 2007.
13. R.K.Gulati, M.L.Malagnini, C.Morossi, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 80, 73, 1989.
14. L.E.Pasinetti Fraccasini, L.Pastori, S.Covino, A.Pozzi, *Astron. Astrophys.*, 367, 521, 2001.
15. R.L.Kurucz, *Data Bank - CD-ROM NN 1-22 (1993-1994)*.
16. V.Tymbal, in: *Model Atmospheres and Spectrum Synthesis*, eds. S.J.Adelman, F.Kupka and W.W.Weiss, *ASP Conference Series*, 108, 198, 1996.
17. S.J.Khan, *Quant. Spectrosc. Radiat. Transfer.*, 88, 71, 2004.
18. G.A.Chountonov, in *Magnetic stars*, eds. Yu.V.Glagolevskij, D.O.Kudryavtsev, *Nizhnij Arkhyz*, 2003, p.286.
19. E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij, *Physics of Magnetic Stars*, Eds. D.O.Kudryavtsev, I.I.Romanyuk, *Nizhniy Arkhyz*, 2007, p.148.
20. Ю.В.Глаголевский, Е.Герт, *Астрофиз. Бюлл.*, 51, 84, 2001.
21. D.Monin, F.Lebanc, in *Physics of Magnetic Stars*, Eds. I.I.Romanyuk, D.O.Kudryavtsev, *SAO RAN*, 2007, p.360.