

## СЛОЖНАЯ СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ СР-ЗВЕЗДЫ HD142301

Ю.В. ГЛАГОЛЕВСКИЙ

Поступила 7 июля 2010

Принята к печати 8 сентября 2010

Построены модели магнитного поля He-w звезды HD142301. Наблюдательные данные хорошо описываются моделью диполя, смещенного поперек оси на величину 0.6 радиуса звезды. Однако фазовая зависимость интенсивности линии  $\text{HeI}\lambda 4026\text{\AA}$  лучше соответствует модели, предполагающей наличие четырех монополей (или двух диполей), смещенных на расстояние 0.4 радиуса звезды от центра. Расстояние между монополями в обеих моделях сравнимо с радиусом звезды, что указывает на то, что источником магнитного поля являются "длинные" диполи, а не "точечные" диполи.

Ключевые слова: *звезды: магнитные поля - объект: HD142301*

1. *Введение.* Этой работой мы продолжаем серию публикаций, содержащих результаты исследования особенностей структур магнитных полей химически пекулярных звезд. Звезда HD142301 (He-w) интересна тем, что она имеет негармоническую фазовую зависимость продольного эффективного магнитного поля  $B_e$  от фазы периода вращения [1]. Вследствие недостаточного количества наблюдательных данных моделирование может привести лишь к приблизительным, качественным результатам, тем не менее они достаточно интересны и показывают разнообразие свойств магнитных звезд. Поскольку магнитное поле измерялось по линии водорода  $\text{H}\beta$ , то влияние неравномерного распределения химических элементов практически исключается. В работе [1] определен угол наклона оси вращения к лучу зрения в пределах  $i = 20^\circ - 40^\circ$ . Мы используем среднее значение  $i = 30^\circ$ . Здесь определены также некоторые параметры магнитного поля, определенные при предположении модели центрального диполя. Оказалось, что угол наклона оси диполя к оси вращения  $\beta = 70^\circ - 85^\circ$ .

Для вычисления модели магнитного поля мы пользуемся методом "магнитных монополей", или "зарядов", описанным в работах [2,3].

2. *Модель центрального диполя.* Как обычно, первым шагом моделирования является построение модели центрального диполя. Методом последовательных приближений мы достигаем наилучшего совпадения вычисленной и наблюдаемой фазовой зависимости (по наименьшим квадратам). Полученные параметры приведены в табл.1. Здесь  $\lambda$  - долгота,

$\delta$  - широта монополя,  $B_p$  - величина поля на магнитных полюсах и  $B_s$  - среднее поверхностное магнитное поле:  $B_s = (B_s(\max) + B_s(\min))/2$ . Фазовая зависимость  $B_s(\Phi)$  получается из модели. В результате мы также получили  $\beta = 80^\circ$ , как и в работе [1]. В случае центрального диполя величина  $B_p$  на обоих полюсах одинаковая.

Таблица 1

## ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДИПОЛЯ

Знак монополя	Долгота монополя, $\lambda$	Широта монополя, $\delta$	$B_p$ , Гс	$B_s$ , Гс
-	$0^\circ \pm 2^\circ$	$10^\circ \pm 2^\circ$	$\pm 10980 \pm 1500$	$6593 \pm 750$
+	$180 \pm 2$	$-10 \pm 2$		

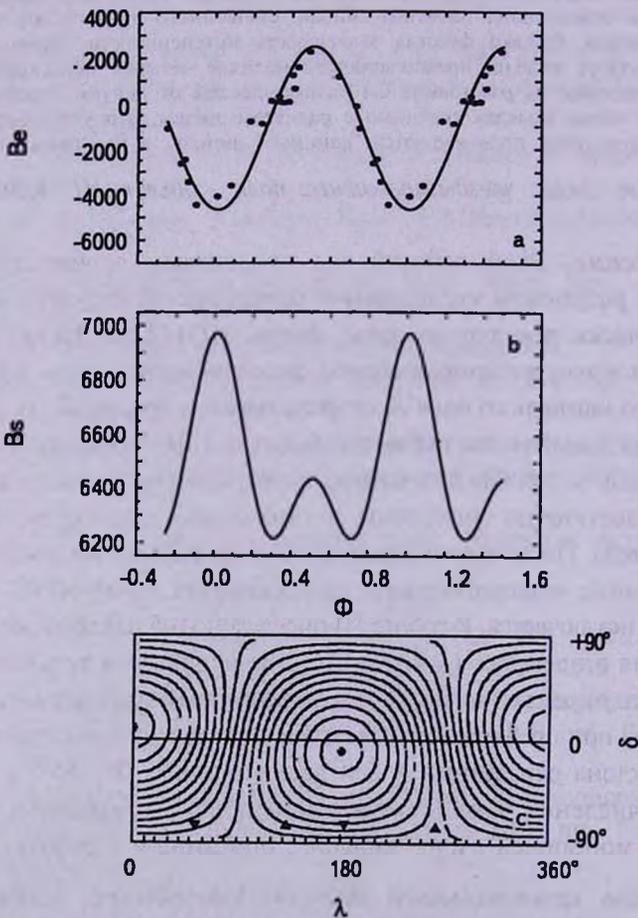


Рис.1 Результаты моделирования магнитного поля HD142301 при предположении центрального диполя. а - точки-наблюдения продольного магнитного поля  $B_s$ , сплошная кривая - модельная зависимость; б - вычисленная из модели фазовая зависимость среднего поверхностного магнитного поля  $B_s$ ; в - распределение магнитного поля по поверхности звезды (подробности в тексте).

На рис.1а показана фазовая зависимость наблюдаемых величин продольного магнитного поля (точки) и вычисленная зависимость (сплошная кривая). На рис.1б приведена вычисленная фазовая зависимость среднего поверхностного магнитного поля  $B_s(\Phi)$ . Поскольку звезда видна под небольшим углом от оси вращения, амплитуда  $B_s$  невелика, около 750 Гс. Распределение магнитного поля по поверхности показано на рис.1с. Характерно, что диполь лежит близко к плоскости экватора вращения. Все ошибки вычисляются при предположении ошибки  $v \sin i$  равной  $\pm 5$  км/с.

3. *Модель смещенного диполя I.* Фазовая зависимость явно не гармоническая, если добиваться наименьшей величины  $\chi^2$ . Расстояние между экстремумами равно  $\Delta\Phi = 0.4$  (и, соответственно 0.6). Это значит, что монополи разделены по долготе не на  $180^\circ$ , как в случае центрального диполя, а с одной стороны меньше. Методом последовательных

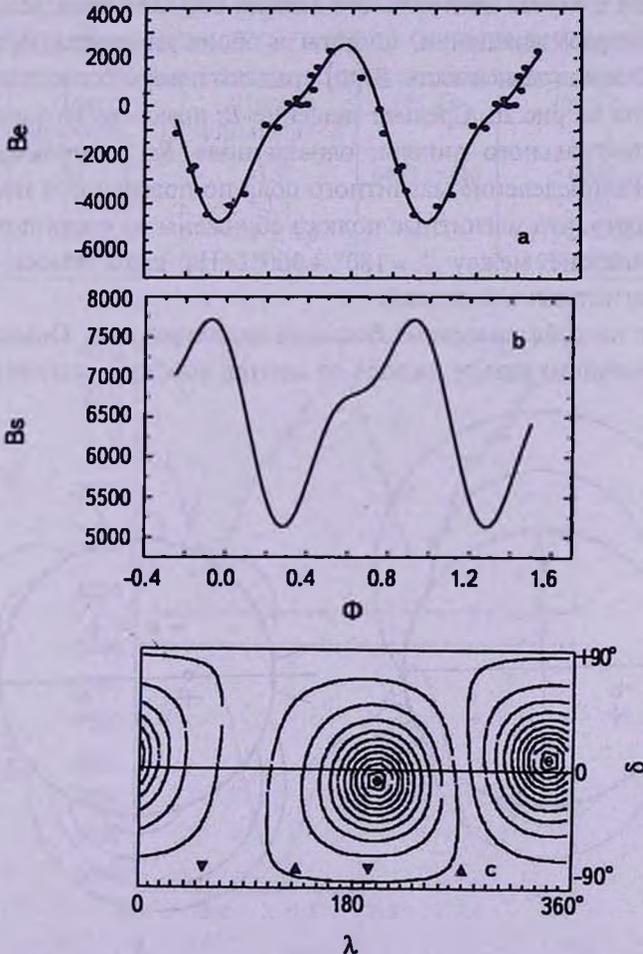


Рис.2 Результаты моделирования магнитного поля HD142301 при предположении смещенного диполя в первом варианте. Обозначения как на рис.1

приближений получен наилучший вариант зависимости  $B_e(\Phi)$ , параметры которого приведены в табл.2, а на рис.2а показаны наблюдаемые и вычисленные фазовые зависимости. Видно, что они хорошо соответствуют друг другу. Как оказалось, это смещенный диполь, причем оба монополя находятся на расстоянии от центра звезды на  $\Delta a = 0.6$  ее радиуса.

Таблица 2

## ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ СМЕЩЕННОГО ДИПОЛЯ

Знак монополя	Долгота монополя, $\lambda$	Широта монополя, $\delta$	$B_s$ , Гс	$B_p$ , Гс	$\Delta a$
-	$340^\circ \pm 2^\circ$	$8^\circ \pm 2^\circ$	$6630 \pm 730$	$\pm 26180 \pm 3600$	$0.55 \pm 0.05$
+	$200 \pm 2$	$-8 \pm 2$			

Так же, как в случае центрального диполя оба монополя лежат вблизи плоскости экватора вращения, широты в обоих вариантах практически одинаковые. Фазовая зависимость  $B_s(\Phi)$  среднего поверхностного магнитного поля приведена на рис.2б. Среднее значение  $B_s$  практически такое же, как в варианте центрального диполя, однако поле  $B_p$  на полюсах сильно различается. Распределение магнитного поля по поверхности показано на рис.2с, где видно, что магнитные полюса сближены на части поверхности звезды в диапазоне между  $\lambda = 180^\circ - 360^\circ$ . На карте также показано положение магнитных монополей.

Обращает на себя внимание большая величина  $\Delta a$ . Оказалось, что только при большом сдвиге диполя от центра хорошо выделяется "горб"

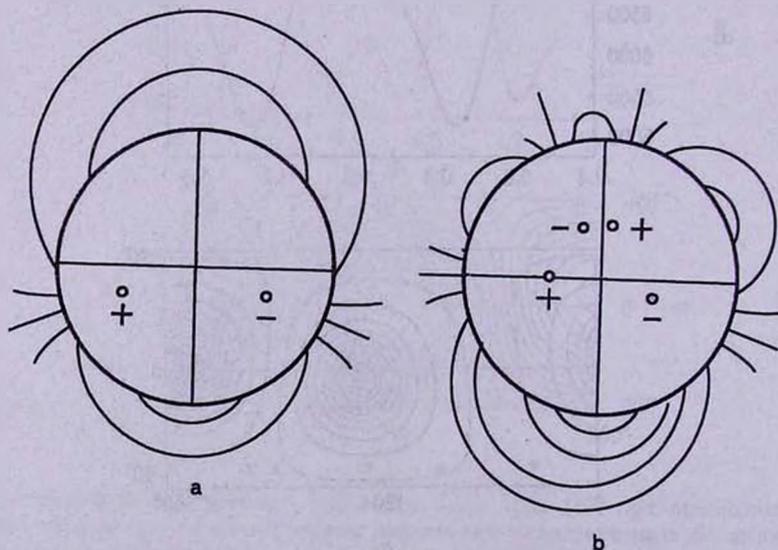


Рис.3 Схемы расположения монополей в первом (а) и во втором (б) варианте моделирования.

на восходящей части фазовой зависимости  $\Phi \sim 0.3$ . На рис.3а показана схема расположения магнитных монополей внутри звезды (вид со стороны полюса вращения). Интересно то, что здесь нет "точечного" диполя, размеры которого должны быть сравнимы с размерами кольцевых токов в звезде. Получается, что мы имеем дело с "длинным диполем", типа магнитного стержня. Такая схема наблюдается и у других звезд, например HD21699, которые мы исследовали раньше [4]. Природа такой структуры поля неясна.

4. *Другой вариант модели смещенного диполя II.* Как оказалось, существует еще один вариант модели, который хорошо соответствует наблюдаемой фазовой зависимости. Это вариант с четырьмя монополями, как в случаях звезд HD32633, HD37776 [5,6]. Параметры

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ С ЧЕТЫРЬМЯ МОНОПОЛЯМИ

Знак монополя	Долгота монополя, $\lambda$	Широта монополя, $\delta$	$B_s$ , Гс	$B_p$ , Гс	$\Delta a$
+	$80^\circ \pm 2^\circ$	$-3.5^\circ$	$6425 \pm 730$	+6000:	0.4:
-	$110 \pm 2$	+3.5:		-5000:	0.4:
+	$180 \pm 2$	$-3.5 \pm 0.5$		+17920 $\pm$ 2500	$0.4 \pm 0.5$
-	$340 \pm 2$	$+3.5 \pm 0.5$		-19370 $\pm$ 2500	$0.4 \pm 0.5$

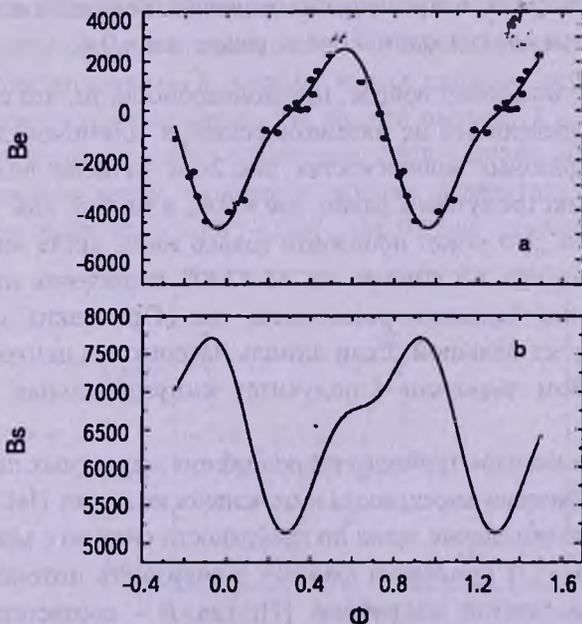


Рис.4 Результаты моделирования магнитного поля HD142301 при предположении смещенного диполя во втором варианте. Обозначения как на рис.1.

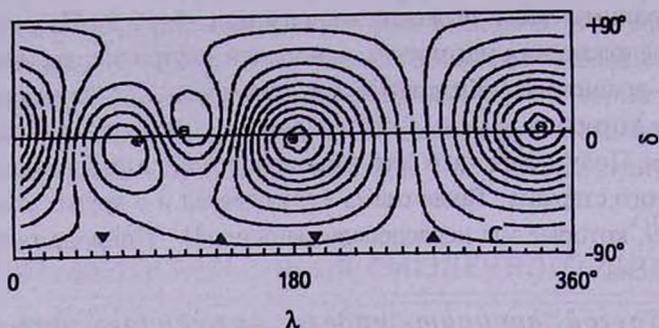


Рис.4 Продолжение.

такой модели приведены в табл.3. Вычисленные зависимости  $Be(\Phi)$  и  $Bs(\Phi)$  приведены на рис.4a,b, схема расположения монополей дана на рис.3b. Видно, что зависимости  $Be(\Phi)$  и  $Bs(\Phi)$  практически одинаковые с предыдущими. Положение монополей на  $\lambda = 180^\circ$  и  $340^\circ$  очень близко к предыдущему варианту, именно они, в основном, определяют форму фазовых зависимостей и распределение напряженности по поверхности (см. рис.2с и 4с). Нельзя считать, что структура мелких деталей вблизи  $\lambda \sim 90^\circ$  на меркаторской карте рис.4с именно такая, но в том, что она сложная, можно будет убедиться далее.

Полученная модель подтверждает расположение магнитных монополей вблизи плоскости экватора вращения. Среднее поверхностное поле получилось таким же, как в предыдущих моделях. Величина смещения монополей от центра звезды одинакова и равна  $\Delta a = 0.4$ .

**5. Заключение.** Возникает вопрос, правдоподобно ли то, что структура магнитного поля определяется не математическим, а "длинным" диполем. На наблюдаемых фазовых зависимостях рис.2а и 4а ясно видно, что расстояние между экстремумами равно  $\Delta\Phi = 0.4$ , а не 0.5, как в случае центрального диполя. Это может произойти только тогда, когда магнитные монополи будут отстоять по долготе на  $\Delta\delta < 180^\circ$  и отстоять от центра звезды на достаточно большом расстоянии  $\Delta a$ . При таких условиях величина  $I$  всегда будет большой. Если диполь находится в центре звезды ( $\Delta a = 0$ ), при любом значении  $I$  получится синусоидальная фазовая зависимость.

Подтверждением несимметричного расположения магнитных полюсов у HD142301 является фазовая зависимость интенсивности линии HeI  $\lambda 4026\text{\AA}$  [7]. Известно, что распределение гелия по поверхности связано с магнитным полем [8]. На рис.5 в [7] приведена фазовая зависимость интенсивности  $I = 1/R$  этой линии, взятой из работы [7], где  $R$  - соответствующий фотометрический параметр. Линии гелия имеют минимальную интенсивность в фазах 0.16 и 0.54, максимальную - в фазах 0.37 и 0.75. На рис.1с, 2с

и 4с эти фазы обозначены стрелками вниз и вверх, соответственно. Видно, что положение стрелок не соответствует симметричному расположению магнитных полюсов на рис. 1а для центрального диполя. В соответствии с расчетами [8] известно, что у звезд He-w на фоне общего ослабления гелия по поверхности в полюсах гелий становится слабее вследствие беспрепятственной диффузии вглубь вдоль силовых линий под действием гравитации, а между полюсами он сильнее вследствие более трудной диффузии вглубь поперек силовых линий.

*Модель центрального диполя* (рис. 1с). Нанесенные стрелки показывают, что на положительном магнитном полюсе, как и ожидается, гелий действительно ослаблен, а на  $\lambda = 270^\circ$  он усилен. Но на  $\lambda 58^\circ$  и  $133^\circ$  минимум и максимум гелия попадают в область между магнитными полюсами, где не должно быть минимума. Минимум отсутствует на  $\lambda = 335^\circ$  в области отрицательного полюса. Очевидно, что симметричная структура поля не соответствует ожидаемому поведению гелия.

*Модель смещенного диполя I* (рис. 2с). В этом варианте гелий тоже ослаблен в положительном полюсе и усилен на магнитном экваторе. Однако экстремумы  $\lambda 58^\circ$  и  $133^\circ$  гелия тоже не укладываются в предполагаемую схему.

*Модель смещенного диполя II* (рис. 4с). На положительном полюсе и между полюсами гелий ведет себя так же, как в предыдущих случаях. На  $\lambda = 133^\circ$  гелий сильнее в области горизонтальных силовых линий, как и ожидается. На  $\lambda = 58^\circ$  минимальная сила линий He не совпадает с максимумом отрицательного поля. Это тоже трудность в данной модели. Но в этом диапазоне  $\lambda$  хорошо видна сложная структура магнитного поля. Теоретически минимум He должен быть на  $\lambda = 335^\circ$ , где находится максимум отрицательного магнитного поля. Однако можно предположить, что минимум гелия смещается вправо вследствие влияния сложной структуры поля на  $\lambda = 40^\circ - 130^\circ$ , где близко расположены максимумы

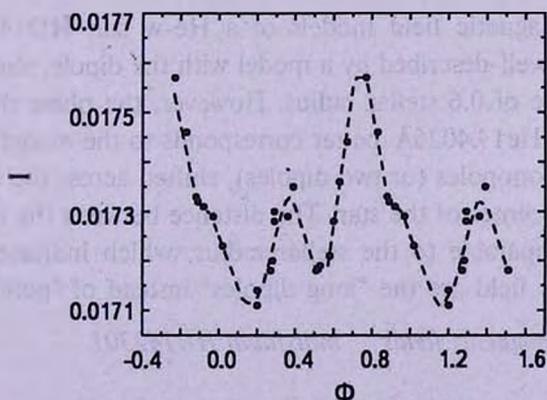


Рис. 5 Изменение интенсивности  $I$  линии He I 4026A с фазой периода вращения.

магнитного поля и где гелий тоже должен быть ослаблен. По-видимому, ослабление гелия происходит по всей области  $\lambda = 335^\circ - 130^\circ$ . По форме зависимости  $I(\Phi)$  на рис.5 тоже видно, что характер распределения гелия на фазах 0 - 0.5 и 0.5 - 1 различен. В случае центрального диполя правая и левая части относительно  $\Phi = 0.5$  должны быть одинаковыми.

Очевидно, что модель II смещенного диполя более правильная, потому что она указывает на наличие сложной структуры поля вблизи области  $\lambda = 40^\circ - 130^\circ$ , объясняющей характер переменности линии гелия. Для более определенных выводов необходимы дополнительные измерения магнитного поля и использование методики точного решения обратной задачи.

Пример звезды HD142301 показывает, что встречаются звезды с сильными локальными нарушениями структуры магнитного поля. Такая информация исключительно интересна с точки зрения происхождения и эволюции магнитных полей CP-звезд. Интересен также вопрос, что обсуждаемые деформации магнитного поля произошли в начальные моменты рождения магнитной звезды или они возникли в процессе более поздней эволюции, скажем при выпадении на звезду больших аккрецирующих масс.

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

## THE COMPLEX STRUCTURE OF MAGNETIC FIELD OF STAR HD 142301

Yu.V.GLAGOLEVSKIJ

We constructed magnetic field models of a He-w star HD142301. The observational data are well-described by a model with the dipole, shifted across the axis by the distance of 0.6 stellar radius. However, the phase dependence of the intensity of line HeI  $\lambda 4026\text{\AA}$  better corresponds to the model supposing the presence of four monopoles (or two dipoles), shifted across the axis by 0.4 stellar radius from the center of the star. The distance between the monopoles in both models is comparable to the stellar radius, which indicates that the source of the magnetic field are the "long dipoles" instead of "point dipoles".

Key words: *stars:magnetic fields - individual:HD142301*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *J.D.Landstreet, E.F.Borra, G.Fontaine*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 188, 609, 1979.
2. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij*, in Magnetic fields of chemically peculiar and related stars, ed. Yu.V.Glagolevskij, I.I.Romanyuk, Moscow, 2000, p.151.
3. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij*, in Magnetic stars, ed. Yu.V.Glagolevskij, D.O.Kudryavtsev, I.I.Romanyuk, Nizhnij Arkhyz, 2004, p.152.
4. *Ю.В.Глаголевский, Г.А.Чунтонов*, Астрофизика, 50, 441, 2007.
5. *Ю.В.Глаголевский, Е.Герт*, Бюлл. САО, 63, 200, 2008.
6. *Yu.V.Glagolevskij, E.Gerth*, in Magnetic fields across the HR diagram, ed. G.Mathys, S.K.Solanski, D.T.Wickramasinghe, ASP Conf., Ser. V, 2001, p.158.
7. *H.Pedersen, B.Thomsen*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 30, 11, 1977.
8. *G.Michaud*, Astrophys. J., 160, 641, 1970.