

# Сложная структура магнитного поля звезды HD45583

Ю.В. Глаголевский<sup>1</sup>, Е. Герт<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Россия, e-mail: [glagol@sao.ru](mailto:glagol@sao.ru)

<sup>2</sup>D-14471, Potsdam, Gontardstr 130, Germany, e-mail: [ewald-gerth@t-online.de](mailto:ewald-gerth@t-online.de)

## Абстракт

Получены предварительные данные о структуре магнитного поля уникальной магнитной звезды HD45583. Наблюдательные данные хорошо описываются конфигурацией из двух магнитных диполей, расположенных на противоположных сторонах относительно центра звезды, причем оси диполей направлены приблизительно в радиальном направлении. Положительные монополи оказываются ближе к поверхности, а отрицательные – ближе к центру звезды. По этой причине на поверхности звезды оказываются два положительных магнитных полюса и отсутствуют отрицательные полюса. Высказывается необходимость дополнительных наблюдений этого уникального объекта.

## The complicated structure of the magnetic field of the star HD45583

Yu.V. Glagolevskij, E. Gerth

### Abstract

Preliminary data are obtained on the structure of the magnetic field of the unique magnetic star HD45583. The observational data are well described by a configuration of two magnetic dipoles located on opposite sides with respect to the center of the star, whereby the axes of the dipoles are directed approximately in radial direction. The positive monopoles appear closer to the surface, whereas the negative ones are positioned closer to the center of the star. For this reason, there are two positive magnetic poles but no negative poles on the star's surface. The necessity of additional supervision of this unique object is emphasized.

**Key words:** stars: magnetic fields – individual: HD45583

### Введение

В течение выполнения программы поиска новых магнитных звезд на 6-м телескопе была обнаружена звезда HD45583 [1], имеющая сложную, уникальную, магнитную конфигурацию. Продольное поле этой звезды меняется несинусоидально в пределах от  $-2000$  до  $+4000$  гаусс. Предварительное исследование магнитного поля [1] с помощью программы FLDCURV, разработанной Ландстритом, показало, что фазовая кривая магнитного поля хорошо описывается структурой, представляющей собой комбинацию нецентрального диполя и октуполя, коаксиального с диполем. Среднее поверхностное поле при этом предсказывается изменяющимся в пределах  $20 - 30$  килогаусс. Вследствие оригинальной структуры поля, несмотря на недостаток наблюдательных данных, было решено углубить исследование этой звезды с использованием метода «магнитных зарядов» [ 8 ].

## Физические параметры

В соответствии с данными [2] звезда HD45583 Si- типа пекулярности имеет эффективную температуру  $T_e = 12900$  К и абсолютную болометрическую величину  $M_b = 1.3$ . Отсюда радиус звезды в солнечных единицах равен  $R = 3.2R_\odot$ . В работе [3] приводится скорость вращения звезды  $v \sin i = 70$  km/s. Период вращения звезды  $P = 1^d.177177$  и начальная фаза JD2453272.490 были определены в работе [4] Однако затем Семенко [ 5 ] уточнил период  $P = 1^d.177000$ . Учитывая известную формулу  $v = 50.6 P/R$  с помощью  $v \sin i$  получаем угол наклона звезды к лучу зрения  $i = 39^\circ \pm 5^\circ$ , необходимый для моделирования магнитного поля. Наиболее вероятная ошибка угла  $i$  оценена с учетом ошибок вышеперечисленных параметров.

Измеренные значения эффективного магнитного поля  $B_e$  взяты из работ [1,2]. Они отложены точками на Рис.1. Хорошо видно, что форма фазовой зависимости несинусоидальная. Наиболее часто встречаются следующие конфигурации магнитного поля: поле центрального диполя, поле смещенного диполя, более сложные конфигурации (например HD32633 [ 6 ], HD137909 [ 7 ]). Рассмотрим последовательно применимость к HD45583 всех трех моделей.

### Модель центрального диполя

Форма вычисленной фазовой зависимости при предположении центрального диполя сильно отличается от наблюдаемой, поэтому мы выбрали амплитуду модельной фазовой зависимости приблизительно, на глаз. Координаты магнитных зарядов по долготе  $\lambda$  и широте  $\delta$ , а также величина поля в магнитных полюсах  $B_p$  на поверхности звезды указаны в таблице 1. В вычислениях использовался угол  $i = 39^\circ$ , как было найдено в предыдущем параграфе.

Таблица 1

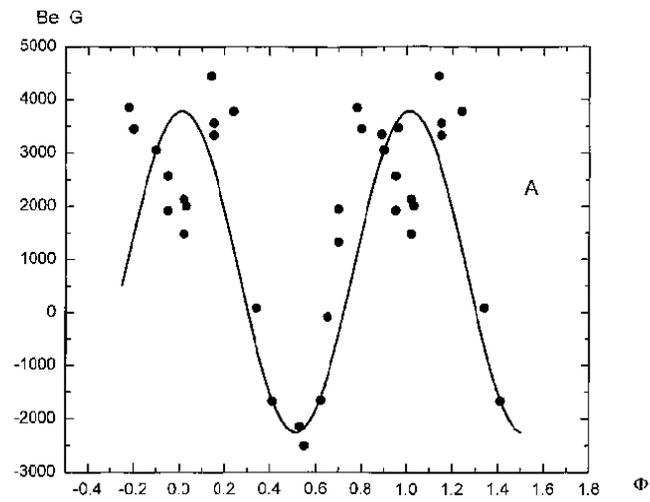
Параметры модели центрального диполя

| Знак заряда | Долгота, $\lambda$ | Широта, $\delta$ | $B_p$ , гаусс |
|-------------|--------------------|------------------|---------------|
| +           | $0^\circ$          | $+5^\circ$       | 16200         |
| -           | 180                | -5               | 16000         |

На Рис.1А вычисленная фазовая зависимость проведена сплошной линией. Хорошо видно, что она совершенно не удовлетворяет наблюдательным данным. В области положительной полуволны наблюдаемые значения образуют широкий максимум, в центре которого намечается падение поля от 4000 гаусс до 2000 гаусс. Модельная фазовая зависимость приводит в этой области к узкому максимуму.

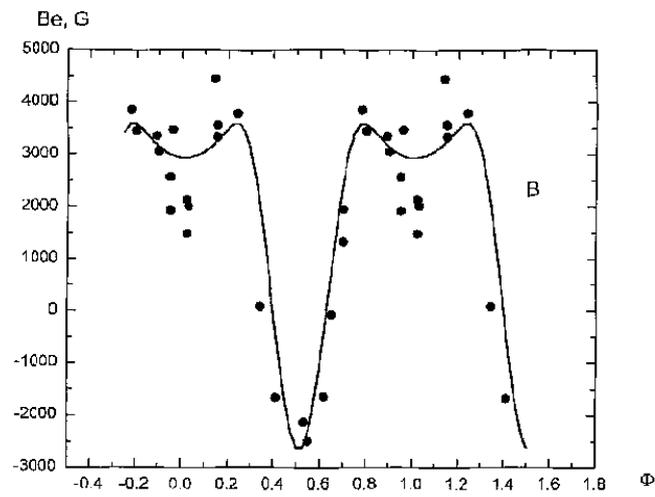
### Модель смещенного диполя

Следующий шаг – попытка построить модель смещенного диполя. Как оказалось, наилучший результат получается в том случае, когда смещение диполя происходит в сторону отрицательного заряда на величину 0.6 радиуса звезды. Другие параметры предствлены в Табл.2. Вычисленная фазовая зависимость в таком варианте показана на Рис.1В, на котором видно, что в первом приближении полученная фазовая зависимость похожа на наблюдаемую. Однако вблизи широкого максимума она представляется плохо. Достаточно глубокого минимума на фазе 0.0 в такой модели достичь невозможно. Кроме того часть зависимости вблизи фазы 0.5 из модели получается более узкой чем наблюдаемая. С целью получения лучшего результата мы попытались усложнить модель добавив еще один диполь.



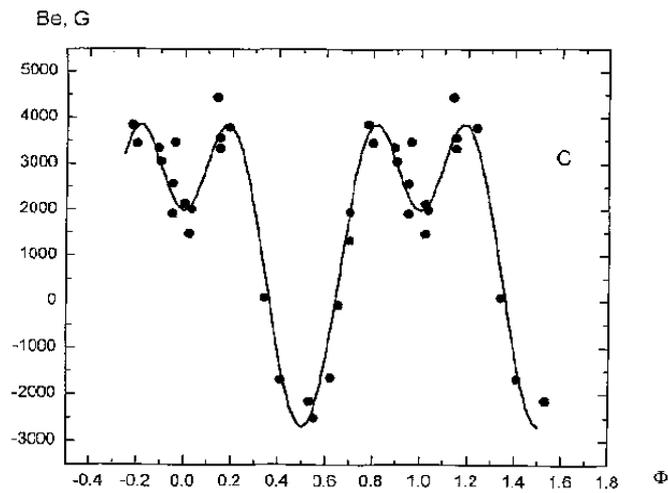
HD45583

Fig.1A



HD45583

Fig.1B



HD45583

Fig.1C

Рис.1 Сравнение наблюдательных данных (кружки) с модельными (сплошная линия)  
 А- модель центрального диполя;  
 В- модель смещенного диполя;  
 С- двухдипольная моделью

Таблица 2

Параметры модели смещенного диполя

| Знак заряда | Долгота, $\lambda$ | Широта, $\delta$ | $B_p$ , гаусс |
|-------------|--------------------|------------------|---------------|
| +           | $0^\circ$          | $-7^\circ$       | 9400          |
| -           | 180                | 9                | -314000       |

### Двухдипольная модель

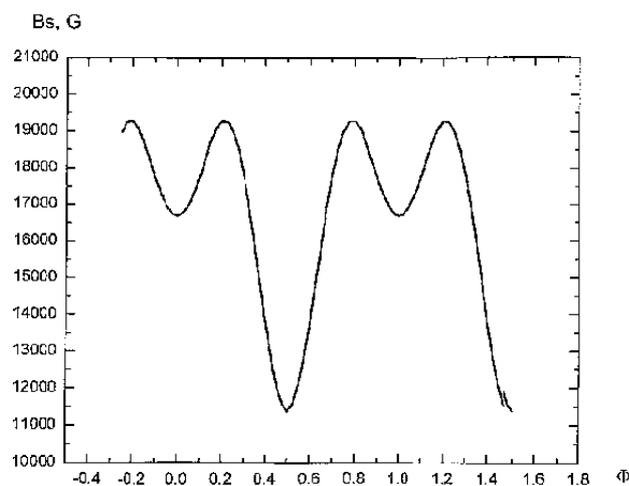
Методом последовательных приближений такая модель для звезды HD45583 была построена. Параметры наилучшего варианта приведены в Табл.3.

Таблица 3

Параметры двухдипольной модели

| Знак монополя | Долгота, $\lambda$      | Широта, $\delta$       | $B_p$ , гаусс      |
|---------------|-------------------------|------------------------|--------------------|
| +             | $283^\circ \pm 1^\circ$ | $21^\circ \pm 3^\circ$ | $158000 \pm 20000$ |
| -             | $283 \pm 1$             | $-7 \pm 1$             | -                  |
| +             | $68 \pm 1$              | $21 \pm 3$             | $158000 \pm 20000$ |
| -             | $68 \pm 1$              | $-7 \pm 1$             | -                  |

Угол наклона звезды  $i = 39^\circ$ , расстояние обоих диполей от центра получилось равным  $\Delta a = 0.6 \pm 0.1$  радиуса звезды. Сравнение вычисленной фазовой зависимости с наблюдениями приведено на Рис.1С. Фазовая зависимость среднего поверхностного магнитного поля  $B_s$ , вычисленная из полученной модели, приведена на Рис.2. Среднее поверхностное магнитное поле  $B_s$  меняется от 11400 до 19300 гаусс, однако вследствие близости положительного монополя к поверхности напряженность  $B_p$  - очень большая. Магнитные монополи располагаются на расстоянии 0.8 и 0.4 радиуса звезды, т.е. в случае HD45583 структура магнитного поля подобна полю стержневого магнита. Как видно из табл.3 величина  $B_p$  чрезвычайно большая, но поскольку площадь поверхности с такой высокой напряженностью невелика, интенсивность сильно расщепленной части спектральной линии, накладывающейся на основную, должна быть также небольшой. Шаг вычислений по  $\lambda$  и  $\delta$  был выбран равным  $1^\circ$ , потому что отклонение даже на один градус от выбранной величины заметно ухудшает значение  $\chi^2/n$ . По амплитуде шаг моделирования был выбран по той же причине равным 100 гаусс.



HD45553

Fig.2

Рис.2 Вычисленная из двухдипольной модели фазовая зависимость  $B_s - \Phi$ .

На величину  $B_p$  и другие параметры сильнее всего влияет ошибка угла  $i$ . Для выяснения того, как велико влияние этой ошибки были построены модели с углами  $i$  измененными от выбранного значения на величину ошибки, т.е. на  $\pm 5^\circ$ . В таблице 3 указаны пределы изменения параметров при таких расчетах. Как видно они относительно невелики.

Хорошо видно, что данная модель лучше других соответствует наблюдательным данным. На Рис.3 приведена меркаторская карта распределения магнитного поля по поверхности звезды.

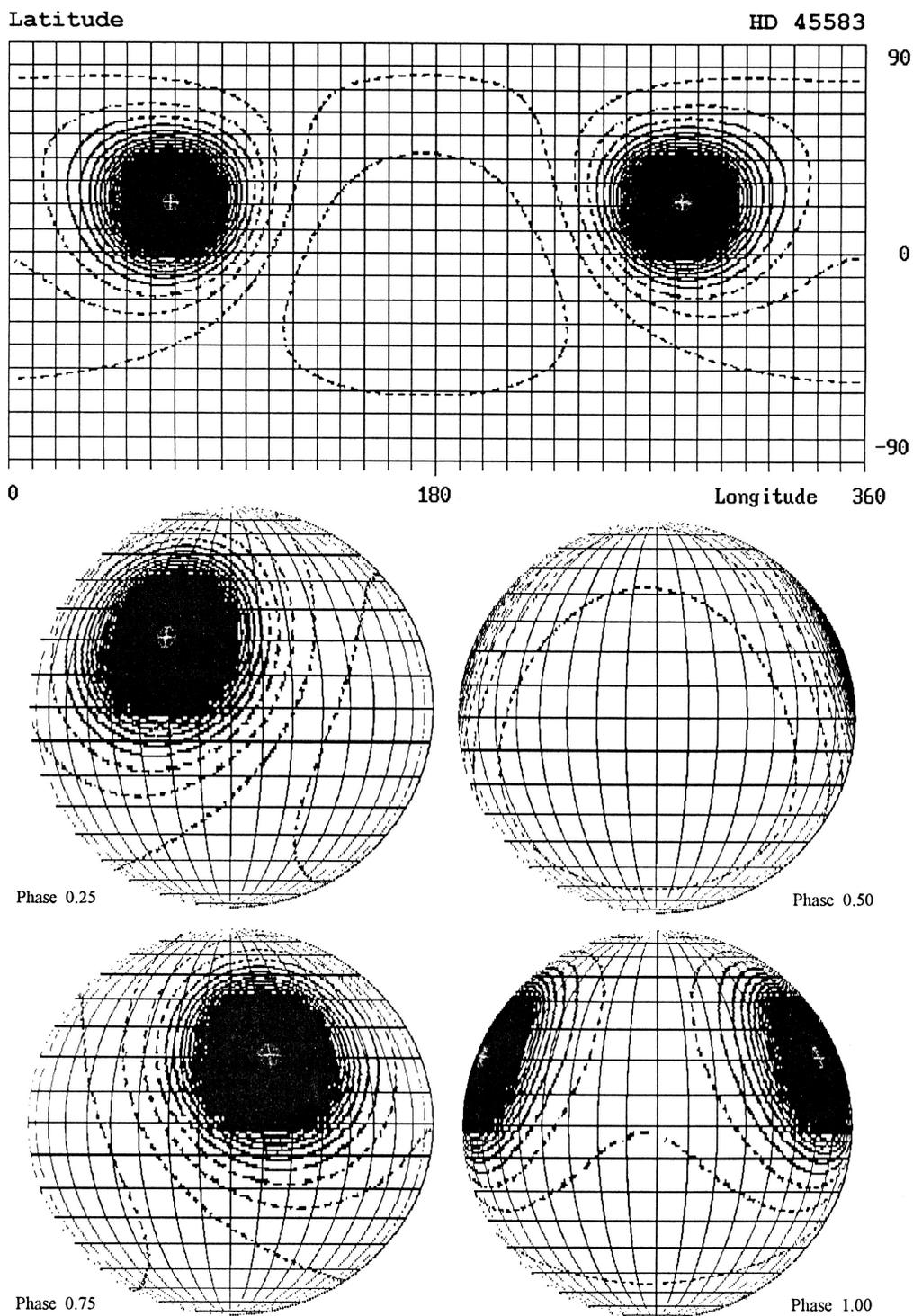


Рис.3 Распределение напряженности магнитного поля по поверхности при двухдипольной модели.

## Обсуждение результатов

Несмотря на приближенность полученной модели (вследствие недостаточного количества наблюдательных данных) можно сделать некоторые интересные замечания. Наша задача состояла не в том, чтобы получить надежные параметры магнитного поля, а получить наиболее вероятную структуру магнитного поля, исходя из имеющихся данных. Вторая задача состоит в том, чтобы заинтересовать наблюдателей в продолжении наблюдений этого интересного объекта.

Наблюдательная задача в будущем заключается также в том, чтобы найти сильно расщепленную компоненту на зеемановском спектре с высоким отношением сигнал/шум в фазе 0. Вследствие недостаточного количества измерений поля в разных фазах нельзя гарантировать, что величина поля  $B_p$  именно такой величины но несомненно, что она сравнительно большая.

Самое примечательное заключается в том, что это единственная звезда из всех известных, у которой отсутствуют магнитные полюса отрицательного знака. Этот уникальный результат указывает на необходимость дополнительных наблюдений для уточнения фазовой зависимости и модели этой интереснейшей звезды, особенно в фазах 0.2 – 0.5, где наблюдается недостаток данных наблюдений.

С помощью нашей методики моделирования, кроме HD45583, было найдено ранее еще две звезды, у которых предполагается двухдипольная структура магнитного поля, это HD32633 [6] и HD137909 [7]. Интересно, что несмотря на совершенно разный вид фазовых зависимостей у всех трех звезд, модели оказываются двухдипольными, причем монополи расположены вблизи плоскости экватора. Ориентация диполей внутри звезд совершенно разная. Несомненно эти свойства как то связаны с происхождением и эволюцией магнитных звезд. Эти свойства не удастся объяснить с точки зрения полоидально–тороидальной модели, рассматриваемой в работе [9].

## Литература

1. Kudryavtsev D.O., Romanyuk I.I., in Physics of Magnetic Stars, ed. D.O. Kudryavtsev, I.I. Romanyuk, Nizhnij Arkhyz, 2007, p.81
1. Glagolevskij Yu.V., Bull. Spec. Astrophys.Obs.**53**, 33, 2002.
1. Levato H., Astron.J., **79**, 890, 1974.
1. North P., Astron. and Astrophys. Suppl.Ser. **69**, 371, 1987.
1. Семенко Е. Астрофиз. Бюлл. (в печати)
1. Glagolevskij Yu.V., Gerth E., Bull.SAO, 2008 (in press).
1. Glagolevskij Yu.V., Gerth E., in Magnetic stars, ed Glagolevskij Yu.V., Kudryavtsev D.O., RomanyukI.I., Nizhnij Arkhyz, 2004, p.142.
1. Gerth E., Glagolevskij Yu.V. Bull. Spec. Astrophys.Obs., **56**, 25, 2003.
1. Braithwaite J., Spruit H.C., Astron. and Astrophys., **453**, 1097, 2006.