

СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЗВЕЗДЫ HD133880 (Si)

Ю.В.ГЛАГОЛЕВСКИЙ

Поступила 25 сентября 2023

Принята к печати 28 ноября 2023

Проведено моделирование магнитного поля звезды HD133880 при предположении структуры магнитного поля описываемого двумя теоретическими магнитными диполями. Сравнение результата с тем, что получалось ранее при использовании представления фазовой зависимости $Be(\Phi)$ путем дипольно + квадрупольно + октупольного расширения структуры показывает, что эта схема приводит только к формальному описанию фазовой зависимости, а члены разложения не несут физического смысла.

Ключевые слова: *магнитное поле: моделирование: звезда HD133880*

1. *Введение.* По мере получения новых, более точных данных для магнитных звезд, стало возможным пересмотреть, уточнить их параметры и свойства. Иногда новые данные приводят к результатам, совершенно противоположным более ранним. Наша задача в данном случае - пересмотреть модель магнитного поля HD133880 в связи с появлением новых, более точных измерений продольных величин Be магнитного поля в разных фазах Φ периода вращения.

2. *Первое исследование магнитной структуры звезды HD133880.* Исследование выполнено в работе [1], где получено 12 измерений продольного магнитного поля Be в разных фазах, сделанных с Н β анализатором Зеемана со средней ошибкой $\sigma = 165$ Гс. HD133880 это Si-звезда с температурой 12000 К. Автор отмечает несинусоидальную форму фазовой зависимости, вследствие чего приходит к предположению о не дипольной структуре магнитного поля. Объясняя такую форму фазовой зависимости, он предполагает, что любое произвольное статическое, безвихревое распределение магнитного поля можно представить как суперпозицию мультиполей, и таким образом определить крупномасштабную структуру поля в терминах диполя, квадруполь и октуполя. При такой модели оценивается напряженность полярного поля (B_d , B_q , B_{oct}) каждого мультиполя. В результате получена модель звезды HD133880, воспроизводящая наблюдаемую магнитную кривую, при предположении системы коллинеарных "диполь + квадруполь". Особенность модели

состоит в том, что она математически описывает форму фазовой зависимости $Be(\Phi)$ и может дать предварительное представление о поверхностном распределении магнитного поля, но не имеет физического смысла и не указывает на источник магнитного поля. Точно так же в случае модели центрального диполя фазовую зависимость математически можно описать синусоидой. На основании полученных величин $Bd = -8125$ Гс, $Bq = -10900$ Гс (реально таких величин ни внутри, ни на поверхности звезды нет) автор приходит к выводу, что квадрупольный компонент поля в 1.3 раза сильнее, чем дипольный компонент, морфология поля отличается от морфологии простой дипольной конфигурации и локальная напряженность поля может быть значительно больше, чем наблюдаемое эффективное поле. Разные авторы в дальнейшем чаще всего использовали дипольно + квадрупольную или дипольно-квадрупольно-октупольную модель. Параметры (Bd , Bq , $Boct$) имеют размерность магнитного поля, но не имеют физического смысла (как увидим далее), потому что ни внутри объема звезд, ни на поверхности таких величин поля нет. На основе этого результата было решено, что преобладающее распределение магнитного поля по поверхности звезды является квадрупольным, поэтому вариации среднего поверхностного поля B_s не являются синусоидальными (в разд. 4, 5 приводится критика этого результата). В тот же самый период времени осуществляется моделирование структур магнитных полей звезд при предположении, что по своей природе она соответствует структуре магнитного диполя [2,3]. Имеет смысл вспомнить замечание Паркера, что вышедшее за пределы звезды магнитное поле стремится перейти в самое низкое энергетическое состояние, принимая замкнутую форму диполя [4]. Данная методика дала много примеров звезд, у которых внутри их объема находятся один или несколько фрагментов, имеющих разное направление магнитного поля и создающих сложное суммарное распределение магнитного поля на поверхности. Таким путем, в отличие от (Bd , Bq , $Boct$) представления, можно получить такие основные параметры, как среднее поверхностное магнитное поле B_s , величину магнитного поля в магнитных полюсах B_p , наклон оси (или осей) диполя к плоскости экватора вращения α , а также сферические координаты λ и δ магнитных монополей, расстояние диполя от центра звезды ΔA и расстояние каждого монополя от центра Δa .

3. *Последующие исследования звезды HD133880.* Моделирование выполнено в работе [5]. Здесь измерения круговой поляризации были выполнены с помощью метода многолинейчатого анализа LSD [6]. Этот процесс позволяет рассчитать (промоделировать) усредненные Стокс I и V-профили с гораздо более высокими значениями S/N, чем при использовании отдельных линий. LSD метод объединяет информацию по существу от всех

металлических и He-линий в спектре. Структура магнитного поля на поверхности в этой работе снова описывалась мультипольным разложением наблюдаемых изменений продольного B_e и поверхностного B_s полей с фазой вращения (как в [1]). Построение геометрии магнитного поля выполнялось по программе [7]. Фазовая зависимость среднего поверхностного поля $B_s(\Phi)$ получена на основании измерений в 6-ти фазах, причем величины B_s были оценены по магнитному уширению спектральных линий. Средняя величина среднего поверхностного магнитного поля оказалась $B_s = 15$ кГс. Заметим, что наша модельная оценка оказалась равной $B_s = 5.3$ кГс в работе [8] и $B_s = 4020$ Гс (в разд. 6). Фазовая зависимость $B_s(\Phi)$ в модели [5] изменяется в пределах 10000 - 20000 Гс, в то время как наш модельный результат $B_p = -9037 \div +4950$ Гс (см. далее разд. 6). Оценка величин B_d , B_q и B_{oct} осуществляется итеративным способом. В результате оказалось, что $B_d = -9600$ Гс, $B_q = 23200$ Гс, $B_{oct} = 1900$ Гс. Напомним, что мультипольная модель имеет только описательный характер, причем величины B_d , B_q , B_{oct} практически не имеют физического смысла, хотя имеют размерность магнитного поля. Таких величин магнитного поля нет ни в объеме звезды, ни на поверхности. Рассмотрев величины B_d , B_q , B_{oct} , авторы пришли к выводу, что полученная простая осесимметричная модель магнитного поля определяется преимущественно квадрупольной компонентой, которая в первом приближении описывает вариации магнитного поля. Этот вывод подтверждает такой же результат в работе [1] (в разд. 4, 5 приводится критика этого результата). Забегая вперед, отмечаем, что модели [8,9] звезды HD133880 показывают, что общая топология крупномасштабного поля лучше описывается асимметричным диполем, а не осесимметричным квадруполем. В результате в работе [9] был сделан вывод: преимущественно квадрупольные топологии магнитного поля, которые утверждались ранее, не существуют в реальных звездах. Далее мы покажем также, что моделирование в [9] привело к другим параметрам, по сравнению с [5], а именно, максимальное локальное поле $B_p = 12000$ Гс на отрицательном полюсе, среднее поле $B_s = 4400$ Гс, что в 3 раза слабее, чем в случае квадрупольной модели [5]. Таким образом появились данные, которые не поддерживают (D+Q+O) методику моделирования магнитных полей Ap-звезд (см. разд. 4, 5).

4. *Наше первое моделирование звезды HD133880.* Работа [8] выполнена на основании 12 измерений, выполненных по линиям водорода в работе [1]. Модель строилась с помощью нашей стандартной методики, разработанной в [2,3] и предполагающей, что источником магнитного поля внутри звезды является магнитный диполь. Таким образом, (D+Q+O) модели магнитного поля коренным образом отличаются от нашего дипольного

представления внутренней структуры. В отличие от формального математического описания фазовой зависимости $Be(\Phi)$ в случае (D+Q+O)-модели, наша "дипольная" модель основывается на использовании конкретного внутреннего источника магнитного поля с его определенными физическими параметрами [10-12]. Предположение, что структура магнитного поля Ар-звезд соответствует структуре теоретического магнитного диполя поддерживалось многими исследователями в течение всего времени изучения магнитных Ар-звезд. Варьируя положение, ориентацию диполя внутри объема звезды, величину поля магнитных зарядов, можно получить среднюю искомую зависимость $Be(\Phi)$ или $Bs(\Phi)$ в разных фазах периода вращения звезды. К сожалению, в данной работе использовано только 12 измерений, выполненных по линиям водорода в работе [1]. Столь малое количество измерений не позволяет получить достаточно уверенную модель, поэтому можно принять результат моделирования только как первое приближение. В нашем случае магнитное поле звезды хорошо аппроксимируется смещением центра диполя на величину $\Delta A = -0.1 R_*$ вдоль оси (и слегка поперек) в сторону отрицательного монополя. Расстояние между монополями принято стандартным $\Delta A = 0.2 R_*$ (это средняя величина, которая реально наблюдается у магнитных звезд). Ось диполя наклонена на угол $\alpha = 16^\circ$ к плоскости экватора вращения. Величина среднего поверхностного магнитного поля получилась $Bs = 5301$ Гс, поле на магнитных полюсах $Bp = -16150, +4203$ Гс. Средняя ошибка измерений Be составляет $\sigma = \pm 165$ Гс, при этом различие наблюдаемых величин Be с модельными находится в пределах 3σ . Сразу отмечаем, что наша величина Bs отличается от результата [5] более чем в 3 раза, как и в работе [9]. Это существенный признак не реальности дипольно-квадрупольной модели. Кроме того, в отличие от величин $Bd, Bq, Bost$, магнитное поле на магнитных полюсах Bp в случае дипольной структуры реально существует. Таким образом, предположив наличие в звезде одного магнитного диполя, мы получаем полную картину свойств магнитного поля, в отличие от ранее предполагавшейся дипольно-квадрупольной схемы [1,5]. Дипольная магнитная структура внутри звезды полностью определяет поверхностное распределение магнитного поля (рисунки см. в [8]). Опыт наших многолетних исследований показывает, что общая конфигурация магнитного поля Ар-звезд обычно определяется одним или несколькими намагниченными фрагментами внутри объема звезды, структура каждого из которых близка к структуре теоретического магнитного диполя. Эти фрагменты могут быть расположены в любом месте объема звезды, но чаще вблизи центра, где больше плотность, что естественно. Разные варианты происходят в результате разных условий в начальных фазах формирования магнитных протозвезд [8].

5. *Моделирование звезды HD133880 в работе [9].* Исследование выполнено на основании новых измерений магнитного поля, сделанных этими авторами. Оказалось, что фазовые зависимости $Be(\Phi)$ в работах [1,9] существенно различаются по форме, что может быть обусловлено не только значительно меньшей точностью измерений в первом случае, но также тем, что магнитное поле измерялось по линиям водорода, тогда как в [9] это было сделано по линиям металлов. Новые спектры получены с HARPSpol поляриметром [13,14] и спектрометром HARPS на ESO 3.6-м телескопе, позволяющие получать четыре параметра Стокса в отдельных спектральных линиях с разрешением 110000. В результате средние продольные величины магнитного поля Be имеют очень малую среднюю ошибку $\sigma = \pm 60$ Гс ($\sigma = 165$ Гс в первом случае), поэтому в данном исследовании оказалось возможным использовать несравнимо более надежную фазовую зависимость $Be(\Phi)$ по 45 измерениям (рис.1), чем это было сделано в предыдущих работах. В статье [9] магнитное поле Be и распределение химических элементов по поверхности оценивалось путем моделирования спектральных линий Si, Cr и Fe по методу, описанному в [15]. В то же время заметим, что магнитное поле, измеренное по линиям водорода, имеет преимущество в том, что оно не зависит от распределения химических элементов по поверхности. Второй метод, несомненно, имеет такой недостаток. В работах [1,5] утверждалось, что звезда обладает необычным, преимущественно квадрупольным, очень сильным поверхностным магнитным полем. В противоположность такому результату, в работе [9] у HD133880 на основании непосредственного измерения магнитного поля в разных фазах периода вращения обнаружена гораздо более слабая его величина, а структура

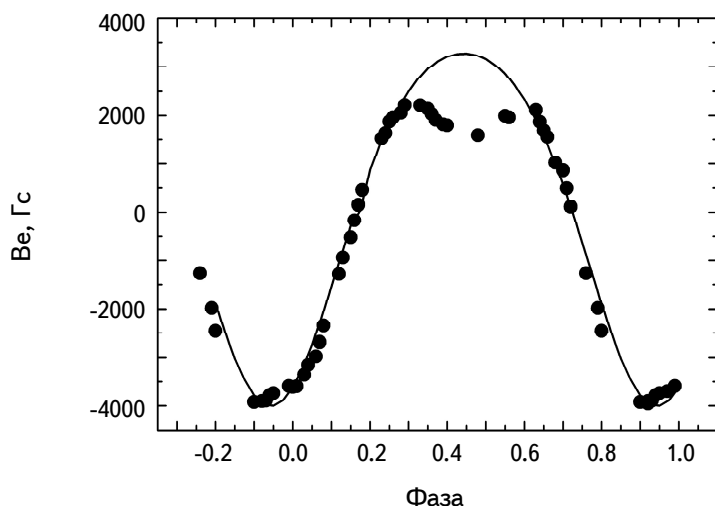


Рис.1. Фазовая зависимость $Be(\Phi)$ звезды HD133880. Точки - измеренные данные, линия - модель.

в первом приближении напоминает смещенный магнитный диполь, а не квадруполь (такой же результат получен в нашей работе [8]). В результате авторы работы [9] постепенно приходят к "дипольной" схеме, которую мы используем с 1977г. [2]. Но топология поля HD133880, к сожалению, снова описывается выстроенными в одну линию диполем и квадруполем (как и в предыдущих работах). Напоминаем, что наш результат, описанный в разд. 4, и основанный на предположении в звезде одного магнитного диполя, позволил получить полную картину свойств магнитного поля, в отличие от дипольно-квадрупольной схемы.

Авторы работы [9] приходят к выводу, что интерпретация профилей Стокса V указывает на наличие асимметричной геометрии магнитного поля HD133880 на поверхности, где наблюдается большая область слабого положительного поля и небольшая зона сильного отрицательного поля (см. далее рис.4). Зона с отрицательным полем, в свою очередь, состоит из двух отдельных высококонтрастных магнитных особенностей с несколько различной ориентацией поля (далее будет показано, что наша дипольная модель (разд. 6) демонстрирует наличие одного сильного магнитного пятна в том же месте поверхности). Другой результат состоит в том, что получено максимальное локальное магнитное поле $B_p = -12000$ Гс на отрицательном полюсе, среднее поле $B_s = 4440$ Гс, что в 3 раза слабее, чем в случае квадрупольной модели предыдущих исследований. Новые результаты показывают также, что общая топология крупномасштабного поля лучше описывается искаженным, асимметричным диполем, а не осесимметричным квадруполем (как и в разд. 4). Полученные карты распределения магнитного поля по поверхности HD133880 заметно отличаются от тех, которые получаются при предположении квадрупольной модели, при этом дипольный компонент доминирует в топологии звездного поля, внося 65-70% от общей энергии магнитного поля. Напомним, что квадрупольные модели дают дипольный компонент в 2.6-3.5 раза меньший вклад в общую магнитную энергию. Итак, предложенные ранее модели топологии квадрупольного поля HD133880 не согласуются с результатами моделирования наблюдаемых профилей поляризации металлических линий в работе [9] (а также с результатом в разд. 4). На основании исследования звезды HD133880 авторы работы [9] делают фундаментальный вывод, что преимущественно квадрупольные топологии магнитного поля, которые предполагались до этого в значительном числе звезд, вероятно, не существуют в реальных звездах. Этот действительно фундаментальный вывод делается тогда, когда уже за прошедшие 40 лет с помощью "дипольной" методики моделирования [2] были изучены структуры более сотни магнитных звезд, и не было случая, который противоречил бы предположению дипольного

характера магнитных структур даже тогда, когда звезда содержит внутри себя несколько намагниченных фрагментов. Тем не менее, авторы работы [9] продолжают настаивать на том, что предположение магнитного поля со структурой "наклонный диполь + квадруполь" может обеспечить удовлетворительное описание магнитных полей Ар-звезд и может быть полезным для грубого анализа больших звездных выборок. Это тогда, когда каталог величин B_s содержит 120 звезд [16].

6. *Второй вариант модели HD133880.* Наше моделирование получено на основании новых измерений [9]. Форма фазовой зависимости $Be(\Phi)$ значительно отличается от той, которая получается по данным [1]. Тем не менее, нам интересно было в первую очередь получить именно однодипольную модель HD133880 по этим данным, чтобы сравнить с нашим предыдущим результатом в [8], а также проверить мнение, высказанное в [9], что общая топология крупномасштабного поля лучше описывается искаженным, асимметричным диполем. Решение найдено нашим стандартным методом [2,3], предполагающим, что источником магнитного поля является магнитный диполь. При разных входных параметрах осуществляется ряд последовательных приближений до тех пор, пока различия Be между наблюдаемыми и модельными величинами во всех фазах Φ станут меньше 3σ . Табл.1 содержит координаты монополей, причем один монополь находится на расстоянии от центра $\Delta a = 0.2$, а второй в центре (примерно как в разд. 4). Ось диполя находится в плоскости экватора вращения ($\alpha = 0$), хотя в предыдущем варианте она наклонена на угол $\alpha = 16^\circ$. На рис.1 приведены наблюдаемая (точки) и модельная зависимости (линия) звезды HD133880. В пределах ошибок в некоторых фазах ($\Phi = 0 \div 0.3$ и $0.65 \div 0.90$) совпадение оказалось удовлетворительным, но в положительном и отрицательном максимумах фазовые зависимости расходятся. Следовательно, структура магнитного поля сложнее, чем при предположении одного смещенного вдоль оси диполя. Параметры магнитного поля приведены в табл.3 в строке "1 диполь (наш 2)". По сравнению с предыдущей нашей моделью величина B_s оказывается на 15% меньше. Но различие B_s с результатом [5] оказывается более 3-х раз! Это показатель отсутствия физической основы для дипольно-квадрупольной модели.

Таблица 1

1 ДИПОЛЬ, КООРДИНАТЫ МОНОПОЛЕЙ

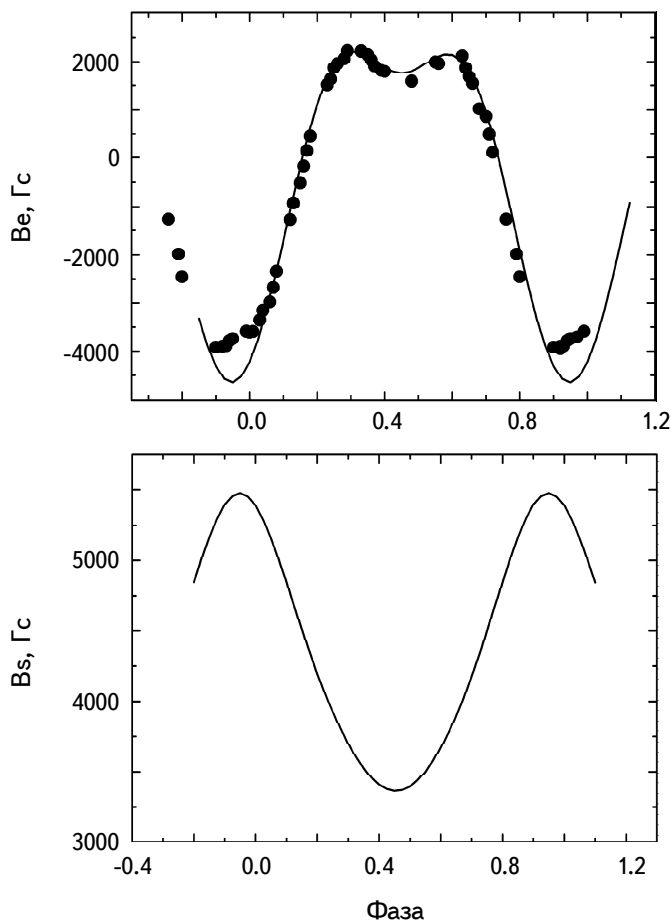
	Долгота, градус	Широта, градус	Δa , R _*
Первый монополь	337	0	0.2
Второй монополь	157	-0	0.0

Таблица 2

2 ДИПОЛЯ, КООРДИНАТЫ МОНОПОЛЕЙ

	Долгота, градус	Широта, градус
1 диполь	337	1
	100	-1
2 диполь	157	1
	212	-1

В следующем варианте мы исследовали модель с двумя диполями. Методом последовательных приближений удалось достичь лучших результатов, чем в предыдущем случае. Наблюдаемая и модельная фазовые зависимости показаны на рис.2а, координаты монополей даны в табл.2. Совпадение во многих фазах

Рис.2. Модельная зависимость $B_s(\Phi)$.

удовлетворительное, в пределах 3σ , но модельная зависимость $Be(\Phi)$ в фазах $\Phi = 0.9 - 1.0$ заметно отличается от наблюдаемой. На рис.2b показана модельная фазовая зависимость $B_s(\Phi)$. Среднее поверхностное поле изменяется в пределах $B_s = 3364 \div 5477$ Гс. Для сравнения "дипольно-квадрупольная" модель [5] дает нереальные значения величины $B_s = 10000 \div 20000$ Гс. Схема расположения диполей в двухдипольной модели приведена на рис.3. Области 1, 2 и 3 имеют максимальную напряженность магнитного поля на поверхности, причем область

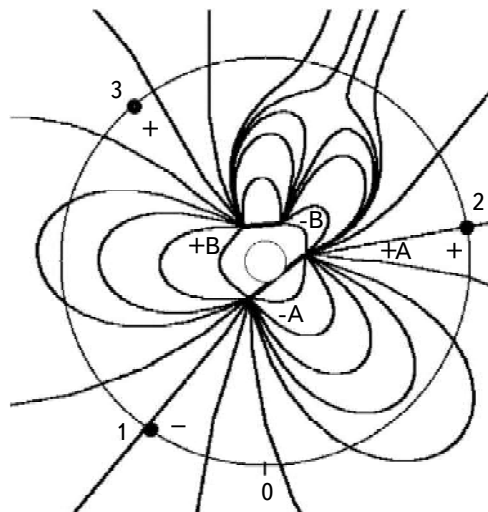


Рис.3. Силовые линии двухдипольной модели. Черные полукружки - магнитные полюса на поверхности звезды. А - первый диполь, В - второй диполь.

1 отрицательного знака, а 2 и 3 - положительного, они совершенно определенно проявляются на зависимости $Be(\Phi)$ рис.2a и Меркаторской карте рис.4. Таким образом, в глобусах работы [9] хорошо заметен максимум напряженности отрицательной полярности, но отсутствуют хорошо заметные на Меркаторской карте максимумы на $\Phi = 0.3$ и 0.6 , хотя беспорядочно расположенные магнитные пятна там заметны. Модель показывает, что магнитные заряды находятся в одной плоскости, совпадающей с плоскостью экватора вращения ($\alpha = 0^\circ$). Напомним, что малая величина α у магнитных звезд - типичное их свойство, связанное с условиями формирования. Величина магнитного заряда обоих диполей одинаковая. Величины среднего поверхностного магнитного поля B_s и поля на магнитных полюсах B_p , а также α и $\Delta\alpha$, приведены в табл.3 в строке "2 диполя". Величины B_s и B_p несколько меньше, чем в предыдущем случае, но одного порядка.

Вернемся к рис.2a. Казалось, что для того, чтобы описать деталь на отрицательном максимуме, надо ввести еще один, третий диполь. Однако попытки применения третьего диполя не привели к желаемому результату.

Таблица 3

СРАВНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ
РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ

Вариант	B_s , Гс	B_p , Гс	α , градус	Δa , R_s
Bailey (D+Q+O)	15200	нет	нет	нет
Kochukhov, диполь	4400	-12000 +нет	нет	нет
1 диполь (наш 1)	5302	-16150 +4203	16	0.16-0.04
1 диполь (наш 2)	4608	-9581 +5233	0	0.20 0.00
2 диполя (наш 3)	4020	-9037 +4950 +4725	0	0.20 0.20

Не были найдены ни положение, ни ориентация третьего диполя, при которых был бы получен хотя бы качественный положительный результат. Влияние третьего диполя во всех случаях отрицательно сказывается на форме всей модельной фазовой зависимости, она значительно уширяется, особенно в области отрицательной полуволны. Применение модели из двух диполей на поверхности звезды вблизи отрицательного максимума приводит к такому же эффекту. Таким образом, не найдено никаких признаков двойного магнитного пятна, который виден на глобусах в [9], ни признаков наличия резкой детали в фазах 0.9-1.0. Казалось, чтобы создать наблюдаемую деформацию $Be(\Phi)$, необходимо на поверхности звезды поместить диполь с осью, перпендикулярной поверхности и магнитным полем положительной полярности

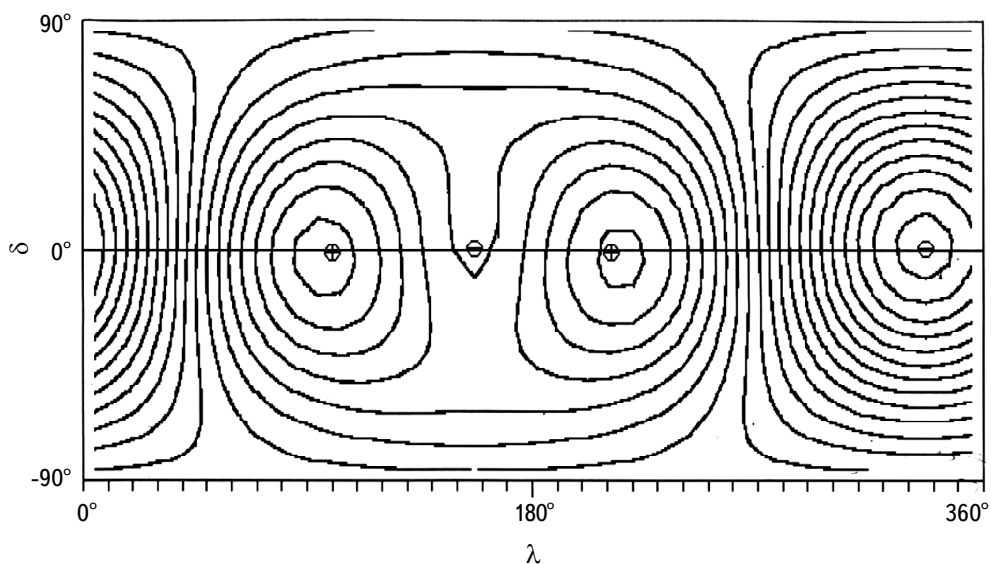


Рис.4. Меркаторская карта распределения магнитного поля по поверхности (двух-дипольный вариант).

в фазе центра отрицательной полуволны. При таком варианте мы действительно получаем пик в нужном нам направлении, но этот пик "размазан" по большому диапазону фаз. Дело в том, что рассматриваемая особенность магнитного поля, проявляющаяся в центре отрицательного максимума, видна только в фазах 0.9-1.0, хотя она должна быть заметна в течение полупериода. Это не луч света перпендикулярно поверхности. Даже теоретическая точка влияет на наблюдаемую фазовую зависимость в течение полупериода, а не только в фазах $\Phi = 0.9 - 1.0$. Отсюда делаем вывод, что рассматриваемый эффект, скорее всего, происходит вследствие методической ошибки при измерениях магнитного поля и неравномерного распределения химических элементов по поверхности [17].

7. *Обсуждение.* Итак, HD133880 звезда Si-типа имеет структуру магнитного поля, в одном случае описываемую одним смещенным вдоль оси диполем (разд. 4), в другом - двумя магнитными диполями (разд. 6). Двухдипольная структура не единичный случай, известны еще другие такие же объекты, например 16 звезд с двухдипольными структурами, промоделированные нами, приводятся в [18]. Проблема состоит в том, какой вариант правильный. Дело в том, что магнитное поле Be , измеренное по линиям водорода, правильно описывает распределение поля по поверхности, так как не зависит от влияния неравномерного распределения химических элементов по поверхности. Поэтому, несмотря на малое количество "водородных" измерений в [1], результат моделирования следует считать достаточно вероятным. Но при малом количестве измерений невозможно обнаружить детали на зависимости $Be(\Phi)$, если они есть. На рис.1 хорошо видны два максимума на $\Phi = 0.3$ и 0.6 , которые определяют наличие двух диполей. С другой стороны, несмотря на высокую точность измерений в [9], влияние искажающего неравномерного распределения металлов на результат измерения Be тоже нельзя исключать [17]. Поэтому вопрос о реальной структуре магнитного поля HD133880 остается открытым. Конкретно, для решения возникшей проблемы необходимы дополнительные измерения Be по линиям водорода.

Рассмотрим табл.2, в которой показаны величины Bp , Bs , α и Δa для всех рассмотренных выше вариантов, если они определялись (таких данных в работе [1] нет). Интересно, что, несмотря на разные входные данные, "дипольные" модели приводят к величине Bs примерно одного порядка величины, в то время как (D+Q+O) модель [5] сильно отличается вследствие неверной модели.

На рис.2b, модельная зависимость $Bs(\Phi)$ изменяется от 3364 до 5476 Гс, хотя в модели (D+Q+Oct) [5] это происходит в пределах 10000-20000 Гс. В работе [9], этот факт тоже отмечается. Физического смысла в этих величинах (Bd , Bq , $Boct$) нет, отчасти они указывают вес каждого мультиполя. Иногда

величины $Q+Oct$ могут указывать на "недипольность" магнитной структуры, но в табл.3 у звезд HD2453 192678 члены ($Q+Oct$) не равны нулю, хотя модели у них соответствуют центральному диполю. В работах [1,5,7] высказано мнение, что преобладающее распределение магнитного поля по поверхности звезды является квадрупольным, поэтому вариации среднего поверхностного поля B_s не являются синусоидальными. Результаты неверные, если исходить из дипольного представления. Модель [9] звезды HD133880 показывает, что общая топология крупномасштабного поля лучше описывается искаженным, асимметричным диполем, а не осесимметричным квадруполем. Предложенные ранее модели топологии квадрупольного поля HD133880 не согласуются с наблюдаемыми профилями поляризации металлических линий в работе [9].

В результате в [9] делается фундаментальный вывод, что преимущественно квадрупольные топологии магнитного поля, которые предполагались до этого у значительного числа звезд, вероятно, не существуют в реальных звездах. Очевидно, что наше представление о дипольных структурах магнитного поля в этот период времени многими авторами не воспринималось.

Практика показывает [12,19], что структуры магнитных полей внутри и на поверхности Ар-звезд достаточно хорошо описываются применением моделей теоретических диполей, даже если в звезде два или три намагниченных фрагмента. Исследование эволюции магнитных полей Ар-звезд приводит к предположению, что в случае сложных начальных протозвездных магнитных структур, они постепенно формируются в простые полоидальные формы, которые с достаточным приближением описываются теоретическим магнитным диполем. Паркер замечает [4], что магнитное поле вокруг звезды стремится перейти в самое низкое энергетическое состояние, принимая замкнутую форму диполя. В начальных сложных структурах мелкомасштабная фракция быстро исчезает вследствие омической диссипации и натяжения силовых линий. В результате остается крупный, долго живущий полоидальный фрагмент, который достаточно хорошо описывается теоретическим магнитным диполем [8,19].

Проблема мелкой детали в центре отрицательного максимума зависимости $Be(\Phi)$ достаточно интересна. При объяснении дефекта в отрицательном максимуме кривой $Be(\Phi)$ применение модели третьего диполя не привело к объяснению этого дефекта. Не были найдены ни положение, ни ориентация третьего диполя, при которых был бы получен хотя бы качественный положительный результат. Сделан вывод, что рассматриваемый эффект, скорее всего, происходит вследствие методической ошибки при измерениях магнитного поля и содержания химического элемента. Возраст HD133880 в работе [9] оценен по принадлежности к скоплению Upper Centaurus Lupus association $\log t = 7.2$ и является неверным. Наша оценка $\log t = 8.4$ лет [20], поэтому столь мелкая магнитная деталь должна была бы уже разрушиться посредством

омической диссипации и натяжения силовых линий. Предельный возраст звезд Si-типа находится около $\log t = 8.4 - 8.7$ лет. Звезда находится в средней части полосы Главной последовательности и потратила уже около 50% времени жизни на Главной последовательности. Ни в одной звезде, имеющей такой возраст, столь мелких деталей еще не наблюдалось.

Таким образом, источником магнитного поля в звезде является магнитный диполь, даже тогда, когда в звезде несколько намагниченных фрагментов. В многодипольных звездах диполи обращены разными знаками всегда, как это мы наблюдаем в разд. 6. Предполагается, что такие конфигурации формируются в начальной фазе магнитной протозвезды. Структуры с диполями, направленными одинаковыми знаками друг другу, неустойчивы.

Топографическая карта распределения магнитного поля (рис.4) с его векторным характером на поверхности звезды строится последовательно по всем элементам матрицы [3]. Вектор магнитного поля в каждом элементе матрицы равен сумме векторов от положительного и отрицательного монополей. Элементы матрицы определяются обычными сферическими координатами по долготе и широте звезды. Вектора магнитного поля, спроецированные на луч зрения, взвешиваются в каждом элементе их проекцией на видимой полусфере и потемнением к краю, затем интегрируются по всей видимой полусфере. Получается B_s в каждой фазе Φ . Многочисленные результаты моделирования показывают, что приближение дипольного источника магнитного поля очень хорошо описывает фазовую зависимость $Be(\Phi)$, структуру магнитного поля на поверхности, если магнитное поле измерено по линиям водорода, который равномерно распределен по поверхности. Измерения $Be(\Phi)$, выполненные по линиям металлов, иногда приводят к заметным ошибкам. Таким образом, описанный кратко метод моделирования имеет прочную физическую основу,

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ПРИ РАЗНЫХ МОДЕЛЯХ

HD	B_d , Гс	B_q , Гс	B_{oct} , Гс	B_s , Гс	B_s (LM), Гс	B_p , Гс
2453	-5000	-600	+1800	3750	3737	$\pm$ 6560
12288	-10100	-2800	+4200	8100	7879	+9700 -15800
65339	-16700	-11200	+5700	13700	12840	+6029 -91870
126515	-13700	-17700	-5200	13000	12322	+45800 -11100
318107	+23700	-23600	+8300	15000	13307	+33568 -19460
187474	-7700	-1600	+1000	5500	5317	+6300 -11600
188041	+5600	-1200	-1000	3600	3663	+4850 -7400
192678	+4900	+1300	+2300	4700	4668	$\pm$ 7300
200311	+12800	+3800	+800	8500	8568	+18520 -11420

Примечание: Жирные цифры - максимальные величины.

в отличие от (Bd , Bq , $Boct$)-метода.

Распределения $Be(\Phi)$ в работах [5,7] и других аналогичных исследованиях моделируются с помощью коллинеарных диполей, линейного квадруполь и линейного октуполя, при которых сила магнитного поля на полюсах предполагается Bd , Bq , $Boct$, соответственно. Считалось, что такое представление, хотя и не точное, дает удовлетворительное описание наблюдаемых структур магнитного поля. В табл.4 приводятся величины Bd , Bq , $Boct$ для нескольких звезд из работы [7]. В этой же таблице приведены средние поверхностные значения Bs , полученные нами [16] из моделей, и Bs (LM)), которые получаются непосредственно из измерений расщепленных зеемановских компонентов [21,22]. Они достаточно хорошо соответствуют друг другу, что подтверждает правильность тех и других. Сравнение показывает, что между величинами (Bd , Bq , $Boct$) и Bs нет ничего общего. Жирными цифрами отмечены максимальные значения. В этой же таблице приведены величины магнитного поля на магнитных полюсах Bp , полученные из модели [17], где нет ничего общего между параметрами (Bd , Bq , $Boct$) и Bp . Напомним, что это просто некоторые параметры, пропорциональные весу каждого многочлена рассматриваемого разложения. Мало того, такая методика не способна описать многодипольную структуру (в таблице таких звезд нет).

Автор благодарит А.Ф.Назаренко за помощь в вычислениях рис.3.

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

STRUCTURE OF THE MAGNETIC FIELD OF THE STAR HD133880 (Si)

Yu.V.GLAGOLEVSKIY

The magnetic field of the star HD133880 is modeled under the assumption of the structure of the magnetic field in the form of a theoretical magnetic dipole. Comparison of the result with what was obtained earlier when using the representation of the phase dependence of $Be(\Phi)$ by dipole + quadrupole + octupole expansion of the structures shows that this scheme leads only to a formal description of the phase dependence, and the expansion coefficients do not have physical meaning.

Keywords: *magnetic field: modeling: star HD133880*

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.D.Landstreet*, *Astrophys. J.*, **352**, L5, 1990.
2. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij, G.Scholz*, in *Stellar magnetic fields*, Moscow, 1977, p.67.
3. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij*, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.*, **56**, 25, 2003.
4. *Е.Паркер*, *Космические магнитные поля*, Москва, Мир, Том.1, 1982.
5. *J.D.Bailey et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **423**, 328, 2012.
6. *Donati et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **291**, 658, 1997.
7. *J.D.Landstreet, G.Mathys*, *Astron. Astrophys.*, **359**, 213, 2000.
8. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **69**(3), 247, 2014.
9. *O.Kochukhov et al.*, *Astron. Astrophys.*, **605**, A13, 2017.
10. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **73**(2), 115, 2018.
11. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **75**(4), 440, 2020.
12. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **66**(2), 144, 2011.
13. *F.Snik et al.*, in *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*, **437**, 237, 2011.
14. *N.Piskunov et al.*, *The Messenger*, **143**, 7, 2011.
15. *O.Kochukhov et al.*, *Astron. Astrophys.*, **565**, A83, 2014.
16. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **74**(1), 66, 2019.
17. *Yu.V.Glagolevskij, V.D.Bychkov*, *Astrophys. Bull.*, **76**(2), 125, 2023.
18. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophysics*, **59**(3), 321, 2016.
19. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.*, **71**(1), 43, 2016.
20. *Yu.V.Glagolevskij*, *Astrophys. Bull.* 2023, in press.
21. *G.Mathys, T.Lanz*, *Astron. Astrophys.*, **256**, 169, 1992.
22. *G.Mathys et al.*, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **123**, 353, 1997.