

СТРУКТУРА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ МЕДЛЕННЫХ
CP-РОТАТОРОВ: HD 9996, HD 188041Ю.В.ГЛАГОЛЕВСКИЙ¹, Е.ГЕРТ²

Поступила 21 ноября 2007

Принята к печати 13 февраля 2008

Представлена заключительная работа по исследованию структуры магнитных полей CP-звезд с большими периодами вращения. Сделан предварительный вывод об отсутствии влияния ориентации и силы магнитного поля на их скорости вращения. Показано, что ориентация дипольных структур медленных магнитных ротаторов произвольна, как и быстрых ротаторов. Ставится под сомнение гипотеза торможения магнитных звезд под влиянием магнитного поля. Вероятно происхождение CP-звезд связано с их начальным медленным вращением.

Ключевые слова: *звезды: магнитные поля - объекты: HD 9996, HD 188041*

1. *Введение.* Этой работой мы заканчиваем цикл исследований конфигураций магнитного поля CP-звезд с большими периодами ($P > 25^d$) вращения. Предыдущие работы [1-4] содержат результаты исследования 7 таких звезд. Главная задача заключается в сравнении основных свойств магнитного поля у быстрых и медленных ротаторов, чтобы выяснить возможность влияния конфигураций магнитного поля на предполагаемую степень торможения CP-звезд.

Наша методика моделирования основана на предположении наличия источников магнитного поля, состоящих из магнитных монополей. В отличие от некоторых других методов моделирования магнитного поля CP-звезд наша методика имеет физический смысл, который заключается в том, что магнитное поле, как и другие поля, должно иметь источник. Она отличается от некоторых других, например тех, которые описывают фазовые зависимости магнитного поля с помощью синусоиды, косинусоиды и т.д., которые характеризуют только их форму. Наша методика и ее физические основы подробно описаны в статье [5]. Задавая координаты монополей (λ - долгота, δ - широта), магнитный момент M и угол наклона i к лучу зрения, мы вычисляем фазовые зависимости среднего эффективного поля B_e -Ф и среднего поверхностного поля B_s -Ф, которые сравниваем с наблюдаемыми зависимостями. Наилучшее совпадение достигается методом последовательных приближений. Угол i получается автоматически, если известны обе фазовые зависимости. Если известна

только зависимость $B_e - \Phi$, то угол i определяется из $v \sin i$. Экваториальная скорость v оценивается по известной формуле $v = 50.6 P/R$, где P - период вращения в днях, а R - радиус звезды в солнечных единицах. По сравнению с первым случаем этот способ дает приближенную оценку параметров, как правило, вследствие недостаточной точности $v \sin i$ и неточности формулы.

Из-за медленного вращения исследуемых нами в этой работе звезд, мы не располагаем достаточно точными измерениями $v \sin i$, по которым можно было бы оценить угол i , но для них имеются измерения средних поверхностных магнитных полей B_s . Соотношение средних величин B_s/B_e очень чувствительно к углу i , поэтому этот угол определяется достаточно точно: ошибка обычно порядка $\pm 1^\circ$.

2. Звезда HD 9996. Существует достаточно много измерений эффективного магнитного поля B_e для HD 9996, однако среди них наблюдается значительный разброс. Для построения фазовой зависимости $B_e - \Phi$ использованы источники [6-10]. К сожалению, имеется только несколько измерений среднего поверхностного магнитного поля B_s [9,11], по

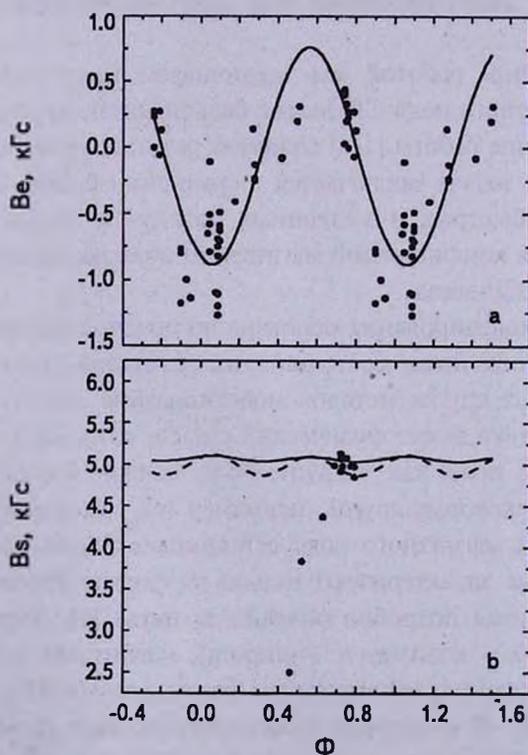


Рис.1. Фазовые зависимости магнитного поля для звезды HD 9996. а) точки - наблюдения, сплошная кривая - модельные зависимости, одинаковые для обоих вариантов: большого и малого углов β ; б) точки - наблюдения, сплошная линия - малый угол β , штриховая линия - большой угол β .

которым построить фазовую зависимость невозможно, но можно приближенно оценить угол наклона звезды i . Фазовая зависимость $B_e - \Phi$ приведена на рис.1а кружками. Фазы вычислены по эфемериде из работы [12]. Из измерений Матисса получается, что среднее поверхностное поле $B_s \approx 5$ кГс. По оценке Престона [8] $B_s = 2.2$ кГс, по оценке Шольца [10] $B_s = 2.5$ кГс. Все эти измерения попадают в область фаз 0.48-0.79 и столь значительные изменения не могут быть объяснены никакой моделью. Мы предпочитаем измерения Матисса, потому что его метод апробирован на большом числе измерений многих звезд. Большой разброс измеренных величин B_e и B_s , как показала практика, обычно вызывается невыгодной для измерений ориентацией звезды относительно наблюдателя. Действительно, в дальнейшем мы увидим, что звезда повернута к наблюдателю преимущественно со стороны магнитного экватора.

В качестве первого приближения при определении основных параметров магнитного поля мы использовали модель центрального диполя. Такая модель имеет два решения - с малым углом β между осью диполя и осью вращения и с большим углом. Обычно выполняются оба варианта, затем выбирается наиболее вероятный. На рис.1а и б приведены вычисленные фазовые зависимости для обоих случаев - малого и большого угла β , которые обозначены сплошной и штриховой линией, соответственно. В обоих случаях среднее значение $B_s \approx 5$ кГс. Параметры моделей приведены в табл.1. Мы принимаем более вероятным вариант с меньшей амплитудой B_s на основании опыта прежних случаев моделирования. Модельные фазовые зависимости $B_s - \Phi$ имеют в обоих случаях очень малую амплитуду. Следовательно большой разброс точек

Таблица 1

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДИПОЛЯ ДЛЯ ЗВЕЗДЫ HD9996

А. Вариант малого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол наклона i	Поле B_p на полюсах
-	18°	78°	12°	89°.5	-8100 Гс
+	198	-78			+8100

В. Вариант большого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол наклона i	Поле B_p на полюсах
-	18°	0°.5	89°.5	24°:	-8710 Гс
+	198	-0.5			+8710

среди разных авторов может быть объяснен только ошибками, которые возникают вследствие невыгодной для измерений поля ориентацией звезды. Действительно, звезда видна преимущественно со стороны магнитного экватора, а магнитные полюса расположены на краю диска. Поэтому на спектральную линию действуют поля разного знака и распределение поляризации внутри линии оказывается очень сложным. Измеренияотягощены большими ошибками. Уточнение модели HD 9996 невозможно без дополнительных измерений, особенно V_s . Вследствие указанных наблюдательных трудностей оставим предположение центрального диполя как первое приближение. Угол i мы указываем с точностью до $0^\circ.1$, потому что при данной ориентации звезды среднее положение фазовой зависимости $V_s - P$ очень сильно зависит от этого угла.

3. Звезда HD 188041. Для построения модели магнитного поля звезды HD 188041 мы первоначально рассматривали все работы [13-18], в которых содержатся измерения V_e и V_s . Оказалось, что все они характерны слишком большим разбросом величин поля. Единственный ряд, содержащий значительное количество данных для V_e и имеющий относительно небольшой разброс, принадлежит Бэбкоку [13], поэтому мы использовали только его данные. Измерения V_s мы взяли из [11,19]. Для удобства демонстрации вычисленных и наблюдаемых зависимостей $V_s - \Phi$ мы отложили сглаженные величины, полученные методом скользящего среднего по 4 точкам.

Измеренные величины V_e и V_s обозначены на рис.2а, b и с точками, причем значения Φ вычислены на основании эфемериды из [13].

Минимум магнитного поля = JD2432323 + 226E.

Как обычно первое приближение делается из предположения центрального диполя для двух случаев - с малым углом β и большим углом. При этом в первую очередь мы добивались совпадения зависимостей $V_e - \Phi$ и затем $V_s - \Phi$. Результат такой процедуры представлен в табл.2А и В и на рис.2а и b.

Сплошной кривой на рис.2b изображена вычисленная зависимость в случае малого β , штриховой - в случае большого. Хорошо видно, что ни один вариант по форме не подходит к наблюдаемой зависимости $V_s - \Phi$. Это означает, что структура магнитного поля звезды не соответствует предположению модели центрального диполя.

Следующий шаг состоял в том, чтобы найти такое положение магнитных зарядов внутри звезды, при котором обе вычисленные фазовые зависимости наилучшим образом соответствовали наблюдениям. Как и в предыдущем случае, в первую очередь добиваемся совпадения на зависимости $V_e - \Phi$ на рис.2а. Подбирая все параметры методом последовательных приближений, были получены два решения - с малым и большим углом β . На

рис.2с первый вариант обозначен сплошной линией и второй - штриховой. Хорошо видно, что вариант с большим β совершенно не соответствует наблюдениям по форме зависимости, но подходит вариант с малым углом β . Параметры, при которых получены эти два

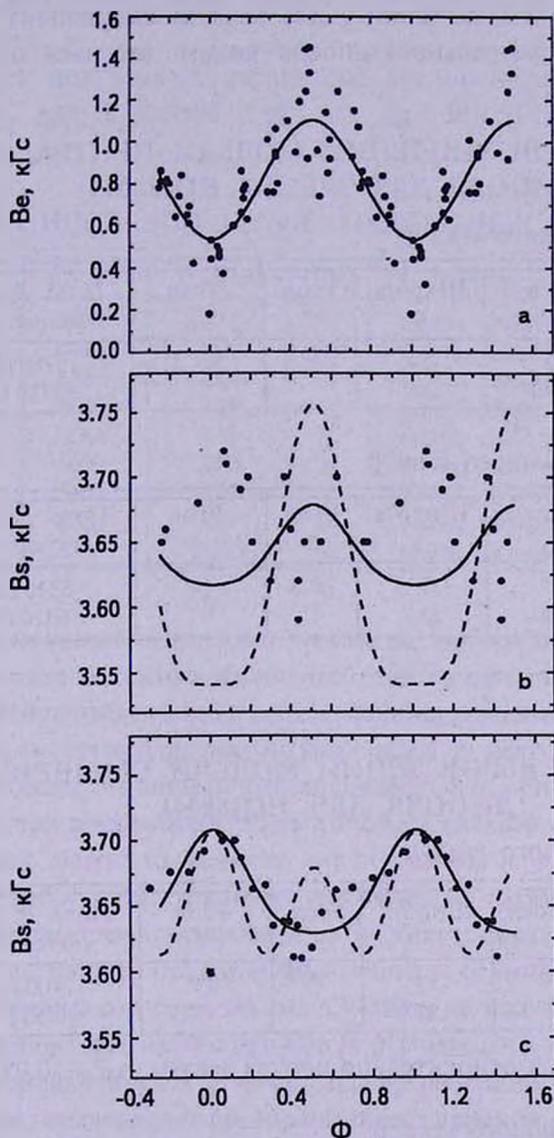


Рис.2. Фазовые зависимости магнитного поля для звезды HD 188041. а) точки - наблюдения, сплошная кривая - модельные зависимости, одинаковые для всех вариантов вычислений. б) точки - наблюдения, сплошная линия - вариант для модели центрального диполя и малого угла β , штриховая линия - вариант для модели центрального диполя и большого угла β . с) точки - наблюдения, сплошная линия - вариант для модели смещенного диполя и малого угла β , штриховая линия - вариант для модели смещенного диполя и большого угла β .

решения, приведены в табл.3А и В. Таким образом, получается, что звезда HD 188041 имеет структуру магнитного поля диполя, смещенного вдоль оси в сторону отрицательного монополя на величину 0.07 радиуса звезды.

Сравнивая полученные данные для модели смещенного диполя с параметрами для центрального диполя видим, что они оказываются

Таблица 2

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ МОДЕЛИ ЦЕНТРАЛЬНОГО ДИПОЛЯ ДЛЯ ЗВЕЗДЫ HD188041

А. Вариант малого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол i	Поле V_p на полюсах
-	0°	-84°	6°	80°5	-5780 Гс
+	180	84			+5780 Гс

В. Вариант большого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол i	Поле V_p на полюсах
-	0°	-13°2	76°8	14°	-6310 Гс
+	180	13.2			+6310 Гс

Таблица 3

РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЙ МОДЕЛИ СМЕЩЕННОГО ДИПОЛЯ ДЛЯ HD188041

А. Вариант малого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол i	Поле V_e на полюсах
-	0°	-83°	7°	83°	-7400 Гс
+	180	83			+4850 Гс

Смещение диполя относительно центра звезды $\Delta a = -0.07$.

В. Вариант большого угла β

Знак монополя	Долгота λ	Широта δ	Угол β	Угол i	Поле V_e на полюсах
-	0°	-10°	80°	16°	-7540 Гс
+	180	10			+5580 Гс

Смещение диполя относительно центра звезды $\Delta a = -0.05$.

относительно близкими. Смещение диполя в модели мало влияет на все параметры кроме величины магнитного поля на полкосох. Звезда HD 188041 видна со стороны экватора, а ось диполя близка к оси вращения. Такая ориентация магнитного поля крайне невыгодна для измерений, что и объясняет большой разброс наблюдаемых точек на фазовых зависимостях.

Точность полученных параметров мы оцениваем для i , β и δ равной $\pm 1^\circ$, для λ равной $\pm 10^\circ$, для $V_p \pm 30 - 50$ Гс.

Таблица 4

СПИСОК ИССЛЕДОВАННЫХ МЕДЛЕННЫХ СР-РОТАТОРОВ

HD	V_s , Гс	P , дней	β	Структура	Источник
2453	547	521	80	центр. диполь	[1]
9996	8000:	4800	12:	центр. диполь?	эта работа
12288	35	7900	66	центр. диполь	[1]
116458	4600	148	12	смещ. диполь	[2]
126515	12300	130	86	смещ. диполь	[2]
187474	5000	2345	24	смещ. диполь	[3]
188041	3600	224	20	центр. диполь	эта работа
200311	8600	52	86	смещ. диполь	[1]
201601	3800	72 года	50	смещ. диполь	[4]

4. **Заключение.** Приведем основные результаты, полученные на основании моделирования магнитных полей медленных СР-ротаторов.

1) В табл.4 приведены все полученные нами результаты по исследованию ориентации и структуры магнитного поля у медленно вращающихся магнитных звезд. Из данных таблицы видно, что ориентация магнитных диполей внутри звезды может быть любой, без какого-либо преимущества. Это главный вывод настоящего исследования и он не подтверждает результаты работы [20], в которой сообщается, что медленные ротаторы имеют преимущественно малые углы β . Таким образом, предположение о том, что магнитные поля с коллинеарными осями диполя и вращения являются источником торможения СР-звезд не подтверждается.

2) На основании наших данных [4,21] известно, что для медленных СР-ротаторов зависимость V_s от периода вращения по-видимому обратная, что также не подтверждает предположение о влиянии магнитного поля на вращение.

3) В нашей работе [4] приведены результаты моделирования магнитных полей быстро вращающихся магнитных звезд, из которых видно, что они также как и медленно вращающиеся звезды имеют произвольную ориентацию диполей, как и у медленных ротаторов. Таким образом, накопленные к настоящему моменту данные не позволяют предположить

каких-либо различий в структуре магнитных полей быстрых и медленных ротаторов, следовательно конфигурация поля не влияет на степень замедления магнитных звезд. Существуют признаки того, что происхождение CP-звезд связано с их начальным медленным вращением [21]. В этой же работе мы тоже приводили доводы в пользу предположения, что величина поля и его конфигурация не повлияли на свойства CP-звезд. Среднее поверхностное поле, по-видимому, изменяется с возрастом за период жизни на Главной последовательности только вследствие эволюционного изменения радиуса звезд [22].

4) Параметры магнитного поля звезды HD 9996, особенно угол i , недостаточно надежны вследствие малого количества измерений B_s .

5) Метод "магнитных зарядов" в принципе позволяет воспроизвести любую конфигурацию магнитного поля при достаточно точных измерениях фазовых зависимостей. Те данные, которыми мы располагаем, показывают, что в первом приближении структура медленных ротаторов соответствует моделям центрального или смещенного диполей.

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

² D-14471, Potsdam, Gontardstr 130, Germany

THE STRUCTURE OF THE MAGNETIC FIELD OF THE SLOW ROTATORS: HD 9996, HD 188041

Yu.V.GLAGOLEVSKIJ¹, E.GERTH²

This is the final paper on the research of the structure of magnetic fields of CP stars with large periods of rotation is submitted. The preliminary conclusion about the absence of the influence orientation and of the strength of magnetic field on their velocity of rotation is made. It is shown that the orientation of dipole structures of slow magnetic rotators is random, as well as the fast rotators. The hypothesis of braking of magnetic stars under the influence of magnetic field is called in question. The origin CP of stars is probably connected with their initial slow rotation.

Key words: *stars:magnetic fields - individual:HD 9996, HD 188041*

ЛИТЕРАТУРА

1. *Yu.V.Glagolevskij, E.Gerth*, Bull. Spec. Astrophys. Obs., 58, 31, 2005.
2. *Ю.В.Глаголевский*, Астрон. ж., 82, 1, 2005.
3. *Ю.В.Глаголевский*, Астрофизика, 48, 575, 2005.
4. *Ю.В.Глаголевский, Е.Герт*, Астрофизика, 49, 251, 2006.
5. *E.Gerth, Yu.V.Glagolevskij*, in Magnetic stars, ed. by Yu.V.Glagolevskij, D.O.Kudryavtsev, I.I.Romanyuk, Nizhnij Atkhyz, 2004, p.152.
6. *H.W.Babcock*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 3, No30, 1958.
7. *G.Preston, S.C.Wolff*, Astrophys. J., 160, 1071, 1970.
8. *G.Preston*, Astrophys. J., 164, 309, 1971.
9. *G.Scholz*, Astron. Nachr., 229, 309, 1978.
10. *G.Scholz*, Astrophys. Space. Sci., 94, 159, 1983.
11. *G.Mathys, S.Hubrig, J.D.Landstreet, T.Lanz, J.Manfroid*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 123, 353, 1997.
12. *V.D.Bychkov, L.V.Bychkova, J.Madey*, Astron. Astrophys., 407, 631, 2003.
13. *H.W.Babcock*, Astrophys. J., 120, 66, 1954.
14. *H.W.Babcock*, Astrophys. J. Suppl. Ser., 30, 141, 1958.
15. *S.C.Wolff*, Astrophys. J., 157, 253, 1969.
16. *S.C.Wolff*, Astrophys. J., 158, 1231, 1969.
17. *G.Mathys*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 89, 121, 1991.
18. *G.Mathys, S.Hubrig*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., 124, 475, 1997.
19. *G.Mathys, T.Lanc*, Astron. Astrophys., 256, 169, 1992.
20. *L.D.Landstreet, G.Mathys*, Astron. Astrophys., 359, 213, 2000.
21. *Ю.В.Глаголевский*, Астрофизика, 48, 229, 2005.
22. *Ю.В.Глаголевский, Е.Герт*, Бюлл. Спец. астрофиз. обсерв., 58, 17, 2005.