

МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ И ДРУГИЕ ПАРАМЕТРЫ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД. II

*В. Д. Бычков, Ю. В. Глаголевский, В. Г. Елькин, Ф. Г. Копылова,
И. Д. Найденов, И. И. Романюк, Н. М. Чунакова, В. Г. Штоль*

Представлен второй список величин магнитных полей звезд разных типов, измеренных на 6-м телескопе. Проведен анализ некоторых свойств магнитных полей химически пекулярных звезд. Найдено, что не существует заметной зависимости среднего магнитного поля у CP-звезд от температуры; поле, определяемое по линиям металлов, в среднем на 200 Гс выше, чем то, которое оценивалось по линиям водорода. Получены дополнительные данные в пользу предположения о дипольной структуре общих магнитных полей CP-звезд.

A second list of magnetic field values of different type stars, measured with the 6-m telescope, is presented. An analysis of some properties of chemically peculiar star magnetic fields is made. No noticeable dependence of the mean magnetic field of CP stars upon the temperature is detected: a field detected from metal lines is at an average 200 Gs stronger than that estimated from hydrogen lines. Additional data in favour of the assumption on dipole structure of common magnetic fields of CP stars are obtained.

В предыдущей работе [1] мы опубликовали первый список вычисленных нами среднеквадратических значений эффективного магнитного поля звезд $\langle B_e \rangle$ на основе литературных данных и наших собственных измерений. Здесь мы представляем второй список звезд, исследованных на 6-м телескопе, в который включены объекты, впервые измеренные нами или для которых нами сделаны дополнительные измерения и значения поля $\langle B_e \rangle$ можно получить более точно.

Среднеквадратическое значение эффективного магнитного поля $\langle B_e \rangle$ (первые введено в работе [2]) определяется как

$$\langle B_e \rangle = [\sum (B_{ei}^2 - \sigma_i^2) / N]^{1/2},$$

ошибка каждого такого значения $\langle B_e \rangle$ вычисляется по формуле

$$\sigma = \sum \sigma_i / (N \sqrt{N}),$$

где σ_i — средние квадратические ошибки каждого значения B_{ei} и N — количество измерений поля.

В табл. 1 для каждой звезды кроме B_e и σ приведены данные о способе измерений:

- 1) Ф — поле B_e определялось по зеемановским фотографическим спектрограммам, как правило, с обратной линейной дисперсией 9 Å/мм;
- 2) ФЭ — поле определено на фотоэлектрическом звездном магнитометре Основного звездного спектрографа по линиям металлов [3];
- 3) Н — поле определено на фотоэлектрическом звездном магнитометре первичного фокуса БТА по линиям водорода [3].

В последнем столбце таблицы приведен тип звезд. За небольшим исключением это химически пекулярные звезды разных типов пекулярности. Методика измерений хорошо известна, с ней можно познакомиться в работах [3—6].

В работе [1] мы рассмотрели ряд свойств магнитных полей CP-звезд. Здесь мы рассмотрим связь между среднеквадратическими значениями поля $\langle B_e \rangle$ и поверхностными значениями B_s . В нашей работе [1] мы привели список звезд с известными B_s , однако необходимые для вычислений B_s значения ради-

ТАБЛИЦА 1

Среднеквадратические значения эффективных магнитных полей звезд

Звезда HD	$\langle B_e \rangle$, Гс	$\pm \sigma$, Гс	N	Метод	Тип	
8890	α UMi	24	30	1	ФЭ	F8
		19	23	3	Н	
18296	21 Per	266	45	23	Ф	SiSrCrEu
19805	—	1010	120	4	Ф	He-w
22407	—	405	220	2	Ф	Cr
23387	—	1610	350	2	Ф	
27309	56 Tau	2020	254	9	Ф	Si, 3955, 4200
		840	122	4	Н	
29139	α Tau	4	32	3	ФЭ	K5III
33904*	μ Lep	0	80	3	ФЭ	HgMn
		86	52	2	Н	
35456*	—	710	180	6	Ф	He-w
35497	β Tau	103	125	1	Н	SiCr?
35912	—	710	105	5	Ф	He-r
36430	—	230	105	5	Ф	He-r
37752	—	260	680	1	Ф	HgMn
43819	—	25	130	4	Ф	Si, 4012
47777	—	355	280	1	Ф	He-r
48915*	α CMa	3	7	1	ФЭ	AIV (Am?)
49606	33 Gem	838	110	41	Ф	He-w
51688	—	600	220	3	Н	He-w
60178	α Gem	145	58	5	Н	AIV
61421	α CMi	33	20	1	ФЭ	F5IV—V
65339	53 Cam	2960	50	43	Ф	SrCrEu
		3410	170	6	Н	
77350	ν Cnc	930	80	10	Ф	λ 4012
		515	250	2	Н	
79158	36 Lyn	1876	290	2	Ф	He-w
		240	200	2	Н	
84748	ρ Leo	880	270	3	Ф	B0p
87901	α Leo	16	246	1	Н	B8V
89822	—	160	170	1	Н	HgMn
106591	δ UMa	340	200	1	Н	A2V
112185*	ε UMa	520	33	15	ФЭ	Cr
		215	60	31	Н	
112413*	α^2 CVn	1010	48	45	Ф	SiCrEuHg
		627	61	36	Ф (УФ)	
		828	62	18	Н	
119213	CQ UMa	1190	66	49	Ф	SrCrEu
		770	85	9	Н	
124897	α Boo	0	27	2	ФЭ	K2III
		160	190	1	Ф	
130559A*	μ Lib A	1260	130	13	Ф	SrCr
130559B*	μ Lib B	2420	240	3	Ф	Sr
137909*	β CrB	560	32	26	Ф (виз.)	SrCrEu
		460	68	16	Ф (УФ)	
142096	—	185	490	1	Н	He-w
144206	—	165	185	1	Н	HgMn
145389	φ Her	0	150	2	ФЭ	HgMn
148112	ω Her	435	375	2	Ф	CrEu
		170	190	1	Н	
148330	—	390	52	6	Ф	SiSrCrEu
152107	52 Her	267	175	2	Ф	SrCr
		1060	130	4	Н	
172044*	—	1225	370	2	Ф	HgMn
172167	α Lyr	13	26	3	ФЭ	A0V
		130	175	1	Н	
172883	—	140	480	1	Ф	HgMn
175744	—	35	75	1	Ф	λ 3935, 4200
177003	—	158	80	5	Ф	He-r
		186	390	1	Н	
182568	—	19	300	1	Н	He-w
183339	—	1425	260	5	Ф	He-w
		720	220	3	Н	
184905	—	4035	1790	3	Ф	SiCrSr
184927	—	1130	76	9	Ф	He-r

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Звезда HD	$\langle B_e \rangle$, Гс	$\pm \sigma$, Гс	N	Метод	Тип
194003 γ Cyg	33	20	1	ФЭ	F8Ib
197345 α Cyg	0	39	3	ФЭ	A2Ia
201601 γ Equ	560	32	9	Ф	SrCrEu
205073 —	190	160	3	Ф	Am
207260* ν Cep	1313	130	3	Н	A2Ia
208095 —	2270	1280	1	Н	SiSrCrEu
209339 —	230	320	3	Н	He-r
210418 —	74	55	3	Н	λ Boo
215441 —	16180	600	5	Ф	Si, 3955, 4200
	10210	1100	5	Н	
219749 ET And	300	250	2	Н	λ 3955, 4200
220825 kPsc	350	150	3	Ф	SrCr
221568 —	580	70	3	Ф	SrCrEu
226868 Cyg X-1	2550	1860	3	Ф	

Примечания.

HD 33904 — одно измерение из [11].

HD 35456 — усреднены одно наше измерение и пять из [12].

HD 48915 — два наших измерения по линии 4520 FeII усреднены с восемью измерениями из [13].

HD-112413 — измерения сделаны по зеемановским спектрограммам в области спектра λ 3400–3700 Å.[Ф(УФ)] и в области спектра λ 3700–4000 Å (Ф).HD-130559A и B — для звезды B проведены повторные измерения, поэтому величина $\langle B_e \rangle$ немного отличается от значения в [1].

HD 137909 — замечания те же, что и для HD 112413.

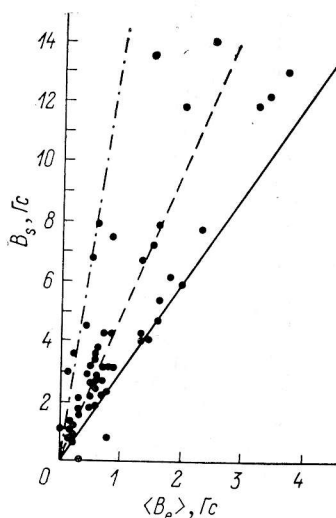
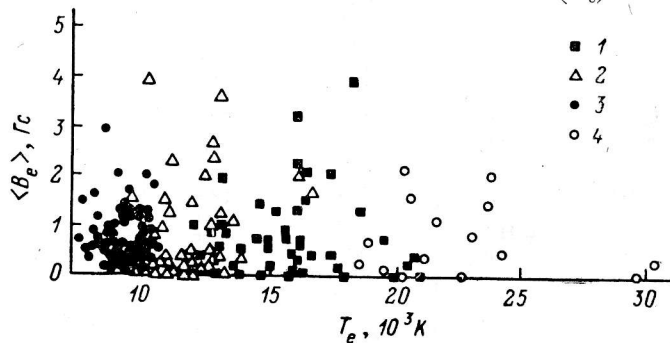
HD 172044 — по-видимому, это звезда He-w типа.

HD 207260 — значимое поле получено в 1983 г., а в конце 1987 г. оно оказалось равным нулю.

усов R определялись там по эмпирической зависимости $R(T_e)$ для нормальных звезд класса светимости V .

В данной работе мы использовали наш новый список значений B_s (готовится к печати), которые определены с использованием более «точных» радиусов. Эти радиусы оценивались по болометрической звездной величине M_v и T_e , причем M_v определены с помощью параметров стремгеновской фотометрии по калибровке Кроуфорда [7, 8].

На рис. 1 представлен график зависимости $B_s - B_e$. Сплошной линией обозначена правая нижняя граница области, занимаемой значениями $\langle B_e \rangle$. Оче-

Рис. 1. График зависимости $B_s - B_e$.Рис. 2. Зависимость $\langle B_e \rangle$ от T_e для CP-звезд различных типов.

1 — HgMn; 2 — He-w; 3 — He-r; 4 — SrCrEu.

видно, что на этой границе расположены те звезды, у которых угол наклона оси вращения к лучу зрения $i \approx 0$ и угол наклона оси диполя к оси вращения $\beta \approx 0^\circ$. В таких случаях значения $\langle B_e \rangle$ принимают максимально возможные величины. Расчет дипольной модели магнитного поля показал, что $B_e \leq 0.3 B_s$, а из рис. 1 видно, что граничная прямая как раз представляет такое соотношение. Этот факт еще раз подтверждает предположение, что общее магнитное поле CP-

звезд в первом приближении является дипольным. Более сложные конфигурации поля дают другое соотношение, например, для квадрупольа $B_e \leq 0.05 B_s$. В случае недипольных конфигураций и при тех B_e , которые наблюдаются, поверхностные поля должны быть очень большими, что сразу было бы замечено по расщеплению и уширению спектральных линий.

Все звезды, которые располагаются слева от рассмотренной сплошной граничной линии на рис. 1 имеют наклон оси вращения i и наклон оси диполя к ней β , менее выгодные с точки зрения видимости магнитных полюсов. Штриховой линией показана средняя зависимость $B_s = 4.8 \langle B_e \rangle$, а штрихпунктирной линией обозначена левая граница области, занимаемой звездами. Она возникает скорее всего потому, что левее ее находятся звезды с практически ненаблюдаемыми полями из-за невыгодной ориентации осей вращения и ориентации диполей по отношению к наблюдателю (у них $i \approx 0^\circ$ и $\beta \approx 90^\circ$).

При исследованиях разного рода зависимостей с использованием $\langle B_e \rangle$ необходимо помнить о значительном рассеянии точек вследствие зависимости $\langle B_e \rangle$ от i . Экспериментально мы установили, что при том количестве $\langle B_e \rangle$ и B_s , которыми мы располагаем, и при той точности их, которая в настоящее время доступна, практически безразлично, берем ли мы B_e или B_s , хотя ясно, что именно B_s определяет физическое состояние вещества на поверхности CP-звезд. Их малое количество и низкая точность иногда заставляют использовать параметры $\langle B_e \rangle$.

Второе замечание заключается в следующем. В связи с накоплением большего числа данных о магнитных полях следует проверить зависимость $B_e(T)_e$, которая в предыдущей работе [1], как мы там отметили, получилась неуверенной. Мы предположили, что среднее магнитное поле CP-звезд растет с ростом температуры. Этот результат противоречит более позднему выводу Глаголевского, Ключковой и Копылова о неизменности магнитного поля CP-звезд с возрастом t . В пределах полосы главной последовательности в случае наличия зависимости $B_e \propto T_e$ мы должны были наблюдать зависимость $B_e \propto 1/T_e$, так как $t \propto 1/T_e$ (точнее, $t \propto 1/M$, так как возраст CP-звезд самой малой и самой большой масс различаются на величину около двух порядков).

ТАБЛИЦА 2

Средние значения магнитных полей и эффективной температуры звезд основных типов пекулярности

Тип	$\langle B_e \rangle$, Гс	$\pm \sigma$, Гс	T_e , К
He-r	750	100	22 000
He-w	800	110	15 500
Si+	740	120	11 500
SrCrEu	710	300	9 700

Для проверки существования зависимости $\langle B_e \rangle(T_e)$ мы использовали значения $\langle B_e \rangle$ из списка в работе [1] и из табл. 1. Имея в виду, что нет значительных систематических различий между B_e , полученных по линиям металлов и по линиям водорода [1], мы использовали и те и другие. На рис. 2 представлена диаграмма $B_e - T_e$ для CP-звезд различных типов, из которой видно отсутствие какой-либо зависимости величины магнитного поля $\langle B_e \rangle$ от температуры.

Вывод об отсутствии зависимости $B_e - (T_e)$ можно сделать также на основании следующих данных. В табл. 2 для CP-звезд основных типов пекулярности мы вычислили средние значения $\langle B_e \rangle$, а также средние T_e (последние на основании работы [9]). Хотя среднее квадратическое рассеяние величин магнитных полей значительно, заметного хода их с температурой не заметно.

В этой таблице в цифровом виде показан тот же эффект, который хорошо заметен на рис. 2.

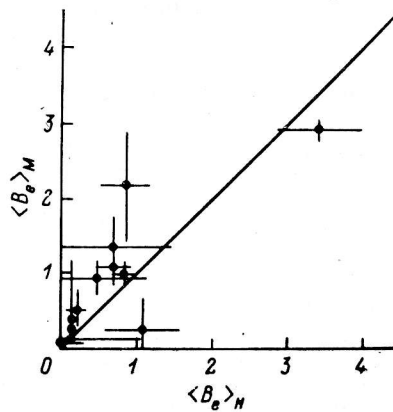


Рис. 3. Сравнение среднеквадратических значений поля $\langle B_e \rangle$.

В нашей предыдущей работе [1] мы проанализировали график зависимости между экстремальными значениями магнитных полей СР-звезд, измеренными по линиям металлов и по линиям водорода. Оказалось, что в первом приближении между ними не существует различий. На основании данных табл. 1 мы на рис. 3 сравнили среднеквадратические значения поля $\langle B_e \rangle_M$, измеренные по линиям металлов, и $\langle B_e \rangle_H$, измеренные по линиям водорода. Оказалось, что в среднем $\langle B_e \rangle_M - \langle B_e \rangle_H = \pm 200$ Гс. Величина разности примерно равна ошибке измерений магнитных полей фотографической методикой. Нет ничего удивительного в том, что наблюдается небольшое систематическое различие между этими величинами, ведь многие химические элементы, по линиям которых измеряются магнитные поля, сконцентрированы в областях, близких к магнитным полюсам, а водород распределен равномерно; поэтому среднее по поверхности поле $\langle B_e \rangle_M$ может иметь большее значение.

Авторы выражают благодарность И. Х. Илиеву, В. Г. Ключковой и Г. А. Чунтонову за участие в наблюдениях.

Л и т е р а т у р а

1. Магнитные поля и другие параметры химически пекулярных звезд. I / Ю. В. Глаголевский, И. И. Романюк, Н. М. Чунакова, В. Г. Штоль // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1986. 23. С. 37—57.
2. Brown D. N., Landstreet J. D., Thompson I. A. A magnetic survey of Ap stars in young clusters — preliminary results // 23-d Liege Coll. 1981. P. 195—198.
3. Instrumentation for measurement of stellar magnetic fields with the 6-m telescope / V. D. Bychkov, E. B. Gazhur, Yu. V. Glagolevskij et al. // *Magnetic stars*. Leningrad: Nauka, 1988. P. 12—21.
4. Опыт эксплуатации ахроматического анализатора круговой поляризации для измерений магнитных полей на БТА / Ю. В. Глаголевский, И. Д. Найденов, И. И. Романюк и др. // *Сообщ. САО*. 1978. 24. С. 61—67.
5. Первые измерения магнитных полей звезд на фотоэлектрическом магнитометре 6-м телескопа / Ю. В. Глаголевский, Г. А. Чунтонов, И. Д. Найденов и др. // *Сообщ. САО*. 1979. 25. С. 5—15.
6. Поляриметр — магнитометр для водородных линий / В. Г. Штоль, В. Д. Бычков, Н. А. Викульев и др. // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1985. 19. С. 66—69.
7. Crawford D. L. Four-color H_β calibration at KPNO // *Dudley Obs. Rep. No. 14*. 1979. P. 23—34.
8. Глаголевский Ю. В. К проблеме торможения химически пекулярных звезд // *Сообщ. САО*. 1987. 54. С. 73—94.
9. Глаголевский Ю. В., Чунакова Н. М. Об эффективных температурах химически пекулярных звезд // *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО). 1986. 22. С. 39—53.

Поступила в редакцию
2 ноября 1988 г.