ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУР И РАДИУСОВ МАГНИТНЫХ CP-ЗВЁЗД С УЧЁТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ

С. Г. Алиев

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси НАН Азербайджана
e-mail: sabir1938@rambler.ru

По спектрограммам высокого разрешения (4 Å/мм) были выявлены наиболее неоднородные (пекулярные) и (относительно) нормальные области на поверхности различных (B4–F0) магнитных CP-звёзд. В этих областях по профилям линий H_γ, H_δ были определены эффективные температуры ($T_{эф}$). Получено, что $T_{эф}$ в пекулярных областях больше на 500–900 K, чем в нормальных частях атмосферы исследуемых CP-звёзд.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что измерения радиусов R и эффективных температур $T_{эф}$ звёзд тесно связаны между собой. Для определения этих фундаментальных параметров нормальных звёзд существуют различные методы, которые опираются на спектральные и фотометрические наблюдения. Наиболее распространённым способом определения радиусов нормальных звезд является измерение их эффективных температур. Однако, неравномерное распределение химических аномалий в атмосферах магнитных звёзд как по поверхности, так и, вероятно, по глубине, наличие сильного локального магнитного поля препятствуют определению эффективных температур и тем самым радиусов этих звезд.

По-видимому, степень проявления наблюдаемых пекулярных (аномальных) свойств в определенной мере зависит от величины магнитного поля, эффективной температуры звезд, взаимного расположения оси вращения и магнитной оси звезды и ориентации этих осей по отношению к наблюдателю.

Следовательно, из-за наличия локальных неоднородностей (пятнистости) на поверхности магнитных звезд, в зависимости от времени наблюдений для эффективных температур получаются различные значения. В связи с этим, мы постарались выявить наиболее пекулярные (пятнистые) области на поверхности звезды и определить фазы, соответствующие пекулярной (P) и относительно нормальной (H) части атмосферы.

Цель работы – выявить наиболее пекулярные (пятнистые) части атмосферы, определить эффективные температуры для этих областей на поверхности исследуемых магнитных звезд и определить по ним радиусы (R) этих звезд. С этой целью нами были выбраны представители различных магнитных CP-звезд в спектральном диапазоне B4–F0. При отборе звезд основными критериями были: типы пекулярности, значения скорости осевого вращения, напряженность поверхностного магнитного поля. Основные сведения для отобранных магнитных CP-звезд приведены в таблице 1 (в 6-м столбце даются значения периодов спектральной и фотометрической переменности, для остальных столбцов пояснения не требуются).

МАТЕРИАЛЫ НАБЛЮДЕНИЙ И ОБРАБОТКА

Для решения поставленной задачи были использованы материалы спектральных наблюдений, проводимых на 2-м телескопе ШАО, которые были начаты в 1970 г. К настоящему времени было получено большое количество высококачественных спектров (4 Å/мм) в двух вариантах: а) фотографические; б) ПЗС-спектры. Полученные материалы охватывают полный период для каждой звезды.

Из-за неоднородности поверхности магнитных CP-звезд на некоторых фазах наблюдаемые профили пекулярных элементов разделяются на компоненты. Несмотря на это, во всех спектрограммах были измерены полные (суммарные) эквивалентные ширины W_λ (средние по всему диску звезды) для линий водорода и основных пекулярных элементов (по типу пекулярности) (Si, Sr, Cr, Eu, Ca и т. д.). Одновременно измерены и лучевые скорости V_r по центру тяжести спектральных линий пекулярных элементов.

Построены фазовые зависимости величин W_λ для линий водородных и пекулярных элементов. Далее были построены фазовые кривые и напряженности магнитного поля (B_e), и блеска исследуемых звезд.

Таблица 1.

№ п/п	HD	m_v	Sp МК	Тип	P (год)	$V \sin i$ (км/с)	B_e (Гс)
1	19832	5.60	B8p	Si 4200	0.728	142	–350/+550
2	34452	5.40	A0p	Si 4200	2.466	85	+550/–600
3	40312	2.64	B9p	Si	3.619	49	+270/–370
4	65339	6.00	A2p	Sr, Cr, Eu	8.020	15	+4200/–5400
5	118662	5.25	A0p	Cr, Sr	5.080	14	–1100/+450
6	108945	5.49	A2p	Sr, Eu	2.004	64	0/–400
7	112185	1.70	A0p	Cr, Eu	5.090	25	–
8	112413	2.90	A0p	Cr, Eu, Sr	5.470	29	–1400/+1600
9	118022	4.93	A1p	Cr, Sr	3.722	14	–130/–800
10	124224	4.90	B9p	Si 4200	0.521	119	–600/+1000
11	133029	6.16	B9p	Si 4200	0.741	25	+4060/–1150
12	137909	3.72	F0p	Sr, Eu	18.49	18	+650/–430
13	140160	5.26	A0p	Sr	1.596	64	+760/–1840
14	140728	5.48	B9p	Si, Cr	1.296	70	+310/–1110
15	148112	4.56	A1p	Cr, Sr, Eu	3.043	35	–250/–100
16	184905	6.50	B9p	Si 4200	1.845	51	∼3000
17	189849	4.70	A7m	Cr, Sr	14.00	20	+420/–630
18	193722	6.15	A0p	Si 4200	1.134	42	± ∼
19	196502	5.20	A2p	Sr, Eu	20.27	3	–700/+200
20	201601	4.76	F0p	Sr, Eu	78	13	+200/+880
21	220825	4.96	A0p	Sr, Cr	0.583	48	–450/–200
22	224801	6.25	B9p	Si, Cr	3.739	37	+2300 ∼

Сравнения фазовых зависимостей величин W_λ, B_e и блеска показывают, что фазы главных максимумов этих кривых совпадают (в пределах точности определения $\Delta\varphi = \pm 0.06$). При этом нулевая лучевая скорость ($V_r = 0$ км/с) соответствует фазам максимальных и минимальных значений рассматриваемых величин. Согласно теории наклонного ротатора, фаза главного максимума соответствует наиболее пекулярной части на поверхности звезды [1].

Таким образом, для каждой звезды были определены фазы, соответствующие наиболее пекулярным (максимум – P) и относительно нормальным (минимум – H) областям на поверхности звезды. Полученные результаты приведены в таблице 2, где последовательно приводятся:

1 – номер звезды по HD;

2 – спектральный класс Sp(K), найденный по линиям Fe II и Ti II из [2];

3–4 – фазы, соответствующие пекулярной (P) и нормальной (H) части на поверхности звезды;

5–6 – эффективные температуры $T_{\text{эф}}$ для пекулярной и нормальной области атмосферы, найденные по контурам водородных линий (H_γ, H_δ);

7 – разницы температур $\Delta T = T_e(P) - T_e(H)$;

8 – эффективные температуры [3];

9 – радиусы, найденные по величине $T_{\text{эф}}(H)$ для нормальной области на поверхности звезд.

С целью определения эффективных температур в спектрах каждой звезды для фаз максимума (P) и минимума (H) отобраны профили линий H_γ и H_δ. Проведены сравнения наблюдаемых и теоретических профилей Куруча [4]. В результате сопоставления профилей были определены величины $T_{\text{эф}}(P, H)$ для фаз максимума и минимума каждой звезды. Найденные значения $T_{\text{эф}}$ приведены в столбцах 5 и 6 таблицы 2.

С целью сравнения найденных нами эффективных температур с данными других авторов, в столбце 8 таблицы 2 приводятся значения величин $T_{\text{эф}}$ по [3]. Из этой таблицы видно, что величина $T_{\text{эф}}$ для нормальной части атмосферы исследуемых звезд почти совпадает с результатом [3] в пределах точности измерений ($\Delta T = \pm 300$ K).

Исходя из этого, при определении радиусов звезд были использованы значения $T_{\text{эф}}$, полученные для нормальной области поверхности звезд.

Для определения радиусов (R) исследуемых звезд использована известная формула:

$$\lg R = 8.46 - 2 \lg T_e - 0.2 M_b. \tag{1}$$

При этом болометрические поправки (BC) брали из [5]. Результаты определения радиусов приведены в

Таблица 2.

HD	Sp(K)	φ		$T_{эф}$		ΔT	$T_{эф}$ (Г)	R
		P	H	P	H			
19832	B7.30	0.30	0.00	12800	12400	400	12510	2.01
34452	–	0.65	0.00	15500	15000	500	15650	4.40
40312	B9.10	0.55	0.30	9800	8800	500	9950	3.10
65339	–	0.20	0.50	9000	8200	800	8400	2.33
108662	B9.35	0.00	0.45	10500	9800	700	10000	1.96
108945	A2.45	0.00	0.70	9100	8400	700	8950	2.33
112185	A1.05	0.35	0.60	9500	8800	700	8900	2.25
112413	B7.90	0.40	0.70	12500	11800	700	11900	2.50
118022	A0.00	–	–	9600	8200	1400	9450	2.30
124224	B7.20	0.70	0.20	12800	12200	600	12400	2.37
133029	–	0.55	0.00	11500	10600	900	11000	2.24
137909	A7.70	0.10	0.60	7800	7000	800	7880	2.01
140160	–	0.40	0.00	9500	8500	1000	9100	2.61
140728	–	0.00	0.50	10200	9000	1200	–	2.01
148112	A0.00	–	–	9700	9000	700	9400	2.30
184905	B8.20	0.70	0.35	13000	12500	500	10100	3.01
189849	–	0.55	0.00	7900	7000	900	8100	2.68
193722	–	0.65	0.15	12800	12200	600	11700	2.48
196502	A2.90	0.05	0.70	8900	8100	800	8900	2.46
201601	A8.65	max	min	7800	7000	800	7600	2.70
220825	B9.90	0.55	0.25	10500	9400	1100	9600	2.00
224801	B7.60	0.00	0.30	12400	11900	500	11750	2.01

столбце 9 таблицы 2. Сопоставления с данными других авторов показывают, что полученные значения величин R, хорошо согласуются с результатами Абта [6]. Большие расхождения обнаруживаются для звезд HD 34452, HD 40312.

По-видимому, это связано с тем, что в работе [6] не учитывалась неоднородность для исследуемых магнитных CP-звезд.

ВЫВОДЫ

1. Фазы максимумов интенсивности основных пекулярных элементов (за исключением хрома) магнитного поля и блеска совпадают в пределах точности определения $\Delta\varphi = 0.06$.
2. Для аномальных и нормальных областей разница температур для магнитных звезд B4–A0 составляет примерно 500 K, а для поздних (A2–F0) MCP-звезд $\Delta T \approx 900$ K.
3. Радиусы, найденные по величинам $T_{эф}(H)$, лучше соответствуют значениям, полученным другими способами.

[1] *Алиев С. Г., Зейналов С. Г.* Изучение пятнистой структуры атмосферы у магнитной CP-звезды 56 Ari // Изв. НАН Азербайджана. – 2006. – № 2. – С. 222–228.

[2] *Копылов И. М.* Количественные спектральные индексы пекулярности CP-звезд верхней части главной последовательности // Астрофиз. исследование (Изв. САО). – 1987. – **24**. – С. 44–67.

[3] *Глаголевский Ю. В., Чунакова Н. М.* Об эффективных температурах химически пекулярных звезд // Астрофиз. исследование (Изв. САО). – 1986. – **22**. – С. 39–53.

[4] *Kurucz R. L.* Model atmospheres for G, F, A, B and O stars // Astrophys. J. Suppl. Ser. – 1979. – **40**. – P. 1–340.

[5] *Страйжис В.* Многоцветная фотометрия звезд. – Вильнюс: Мокслас, 1977. – 310 с.

[6] *Abt H. A.* Are stellar rotational axes distributed randomly? // Astron. J. – 2001. – **122**. – P. 2008–2012.