

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР МАГНИТНЫХ ЗВЁЗД С УЧЁТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ АТМОСФЕРЫ

С.Г.АЛИЕВ

*Шамахинская Астрофизическая Обсерватория НАН Азербайджана
AZ 1243, г.Шамаха*

На основе комплексных наблюдений были выявлены наиболее пекулярные (аномальные) области на поверхности различных (В4-FO) магнитных CP-звезд. Определены эффективные температуры (T_e) в пекулярных нормальных областях в атмосфере исследуемых MCP-звезд. Получено, что величина T_e в пекулярных областях в среднем на 1000К больше, чем в нормальных частях атмосферы этих звезд.

ВВЕДЕНИЕ

Основными отличительными свойствами химически пекулярных (CP) магнитных звёзд, расположенных в пределах полосы главной последовательности (ГП) являются следующие особенности: аномалии различных химических (пекулярных) элементов, наличие мощного магнитного поля (B_e) и относительно малые скорости осевого вращения ($V \sin i$).

Со времени начала исследований результаты спектральных и фотометрических наблюдений показали, что глобальные характеристики магнитных звёзд (распределение энергии в спектре, интенсивности и профили водородных линий, фотометрические индексы и т.д.) не сильно отличаются от соответствующих характеристик нормальных звёзд ГП. Некоторые магнитно-переменные CP-звёзды (78Vir, 68Tau и др.) даже в настоящее время принимаются как фотометрические стандарты. Это привело к тому, что во многих работах применялись те же методы, что и для нормальных звёзд тех же спектральных классов (V-III). Анализ недавних результатов, полученных со спутника ГИППАРХ, подтверждает эти представления[1].

Результаты большинства работ по магнитным звёздам показали, что распределение различных химических элементов (Si, Sr, Cr, Eu, и т.д.), как по поверхности, так и, вероятно, по глубине атмосферы магнитных звёзд являются неравномерными и носят локальный (пятнистый) характер. Именно неравномерность распределения химических аномалий в атмосферах этих звёзд по поверхности и по глубине атмосферы [2], наличие сильного ($B_e \geq 200$ Гс) и, возможно, локально крайне неоднородного магнитного поля препятствуют прямому применению методов определения эффективных температур для пекулярных звёзд.

Эти и другие пекулярные характеристики магнитных звёзд не позволяют получить однозначные значения для физических параметров, в том числе, и эффективных температур магнитных CP-звёзд.

Как известно, понятие эффективной температуры предназначено для того, чтобы описать полный поток излучения, выходящий с квадратного сантиметра поверхности звезды.

В случае магнитных CP-звёзд возникают трудности, связанные с пятнистостью (неоднородностью) условий на поверхности этих звёзд. Из-за локальной неоднородности яркость в различных точках поверхности магнитных CP-звёзд различна. Поэтому для этих звёзд значение T_{ef} зависит от ориентации оси вращения звезды по отношению к лучу зрения. Из вышеизложенных фактов вытекает, что определяемая средняя эффективная температура для звёзд с пятнистой поверхностью не соответствует реальному значению ни в пятне, ни вне его.

Для решения этой проблемы мы, в первую очередь, попытались выявить пятнистую структуру на поверхности исследуемых магнитных звёзд. Для этого необходимо было провести комплексный анализ результатов спектральных, магнитных и фотометрических наблюдений [2].

Цель работы - выявить наиболее пекулярные (неоднородные) части атмосферы, которые вносят наибольший вклад в наблюдения, определить эффективные температуры для пятнистой (P) и нормальной (N) области на поверхности исследуемых магнитных звёзд.

ВЫБОР ОБЪЕКТОВ И ИХ НАБЛЮДЕНИЯ

Для решения поставленной задачи нами были выбраны представители различных магнитных CP-звёзд в спектральном диапазоне В4-F0. При отборе звёзд основное внимание было уделено следующим особенностям, которые являются характерными для магнитных CP-звёзд:

1. Подобраны звёзды с различными значениями магнитного поля B_e на основании литературных данных;
2. В программу включены все известные типы пекулярности магнитных звёзд, за исключением Mn-Hg звёзд;
3. Звёзды с различными значениями осевого вращения - $V \sin i$;
4. Звёзды, принадлежащие к различным спектральным классам в интервале В4-F0.

С целью сравнения и для определения ошибки измерения в программу были включены и нормальные звёзды, соответствующие тем же спектральным классам магнитных звёзд. Основные сведения для отобранных магнитных CP-звёзд приведены в Таблице 1, в 6-ом столбце этой таблицы даются значения периодов спектральной и фотометрической переменности, а для остальных не требуется пояснений.

Таблица 1.

№	HD	m_v	Sp MK	Тип	P (d)	V sini (km/s)	B_e (gauss)
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	108662	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	1200 ~
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 год	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 ~

Для исследования программных звёзд были использованы материалы спектральных наблюдений, проводимых на 2-м телескопе ШАО им. Н.Туси НАН Азербайджана, которые были начаты в 1970г. К настоящему времени получено большое количество высококачественных спектров ($4\text{Å}/\text{мм}$) в двух вариантах: а) фотографические и б) CCD спектры, полученные на эшелле-спектрометре в сочетании ПЗС-камерой [3].

Полученные материалы охватывают полный период для каждой звёзды. Из имеющегося в нашем распоряжении большого количества фотографических спектров для каждой программной звёзды мы отобрали те спектрограммы, которые были получены почти в одинаковом режиме.

Для оценки точности измерения были использованы спектрограммы для нормальных (стандартных) звёзд. Ошибки измерений длин волн для различных линий в среднем составляет $\Delta\lambda = \pm 0.03\text{Å}$. Вероятная относительная ошибка измерения эквивалентных ширин W_λ в зависимости от интенсивности линии составляет $8\div 12\%$.

Второй этап наших спектральных наблюдений проведен на эшелле-спектрометре с применением ПЗС-матрицы с 530×580 элементами. Подробная информация о редукции и методике обработки CCD спектров приведена в [3,4,5].

ВЫЯВЛЕНИИ АНОМАЛЬНЫХ (ПЕКУЛЯРНЫХ) ОБЛАСТЕЙ

Известно, что некоторые химические (пекулярные) элементы распределены на поверхности вращающихся магнитных звёзд неравномерно и концентрируются в (аномальных) областях в виде пятен. В отличие от Солнца выявление пятнистости на поверхности звёзды практически невозможно, так как угловые диаметры самых близких магнитных звёзд составляют примерно 0.001 сек. дуги. Тем не менее, существуют разные косвенные способы, с помощью которых определяют расположение отдельных пятен на поверхности звёзды и их координаты. В основе всех этих методов лежит процедура разделения наблюдаемых контуров линий на компоненты. Однако результаты таких исследований часто приводят к разногласию. Этот вопрос детально обсуждался в [2], где предлагался относительно простой метод, с помощью которого можно определить фазы соответствующие наиболее пекулярной части на поверхности звёзды.

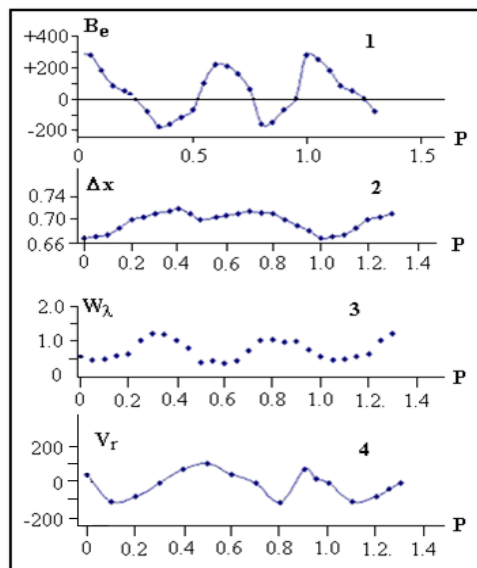
Для этих целей во всех спектрограммах были измерены полные эквивалентные ширины W_λ (средние по всему диску звезды) полуширины $\Delta\lambda/2$, глубины R_v для линий водорода и пекулярных элементов (по типу пекулярности). Одновременно измерены и лучевые скорости V_r по центру тяжести линий пекулярных элементов (Si, Cr, Sr, Ca, Eu и т.д). Таблица, содержащая список большинства используемых линий приведена в [2], которая занимает много места, поэтому мы не приводим ее в данной статье.

С целью сравнения были обработаны те же выбранные линии в спектрах нормальных (стандартных) звезд. Для каждой звезды были построены кривые зависимости параметров W_λ , $\Delta\lambda/2$, R_0 и V_r линий водорода и пекулярных элементов от фазы. Было выявлено, что для большинства исследуемых звезд все измеренные параметры линий водорода и основных аномальных элементов изменяются синфазно (Рис.1) в пределах точности измерений ($\Delta\phi = 0.05$).

Тем не менее в спектрах одной и той же звёзды не наблюдается единообразия в поведении линий различных элементов. Практически в спектрах магнитных V_p звёзд линии кремния (Si) и ряда других элементов меняются вне фазы с линиями водорода (H) и гелия (He). Например, в спектрах магнитных V_p -

звёзд HD19832 (B8) и HD124224 (B7) линии H и He меняются вне фазы с линиями SiII, CaII и MgII. В спектрах МСР-звёзды HD34452 (B6) линии HeI, MgII и CaII меняются синфазно, а линии FeII меняются вне фазы. Эта звезда принадлежит к числу самых горячих из известных МСР-звёзд.

Интенсивности линий всех пекулярных элементов, за исключением HeI, значительно усилены (5-10 раз) в спектре HD34452 по сравнению с нормальной звездой i Her ($T_e=17000^\circ$).



Неоднообразные поведения линий различных химических элементов обнаруживаются и в спектрах Ap-звёзд. В спектрах магнитной Ap-звёзды HD140160 линии SrII и CaII меняются вне фазы [2]. Изменение суммарной эквивалентной ширины линии $\lambda 4215,52$ SrII происходит вне фазы с линией к CaII. Сдвиг по фазе между максимумом и минимумом этих линий достигает $0.25p$. По-видимому, области центра тяжести концентрации Sr и Ca различаются на поверхности этой звёзды, так как интенсивности линий этих элементов меняются не синфазно.

Рис.1.

Фазовые зависимости величин Be, блеска (Δx), W_λ (SiII) и лучевые скорости (V_r) для Teta Aur

В спектрах kPsc линий элементов r-процесса (Os, W и U) меняются почти в антифазе с линиями обычных элементов (Si, Sr, Cr, Fe и т.д.). Содержание элементов r-процесса в атмосферах звёзд по сравнению с обычными элементами слишком мало. Поэтому изменения величин W_λ линий тяжелых элементов почти не вносят значимого вклада в изменение блеска этой звёзды.

С целью выявления аномальных (пятнистых) областей на поверхности исследуемых звёзд были привлечены результаты магнитных и фотометрических наблюдений.

Для каждой звёзды были построены фазовые зависимости интенсивности магнитного поля (Be) и блеска (V фильтре системе UVB). А для звезд HD19832 и HD184905 были использованы данные для 10-ти цветных фотоэлектрических наблюдений, которые были проведены почти одновременно со спектральными наблюдениями исследуемых звёзд [2]. Установлено, что построенные фазовые кривые различны для разных звёзд.

Сравнение фазовых зависимостей показывает, что главные максимумы интенсивности линий пекулярных элементов магнитного поля и блеска для большинства звёзд совпадают по фазе (в пределах $\Delta\phi=\pm 0.1$). При этом нулевая лучевая скорость ($V=0$) соответствует фазам экстремумов рассматриваемых величин (W_λ , Be и V). Согласно теории наклонного пятнистого ротатора это означает, что фаза главного максимума соответствует наиболее пятнистой (аномальной) области на поверхности звёзды.

Таким образом, для исследуемых МСР-звезд были определены фазы, которые соответствуют наиболее пекулярным (P) и относительно нормальным (H) областям на поверхности звёзд. Найденные значения этих фаз приведены в 3 и 4 столбцах Таблицы 2.

Исходя из этого, для дальнейших исследований нами были отобраны наблюдательные материалы, которые соответствуют наибольшей пекулярной (P) и относительно нормальной (H) части атмосферы звёзд. На базе выбранных

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУР МАГНИТНЫХ
ЗВЁЗД С УЧЁТОМ НЕОДНОРОДНОСТИ АТМОСФЕРЫ

спектров, в первую очередь, были определены фундаментальные параметры (T_e и I_{gg}) для каждой из исследуемых МСР-звёзд.

Таблица 2.

HD	Sp (K)	ϕ		T_e		T_e (K)	T_e (Q)	ΔT
		P	H	P	H			
19832	B7.30	0.30	0.00	12800	12400	12600	12510	400
34452	-	0.65	0.00	15500	15000	-	15650	500
40312	B9.10	0.55	0.30	9800	8800	10350	9950	500
65339	-	0.20	0.50	9000	8200	-	8400	800
108662	B9.35	0.00	0.45	10500	9800	10100	-	700
108945	A2.45	0.00	0.70	9100	8400	8920	8950	700
112185	A1.05	0.35	0.60	9500	8800	9300	-	700
112413	B7.90	0.40	0.70	12500	11200	11700	11900	1300
118022	A0.00			9600	8200	9600	9450	1400
124224	B7.20	0.70	0.20	12800	12200	12700	12400	600
133029	-	0.55	0.00	11500	10600	-	11000	900
137909	A7.70	0.10	0.60	7800	7000	7800	7880	800
140160	-	0.40	0.00	9500	8500	-	9100	1000
140728	-	0.00	0.50	10200	9000	-	-	1200
148112	A0.00			9700	9000	9620	9400	700
184905	B8.20	0.70	0.35	13000	11500	-	10100	1500
189849	-	0.55	0.00	7900	7000	-	-	900
193722	-	0.65	0.15	12800	11200	-	11700	1600
196502	A2.90	0.05	0.70	8900	8100	8820	8900	800
201601	A8.65	max	min	7600	7000	7580	-	600
220825	B9.90	0.55	0.25	10500	9400	9710	9600	1100
224801	B7.60	0.00	0.30	11600	10400	12150	11750	1200

Для определения эффективной температуры мы пользовались методом сравнения (обработанных) профилей водородных линий H_γ с вычисленными на основе точных моделей [6,7].

Наблюдаемые профили измерены нами по нескольким (2-4) спектрограммам, которые относятся к фазам максимума (P-пятнистая область) и минимума (Н-относительно нормальная область) каждой исследуемой звезды.

При выборе наиболее подходящего теоретического профиля особое внимание было уделено наилучшим совпадениям, в основном, крыльных частей, наблюдаемых и вычисленных профилей линий. Найденные значения эффективной температуры для аномальной (P) и нормальной (H) части атмосферы приведены в Таблице 2 в столбцах 5 и 6, соответственно.

С целью сравнения результатов значений T_e , найденных нами и другими авторами, в столбцах 7 и 8 даются значения величин T_e по работам [8,9].

Из сравнений видно, что найденные нами значения T_e для нормальных частей атмосферы почти совпадают с результатом [8,9], тогда как найденные значения T_e для пекулярных областей в среднем, на 1000К больше, чем в нормальных частях атмосферы исследуемых звезд.

По-видимому, это связано с дополнительным непрерывным поглощением, избытком пекулярных элементов и наличием магнитного поля, изменяющими структуру атмосферы МСР-звезд. Одновременно избытки пекулярных элементов вызывают дополнительный покровный эффект, что может привести к изменению градиента температуры по высоте атмосферы в области пятен. Эти механизмы позволяют объяснить наблюдаемые изменения температур и блеска магнитных СР-звезд.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Было выявлено, что фазы главного максимума интенсивности линий пекулярных элементов, магнитного поля и блеска для исследуемых МСР-звезд совпадают, в пределах точности определений.
2. Для пекулярных и нормальных областей разница температур магнитных Вр-звезд примерно составляет 500К, а для остальных исследуемых МСР-звезд (Ар) - $\Delta T \approx 1000\text{K}$.
3. Изменение температур в атмосферах МСР-звезд, по-видимому, вызвано изменениями структуры атмосферы, которые связаны с наличием сильного магнитного поля и аномалиями пекулярных элементов в пятнистых областях на поверхности этих звезд.

В заключение считаю приятным долгом выразить благодарность директору ШАО член кор. НАНА А.С.Гулиеву за внимание и заботу, Ш.К.Исмаиловой за помощь при подготовке статьи к печати.

1. Ю.В.Глаголевский. *Bull. Spec. Astrophys. Observatory*, **53** (2002), 33.
2. С.Г.Алиев, С.К.Зейналов, *Transactions of Azerbaijan Academy of Sciences, Series of Physical-mathematical and Technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXV** №5 (2005) 239.
3. С.Г.Алиев, Н.З.Исмаилов, *Астроном. Журн.*, **77** (2000) 834.
4. Ф.А.Мусаев, *Письма в Астрон. журн.*, **19** (1993) 776.
5. Г.А.Глазутдинов, *Препринт САО РАН*, **92** (1992) 3.
6. R.Kurucz, *Astrophys. J. suppl. ser.*, **40** №1 (1979) 1.
7. D.Mihalas, *Astrophys.J. suppl.*, **13** №114 (1966) 1.
8. И.М.Капылов, *Астрофиз. Исслед. (Изв. САО)*, **24** (1987) 44.
9. Ю.В.Глаголовский, Н.М.Чунакова, *Астрофиз. исслед. (Изв.САО)*, **22** (1986) 39.

**MAQNIT ULDUZLARINDA ATMOSFERİN QEYRİ BİRCİNSLİLİYİ NƏZƏRƏ
ALINMAQLA TEMPERATURUN TƏYİNİ**

S. HƏLİYEV

Kompleks müşahidələr əsasında müxtəlif CP–maqnit ulduzlarının (B4-F0) səthində ən çox anomal (pekulyar) oblastlar aşkar edilmişdir.

Tədqiq edilən CP-maqnit (CPM) ulduzlarında atmosferin pekulyar (ləkəli) və normal hissələri üçün effektiv temperatur (T_e) təyin edilmişdir.

Alınmışdır ki, atmosferin pekulyar hissəsinin temperaturu normal hissəyə nisbətən təxminən 1000K çoxdur.

**DETERMINATION OF THE TEMPERATURES OF MAGNETIC STARS WITH TAKING INTO
ACCOUNT ATMOSPHERIC INHOMOGENEITY**

S.H.ALIYEV

The largest peculiarities regions on the surfaces of different magnetic CP-stars (B4-FO) have been found on the bases of complex observations.

The effective temperatures (T_e) have been found in the peculiarities and normal regions of the atmospheres investigations stars.

The effective temperatures of the peculiarities regions in average 1000K large than in the normal regions.

Редактор: Б.Рустамов