

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕР ЗВЕЗД КРАСНОЙ ЧАСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ВЕТВИ HD 173920 и HD 224342

В. Г. Клочкова, Г. Ю. Таутвайшене

На основе высокодисперсионных спектрограмм, полученных на основном звездном спектрографе 6-м телескопа САО АН СССР, установлены основные физические параметры и содержание 19 химических элементов в атмосферах двух звезд, заподозренных в принадлежности к красной части горизонтальной ветви галактического поля. Обнаружено, что отношения $[O/Fe]$, $[Na/Fe]$ и $[Si/Fe]$ в исследуемых звездах повышено, отношения других элементов близки к солнечным.

The atmospheric parameters and abundances of 19 chemical elements are determined in the atmospheres of two red horizontal-branch candidates in the galactic field using the high-dispersion spectrograms obtained on the 6-meter telescope. The ratios $[O/Fe]$, $[Na/Fe]$ and $[Si/Fe]$ are found to be positive. Other elements exhibit solar abundances.

Интерпретация горизонтальной ветви шаровых скоплений как последовательности звезд с горением гелия в ядре была предложена Хойлом и Шварцшильдом (F. Hoyle, M. Schwarzschild) в 1955 г. На горизонтальную ветвь звезда попадает после гелиевой вспышки в ядре звезды, достигнувшей верхушки последовательности красных гигантов. Менее массивные ($\sim 0.6-0.7 M_{\odot}$) или потерявшие много массы во время вспышки звезды перескакивают на голубую часть горизонтальной ветви (ВНВ), более массивные ($\sim 0.8-0.9 M_{\odot}$) попадают на красную ее часть (РНВ). Аналогичные звезды встречаются не только в шаровых скоплениях, но и в галактическом поле. Наиболее хорошо изучены свободные звезды голубой части горизонтальной ветви. Их исследование проводилось и по высокодисперсионным спектрам, полученным на 6-м телескопе САО АН СССР [1, 2].

Звезды красной части горизонтальной ветви удалось отождествить в галактическом поле лишь недавно, поэтому они мало исследованы методом спектрального анализа.

Большие возможности для обнаружения звезд РНВ дает Вильнюсская фотометрическая система. Исследованы два метода выделения звезд РНВ. Один из них основывается на использовании диаграммы $U-P$, $V-S$, другой — на использовании диаграммы Q_{UP} , Q_{XS} [3, 4]. Этими методами выделено несколько десятков звезд РНВ [3, 5, 6]. Детальному исследованию химического состава двух ярких звезд из списка [3] — HD 173920 и HD 224342 — посвящена настоящая работа.

Наблюдательный материал. Спектрограммы исследуемых звезд получены на основном звездном спектрографе 6-м телескопа САО АН СССР в августе 1986 г. Спектрограммы снимались на фотопластинках Кодак 403aF в диапазоне длин волн от 5100 до 6700 Å с обратной дисперсией 14 Å/мм. Спектрофотометрическая обработка проводилась по записям на микрофотометре прямых интенсивностей. Идентификация спектральных линий проводилась с использованием Льежского атласа солнечного спектра [7] и атласа спектра Арктур [8]. Возможное блендирование линий проверялось по каталогу Мур и др. [9] и по списку спектральных линий Куруца и Питремана [10]. Измеренные эквивалентные ширины линий приведены в табл. 1. Эквивалентные ширины линий, определенные по нескольким спектрограммам, были усреднены.

Метод анализа. Анализ проводился дифференциальным методом моделей атмосфер. Использовались модели поздних гигантов из работы [11]. Все вы-

ТАБЛИЦА 1
Эквивалентные ширины W , мÅ, линий в спектрах исследуемых звезд

Элемент	HD 173920	HD 224342	Элемент	HD 173920	HD 224342	Элемент	HD 173920	HD 224342
O I			VI			6165.37	85	32
6300.32	48	65	6111.65	20	10	6200.32	161	52
Na I			6233.17	13		6213.44	130	88
5682.63	170	130	6251.83	38	16	6219.29	144	100
5688.21	180	150	Cr I			6246.33	173	134
6154.23	56	41	5296.69	190	119	6252.56	184	144
6160.75	89	85	5304.18	23	14	6335.34	155	122
Mg I			5345.80	210	159	6336.84	130	104
5172.68	665	452	5348.31	190	103	6358.69	127	52
5183.60	710	398	5409.77	216	177	6380.75	73	26
5711.09	168	114	5787.97	89	26	6393.60	204	169
Si I			Cr II			6421.36	166	139
5645.61	87	31	5237.28	94	124	6430.85	175	140
5665.56	62	38	5305.86	54	52	Fe II		
			5308.38	53	55	5197.56	186	195
5690.43	80	51	5310.66	46	26	5234.62	203	
5708.40	186	79	5313.53	78	73	5325.56	119	111
5772.15	102	46	5502.03	73	58	5414.09	73	74
5793.13	73	64	Mn I			5425.27	86	96
6125.02	28	15	5377.64	65	50	5534.85	142	133
6145.02	57		5420.36	130	55	6113.33	39	40
6237.32	88	66	6013.51	127	84	6149.23	92	72
6244.11	83	37	6021.82	128	96	6432.67	90	84
Si II			Fe I			Co I		
6347.11	81	111	5159.07	134	58	5212.69		10
6371.37	66	85	5322.05	104	36	5342.69	45	32
Ca I			5373.70	80	15	5352.05	29	38
5581.97	127	88	5379.58	77	44	Ni I		
5588.75	200	185	5383.37	171	178	5155.76	110	64
5594.46	170	179	5393.17	158	150	5176.56	130	32
6166.44	107	36	5398.28	126	52	5578.71	105	28
6169.04	140	92	5417.04	40	13	5754.66	200	58
6169.56	172	93	5434.53	220	249	5805.21	70	20
6439.08	198	217	5445.04	138	122	6176.81	149	48
6471.66	144	80	5464.29	23	19	6186.71	68	33
6493.78	170	176	5501.47	175	165	6204.60	14	15
6499.65	118	65	5506.78	194	194	6378.25	57	17
Sc II			5560.23	64	27			
5239.82	139	99	5569.62	175	149	6482.80	107	13
5318.34	65	28	5576.10	146	113	6643.63	160	70
5526.82	154	162	5618.65	90	29	Cu I		
5640.99		108	5633.97	104	52	5218.20	34	16
5657.87	157	198	5638.27	127	64	5782.13	126	66
5669.04	137	97	5679.02	91	31	Zn I		
6245.66	102		5752.04	100	22	6362.35		19
6320.87	42	37	5753.14	130	69	Y II		
Ti I			5806.73	81	30	5200.41	109	95
5648.57	20		5859.61	119	50	5289.82	29	30
5866.45	86	11	5862.36	114	57			
6258.10	123	31	5905.67	90	38	Ba II		
6261.10	82	15	5984.80	118	57	5853.68	171	184
Ti II			5987.06	96	44	Nd II		
5185.88	172	144	6055.99	110	50	5276.88	12	9
5336.78	146	173	6065.49	224	173	Eu II		
5418.76	124		6151.62	95	32	6437.64	26	21
			6157.73	133	45	6645.11	44	35

числения выполнялись на вычислительной машине БЭСМ-6 по модифицированной Гальдикасом [12] программе ATLAS-5 [13]. Источники применявшихся сил осцилляторов и подробности метода анализа приведены в работе [14]. Силы осцилляторов для большинства линий нейтрального кремния, не исследованного в [14], были взяты из работы [15]. По ним было определено содержание кремния в фотосфере Солнца: $\lg A(\text{Si}) = 7.54 \text{ dex}$. Для остальных линий Si I и Si II силы осцилляторов были установлены путем обратного анализа спектра Солнца с принятием установленного значения $\lg A(\text{Si})$. Для линий

EuII силы осцилляторов установлены аналогично с принятием для Солнца $\lg A(\text{Eu})=0.71$ dex из работы [16]. Сила осциллятора для линии OI $\lambda 6300 \text{ \AA}$ была взята из работы [17], установленное по ней содержание кислорода в фотосфере Солнца равно 8.86 dex.

Эффективные температуры исследуемых звезд были определены по фотометрическим показателям цвета $Y-V$ (Вильнюсская система), взятым из [5], где они приводятся после исключения межзвездного покраснения. Связь $(Y-V)_0$ с эффективной температурой взята из работы [18].

Величина силы тяжести на поверхности звезды установлена по условию ионизационного равновесия для нейтральных и однократно ионизованных линий железа. Микротурбулентная скорость и содержание железа было установлено по методике, описанной в [14]. Относительное содержание других химических элементов определили, пользуясь тремя моделями с $[A/H]=0, -0.5$ и -1.0 для каждой звезды, линейно интерполированными в сетке моделей [11] по установленным параметрам T_e , $\lg g$ и ξ_t , приведенным в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2
Основные физические параметры исследуемых звезд

HD	T_e К	$\lg g$	[Fe/H]	ξ_t , км/с
173920	5300	2.3	-0.16	2.6
224342	5600	1.6	-0.64	3.5

Обсуждение результатов. Полученные значения содержания химических элементов приведены в табл. 3. Влияние источников ошибок на определение содержания химических элементов обсуждалось в работе [14]. Для большинства элементов ошибки не превышают ± 0.15 dex, а в том случае, когда элемент представлен малым числом слабых линий, ошибки могут достигнуть ± 0.30 dex.

ТАБЛИЦА 3
Содержание химических элементов в атмосферах исследуемых звезд относительно Солнца

Элемент	HD 173920	HD 224342	Элемент	HD 173920	HD 224342	Элемент	HD 173920	HD 224342
OI	+0.06	-0.08	TiII	+0.06	-0.56	NiI	-0.04	-0.66
NaI	+0.22	-0.07	VI	-0.19	-0.24	CuI	-0.13	-0.43
MgI	-0.18	-0.42	CrI	-0.07	-0.54	ZnI		-0.53
SiI	+0.11	-0.40	CrII	-0.22	-0.74	YII	-0.24	-0.63
SiII	+0.00	-0.44	MnI	-0.27	-0.49	BaII	0.02	-0.55
CaI	-0.10	-0.55	FeI	-0.16	-0.64	NdII	-0.17	-0.50
ScII	-0.05	-0.65	FeII	-0.16	-0.64	EuII	-0.20	-0.54
TiI	-0.01	-0.52	CoI	-0.36	-0.33			

Из табл. 3 видно, что отношения $[A/Fe]$ большинства химических элементов в атмосферах исследуемых звезд практически совпадают с солнечными. Исключения составляют лишь кислород, натрий и кремний, которые являются более обильными.

Исследования химического состава других звезд RHB очень малочисленны. В работе [19] исследовалась звезда HD 175305 ($[Fe/H]=-1.46$), которую по значениям T_e и $\lg g$ авторы отнесли к RHB, однако наблюдения в Вильнюсской системе ее принадлежность к RHB не подтвердили. Еще один кандидат в звезды RHB исследовался в работе [14] — это звезда HD 22532 ($[Fe/H]=-1.48$). Содержание химических элементов в ее атмосфере близко к их содержанию в атмосферах красных гигантов той же металличности.

Полученные параметры атмосфер T_e , $\lg g$, $[Fe/H]$ для HD 173920 и HD 224342 с учетом вида кривой распространенности химических элементов

в атмосферах этих звезд позволяют утверждать, что исследованные объекты действительно являются богатыми металлами RHB-звездами, таким образом, их возраст должен быть не менее $5 \cdot 10^9$ лет. Следовательно, эти две звезды принадлежат к наиболее старому населению диска Галактики, такого рода объекты мы находим в старых рассеянных скоплениях типа NGC 188. Принадлежность HD 173920 и HD 224342 к населению диска подтверждается и их кинематическими свойствами: лучевые скорости равны $+7.1$ и -7.7 км/с соответственно.

Чтобы получить более подробное представление о химическом составе звезд красной части горизонтальной ветви галактического поля, надо значительно расширить наблюдательный материал, привлекая к анализу звезды разной металличности.

В заключение авторы выражают благодарность В. Е. Панчуку за помощь при наблюдениях и В. Л. Страйжису за просмотр рукописи и замечания.

Литература

1. Клочкова В. Г., Панчук В. Е. Химический состав звезд горизонтальной ветви шаровых скоплений в галактическом поле // Астрон. журн. 1985. 62. С. 552—557.
2. Клочкова В. Г., Панчук В. Е. Химический состав звезд горизонтальной ветви шаровых скоплений в галактическом поле // Астрон. журн. 1987. 63. С. 74—78.
3. Страйжис В., Барткавичюс А., Спераускас Ю. Возможные звезды красной горизонтальной ветви галактического поля // Астрон. циркуляр. 1981. № 1161. С. 1—3.
4. Straizys V., Bartkevičius A., Sperauskas J. Possible red horizontal branch stars in the Galactic field // Astron. Astrophys. 1981. 99. P. 152—154.
5. Барткавичюс А., Спераускас Ю. Трехмерная классификация звезд спектральных классов F—M населения гало в Вильнюсской фотометрической системе // Бюл. Вильнюс. обс. 1983. № 63. С. 3—71.
6. Барткавичюс А., Таутвайшене Г. Трехмерная классификация 78 гигантов с дефицитом металлов в Вильнюсской фотометрической системе // Бюл. Вильнюс. обс. 1987. № 76. С. 3—7.
7. Delbouille L., Roland G., Neven L. Photometric Atlas of the Solar Spectrum from λ 3000 to λ 11000. Liege, 1973.
8. Griffin R. F. A Photometric Atlas of the Spectrum of Arcturus. Cambridge, 1968.
9. Moore C., Minnaert M., Houtgast J. The Solar Spectrum 2935 Å to 8770 Å // NBS Monogr. 1966. Nr 61. 349 p.
10. Kurucz R., Reutemann E. Semiempirical gf values. Pt 1, 2, 3 // Spec. Report Smithsonian Astr. obs. 1975. Nr 362.
11. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. II / R. A. Bell, K. Eriksson, B. Gustafsson, A. Nordlund // Astron. Astrophys. Suppl. 1976. 23. P. 37—95.
12. Гальдикас А. Программа для вычисления синтетических спектров и эквивалентных ширин линий // Бюл. Вильнюс. обс.
13. Kurucz R. L. ATLAS: a computer program for calculating model stellar atmospheres // Spec. Report Smithsonian Astr. obs. 1970. Nr 309. 291 p.
14. Таутвайшене Г. Ю., Страйжис В. Л. Химический состав атмосфер 15 G—K-гигантов разной металличности // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1989. 28. С. 88—102.
15. Garz T. Absolute oscillator strengths of Si I lines between 2500 Å and 8000 Å // Astron. Astrophys. 1973. 26. P. 471—477.
16. Переход А. В. Содержание европия в солнечной фотосфере // Физика Солнца. 1985. 1, № 3. С. 75—77.
17. Lambert D., Ries L. M. Carbon, nitrogen and oxygen abundances in 11 G and K giants // Astrophys J. 1977. 217. P. 508—520.
18. Таутвайшене Г. Определение эффективных температур и ускорения силы тяжести G—K гигантов с дефицитом металлов в Вильнюсской системе // Бюл. Вильнюс. обс. 1987. № 78.
19. A red horizontal branch star in the general field: HD 175305 / G. Wallerstein, C. Pilachovskii, D. Gerend et al. // Monthly Notices Roy. Astron. Soc. 1979. 186. P. 691—700.