

ФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ И ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ГРУППЫ УМЕРЕННЫХ БАРИЕВЫХ ЗВЕЗД

М. РОХАС¹, Н. А. ДРАКЕ¹, К. Б. ПЕРЕЙРА², А. Ф. ХОЛТЫГИН¹

Поступила 2 октября 2012

Принята к печати 5 декабря 2012

Представлены результаты спектроскопических исследований пяти пекулярных звезд (CD-65°2893, HD 22229, HD 66812, HD 56523 и HD 31341), у которых предполагается повышенное содержание элементов s-процесса. Проанализированы наблюдения данных звезд с высоким спектральным разрешением, которые были выполнены в 2008г. на 2.2-м телескопе Европейской Южной Обсерватории (ESO) в Чили со спектрографом FEROS. Определены эволюционный статус и фундаментальные параметры звезд, такие как: эффективная температура, ускорение силы тяжести на поверхности звезды, микротурбулентная скорость, металличность, а также определено содержание химических элементов, в том числе элементов s-процесса, в атмосферах исследуемых звезд.

Ключевые слова: *Пекулярные звезды; Бариевые звезды - Химический состав; эволюционный статус*

1. *Введение.* Большинство звезд гигантов поздних спектральных классов имеют нормальный, близкий к солнечному химический состав. Однако у ряда таких звезд обнаружены заметные химические аномалии. К таким звездам относятся бариевые звезды (Ba II-звезды), в спектрах которых значительно усилены линии Ba II. Многолетние наблюдения выявили у многих классических бариевых звезд изменения лучевых скоростей [1], свидетельствующие об их двойственности. Анализ полученных функций масс привел к выводу, что масса спутника бариевой звезды должна составлять $0.2 - 0.6 M_{\odot}$, что означает, что спутники являются белыми карликами [2].

Работы по классификации бариевых весьма многочисленны [1,3-6]. Первоначально бариевые звезды классифицировались по интенсивности линий Ba II ($\lambda 4554\text{\AA}$) и других тяжелых элементов. Позднее анализ спектрограмм с низкой дисперсией привел к обнаружению звезд, у которых усиление линий Ba II было небольшим, промежуточным между тем, что наблюдается для нормальных гигантов и для Ba II-звезд. Для обозначения таких объектов в спектральной классификации был введен символ Ba 0-звезды, и они стали называться умеренными бариевыми звездами, в отличие от классических бариевых звезд (или Ba II-звезд). Таким образом, согласно современным представлениям, подкласс бариевых звезд состоит из двух групп - классических Ba II-звезд и умеренных бариевых Ba 0-звезд.

Исследования содержаний химических элементов в атмосферах умеренных бариевых звезд не столь многочисленны, как в случае классических бариевых звезд, однако и они привели к некоторым вполне определенным выводам. В отличие от классических бариевых звезд, которые имеют избыток углерода, у умеренных бариевых звезд его содержание не отличается от содержания в нормальных красных гигантах, составляющего примерно -0.3 dex [7,8]. Содержания элементов s-процесса в атмосферах умеренных бариевых звезд выше, чем в нормальных гигантах, но меньше, чем в случае классических бариевых звезд [5,9,10].

В настоящей работе представлены результаты исследований пяти звезд, в спектрах которых возможно усилены линии, принадлежащие элементам s-процесса. Эти звезды включены в табл.2 (Marginal Ba II stars), приведенную в работе [11] и составленную по результатам анализа наблюдений с низким спектральным разрешением ($108 \text{ \AA}/\text{мм}$ области линии $\text{H}\gamma$). В настоящей работе впервые проводится анализ спектров высокого разрешения этих звезд, полученных в 2008г. на 2.2-м телескопе Европейской Южной Обсерватории (ESO) в Чили со спектрографом FEROS.

В разделе 2 работы описаны выполненные наблюдения и их обработка. Результаты определения параметров исследуемых звезд представлены в разделе 3, результаты определения их химического состава - в разделе 4. В разделе 5 обсуждается эволюционный статус программных звезд. В

Таблица 1

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОГРАММНЫХ ЗВЕЗД И СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ s-ПРОЦЕССА В ИХ АТМОСФЕРАХ

Звезда:	CD-65°2893	HD 22229	HD 66812	HD 56523	HD 31341
α	23 ^h 02 ^m 59 ^s .9	03 ^h 33 ^m 23 ^s .4	08 ^h 03 ^m 29 ^s .6	07 ^h 16 ^m 59 ^s .7	04 ^h 53 ^m 49 ^s .7
δ	-65°03'02".3	-37°06'17".8	-42°56'54".0	-08°44'02".8	-26°25'45".0
спектр. класс	G8	K0II	G8II	K0	K0II
V	9.35	9.00	6.28	8.09	8.95
π	...	1.17	4.03	...	2.80
v_{rad} (км/с)	84.6	29.6	14.5	8.4	-4.6
Фундаментальные параметры звезд					
T_{eff} (K)	4900	4760	4960	4900	4860
$\log g$ (км/с ²)	2.3	2.3	2.2	1.9	2.7
ξ (км/с)	1.3	1.3	1.8	1.8	1.2
[Fe/H] (dex)	-0.8	0.2	0.0	-0.1	0.2
Содержания элементов s-процесса					
[s/Fe]	0.41	0.37	0.35	0.41	0.34
[hs/Fe]	0.44	0.34	0.44	0.50	0.44
[ls/Fe]	0.36	0.44	0.17	0.24	0.14
[hs/ls]	0.08	-0.10	0.27	0.26	0.30

последнем разделе приводятся выводы, сделанные на основании анализа спектров программных звезд.

2. *Наблюдения и обработка спектров.* Спектральные наблюдения были проведены в 2008г. на 2.2-м телескопе Европейской Южной Обсерватории (ESO) в Чили с высоким отношением сигнал/шум ($S/N \geq 100$). Все наблюдения выполнены с использованием спектрографа FEROS, имеющего высокую эффективность ($\sim 20\%$) и спектральное разрешение $R = 48000$. Эшельные спектры программных звезд охватывают область 3700-9200 Å.

В табл.1 для каждой из исследуемых нами звезд приведены прямое восхождение, склонение, звездная величина в полосе V и спектральный класс, взятые из базы данных Simbad. Параллаксы π , приведенные в шестом столбце таблицы, взяты из работы [12].

Обработка наблюдений проводилась с помощью пакета IRAF (<http://iraf.noao.edu>). Для определения лучевых скоростей звезд использовались неблендированные спектральные линии с хорошо известными длинами волн. Результаты определения лучевых скоростей звезд v_{rad} даны в табл.1.

3. *Определение фундаментальных параметров программных звезд.* В настоящей работе были использованы модели атмосфер [13], рассчитанные на основе предположений о локальном термодинамическом равновесии (ЛТР). В спектрах исследуемых звезд наблюдается много линий поглощения нейтрального (Fe I) и ионизованного (Fe II) железа, которые имеют различные эквивалентные ширины и наиболее подходят для определения физических параметров звезд. Для измерения эквивалентных ширин были отобраны неблендированные линии (в основном мы ограничивались линиями с эквивалентной шириной $W_\lambda \leq 150 \text{ mÅ}$).

Значения сил осцилляторов и другие параметры линий Fe I и Fe II были взяты из работы [15]. Для определения параметров атмосфер исследуемых звезд использовалась текущая (<http://verdi.as.utexas.edu/moog.html>) версия пакета MOOG [14].

Определение параметров атмосферы звезд проводилось итеративно на основании анализа линий поглощения нейтрального и ионизованного железа. В качестве начального приближения использовались параметры атмосферы, основанные на фотометрических данных или данных из литературных источников. По этим параметрам рассчитывалась начальная модель атмосферы рассматриваемой звезды. Из сравнения модельных и наблюдаемых спектров определялись содержания железа $N(\text{Fe})$ по всем отобранным линиям Fe I. Далее анализировалась зависимость содержания железа $N(\text{Fe})$ в функции эквивалентной ширины W_λ каждой линии. В случае ненулевого коэффициента линейной регрессии зависимости $N(\text{Fe})$ от W_λ изменялось значение микротурбулентной скорости ξ . Указанная процедура повторялась вплоть до достижения нулевого значения коэффи-

циента регрессии.

Эффективные температуры исследуемых звезд также определялись итеративно. Для этой цели использовалась зависимость содержания железа от потенциала возбуждения нижнего уровня рассматриваемой линии χ . Значение эффективной температуры в рассчитываемой модели варьировалось таким образом, чтобы добиться отсутствия значимой зависимости содержания железа от χ .

На каждом из этапов итерационной процедуры вычислялось среднее значение содержания железа по всем линиям Fe I и определялась металличность звезды $[Fe/H]$. Итерации повторялись до тех пор, пока не достигались нулевые значения коэффициентов регрессии на диаграммах содержание железа - эквивалентная ширина линии W_λ и содержание железа - χ , а также пока значение металличности, среднее для содержаний по линиям Fe I, не будет соответствовать металличности модели.

Далее проводился анализ ионизационного равновесия железа в атмосфере звезды. Используя параметры модели атмосферы, полученные по линиям Fe I, вычислялось среднее содержание железа по линиям Fe II ($[Fe/H]_{FeII}$) и проверялось, соответствует ли оно содержанию, полученному по линиям Fe I ($[Fe/H]_{FeI}$). При несовпадении этих величин изменялось значение ускорения силы тяжести вплоть до достижения равенства $[Fe/H]_{FeI} = [Fe/H]_{FeII}$. Отметим, что хотя само химическое содержание железа, полученное по линиям Fe I, мало зависит от величины ускорения силы тяжести, варьирование $\log g$ изменяет решение для Fe II.

В результате описанной итерационной процедуры получаем решение уравнений возбуждения уровней и ионизационного равновесия, а также величину микротурбулентной скорости ξ .

В окончательном решении нет зависимости содержания железа, полученного для различных линий, от эквивалентных ширин и потенциалов возбуждения линий, что подтверждает правильность выполненной нами процедуры определения параметров программных звезд. Полученные нами значения параметров атмосфер исследуемых звезд приведены в табл.1.

4. *Определение химического состава.* Нами определены содержания всех указанных элементов в атмосферах программных звезд. Для определения химического содержания элементов использовались эквивалентные ширины линий ионов Na I, Mg I, Al I, Si I, Ca I, Sc I, Ti I, Cr I, Ni I, Y I, Zr II, Ba II, La II, Ce II и Nd II. Атомные данные для линий, используемых при анализе химического состава, взяты из работ [16-33].

В табл.2 приведены результаты определения химического состава фотосферы звезды HD 66812 и погрешности определенных содержаний. В первой колонке таблицы дано обозначение иона, по линиям которого

Таблица 2

ХИМИЧЕСКИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ В ФОТОСФЕРЕ ЗВЕЗДЫ HD 66812 И ИХ ПОГРЕШНОСТИ. ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ЧЕРТОЙ ОТДЕЛЕНЫ ЭЛЕМЕНТЫ s-ПРОЦЕССА

Элем.	n	logε	[X/H]	[X/Fe]	ΔT_{eff}	$\Delta \log g$	$\Delta \xi$	ΔW_λ	$(\Sigma \sigma^2)^{1/2}$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Fe I	37	7.50±0.13	-0.02	.....	+0.09	+0.01	-0.07	+0.05	0.12
Fe II	8	7.50±0.11	-0.02	.....	-0.08	+0.15	-0.09	+0.05	0.20
Na I	2	6.57±0.01	0.24	0.26	+0.10	-0.06	-0.07	+0.04	0.11
Mg I	1	7.71	0.13	0.15	+0.04	-0.06	-0.05	+0.03	0.03
Al I	3	6.49±0.03	0.02	0.04	+0.06	-0.01	-0.03	+0.04	0.08
Si I	7	7.71±0.04	0.16	0.18	0.00	+0.04	-0.04	+0.05	0.08
Ca I	3	6.50±0.06	0.14	0.16	+0.13	-0.03	-0.12	+0.05	0.19
Sc II	3	3.35±0.10	0.25	0.27	-0.01	+0.13	-0.08	+0.06	0.16
Ti I	6	4.99±0.04	0.00	0.02	+0.17	-0.01	-0.07	+0.04	0.19
Cr I	3	5.61±0.07	-0.06	-0.04	+0.17	-0.01	-0.10	+0.05	0.18
Ni I	6	6.34±0.04	0.09	0.11	+0.09	+0.03	-0.11	+0.06	0.16
Y II	2	2.37±0.03	0.13	0.15	-0.01	+0.14	-0.04	+0.06	0.09
Zr I	3	2.75±0.02	0.16	0.18	+0.20	-0.01	-0.01	+0.06	0.21
Ba II	1	2.80	0.67	0.69	+0.04	+0.07	-0.12	+0.03	0.15
La II	4	1.50±0.06	0.28	0.30	+0.02	+0.14	-0.02	+0.06	0.15
Ce II	3	1.87±0.05	0.32	0.34	+0.01	+0.13	-0.06	+0.07	0.16
Nd II	8	1.91±0.09	0.41	0.43	+0.02	+0.13	-0.04	+0.06	0.15

определялось содержание элемента. Во второй - указано количество используемых для определения содержания линий. В колонке 3 для каждого элемента даны усредненные содержания в логарифмической шкале ($\log \epsilon = \log(N(X)/N(H)) + 12$), где $N(X)$ - полное содержание элемента X в фотосфере, а в колонке 4 - избытки $[X/H]$ содержаний химических элементов относительно соответствующих содержаний на Солнце: $[X/H] = \log[N(X)/N(H)]_* - [(X)/N(H)]_\odot$, где индексы * и \odot указывают, что содержания относятся к звезде или Солнцу, соответственно.

В колонке 5 дано содержание элементов на поверхности звезд относительно содержания железа $[X/Fe]$, в колонках 6-9 даны абсолютные ошибки (в dex) эффективной температуры звезды $\sigma_{\Delta T_{eff}}$, логарифма ускорения силы тяжести $\sigma_{\Delta \log g}$, микротурбулентной скорости $\sigma_{\Delta \xi}$ и эквивалентной ширины линии $\sigma_{\Delta W_\lambda}$, соответственно.

Величина $(\Sigma \sigma^2)^{1/2}$ в последней колонке - эффективная систематическая ошибка

$$(\Sigma \sigma^2)^{1/2} = \sqrt{(\sigma_{\Delta T_{eff}})^2 + (\sigma_{\Delta \log g})^2 + (\sigma_{\Delta \xi})^2 + (\sigma_{\Delta W_\lambda})^2} \quad (1)$$

Для остальных программных звезд получены систематические ошибки

близкие к полученным для HD 66812.

В табл.3 приведены результаты анализа химического состава фотосфер всех программных звезд. В первой колонке таблицы дано обозначение иона. Во второй колонке указано содержание рассматриваемого элемента $\log \epsilon$ в логарифмической шкале, а в колонке 3 - избытки $[X/H]$ содержаний химических элементов относительно соответствующих содержаний на Солнце для звезды CD-65°2893. В столбцах 4-11 даны значения содержаний $\log \epsilon$ и $[X/H]$ для остальных программных звезд.

Таблица 3

ХИМИЧЕСКИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗВЕЗД

Элем.	CD-65°2893		HD 22229		HD 66812		HD 56523		HD 31341	
	$\log \epsilon$	$[X/Fe]$	$\log \epsilon$	$[X/Fe]$	$\log \epsilon$	$[X/Fe]$	$\log \epsilon$	$[X/Fe]$	$\log \epsilon$	$[X/Fe]$
Fe I	6.72±0.07	...	7.70±0.14	...	7.50±0.13	...	7.43±0.13	...	7.74±0.15	...
Fe II	6.78±0.06	...	7.70±0.15	...	7.50±0.11	...	7.44±0.14	...	7.72±0.12	...
Na I	5.92±0.01	0.34	6.59	0.08	6.57±0.01	0.26	6.45	0.21	6.57	0.02
Mg I	7.21	0.38	7.84±0.06	0.08	7.71	0.15	7.62±0.05	0.13	7.72±0.05	-0.08
Al I	6.00±0.01	0.28	6.72±0.01	0.07	6.49±0.03	0.04	6.44±0.01	0.06	6.64±0.01	-0.05
Si I	7.22±0.05	0.42	7.89±0.05	0.16	7.71±0.04	0.18	7.61±0.02	0.15	7.87±0.03	0.10
Ca I	5.98±0.03	0.37	6.58±0.02	0.04	6.50±0.06	0.16	6.27±0.03	0.00	6.68±0.03	0.10
Sc II	2.78±0.06	0.43	3.42±0.03	0.14	3.35±0.10	0.27	3.10±0.02	0.09	3.69±0.03	0.37
Ti I	4.63±0.03	0.39	5.15±0.02	-0.02	4.99±0.04	0.02	4.88±0.03	-0.02	5.37±0.07	0.16
Cr I	5.10±0.02	0.18	5.84±0.03	-0.01	5.61±0.07	-0.04	5.53±0.03	0.08	5.84	-0.05
Ni I	5.66±0.02	0.16	6.51±0.02	0.08	6.34±0.04	0.11	6.18±0.05	0.02	6.61±0.04	0.14
Y II	1.71±0.03	0.22	2.94±0.02	0.52	2.37±0.03	0.15	2.32±0.03	0.17	2.57±0.09	0.11
Zr I	2.35±0.01	0.50	3.14±0.03	0.36	2.75±0.02	0.18	2.81±0.02	0.30	2.30±0.02	0.17
Ba II	1.84	0.46	2.86	0.55	2.80	0.69	2.70	0.66	2.86	0.51
La II	0.89±0.04	0.42	1.64±0.06	0.24	1.50±0.06	0.30	1.52±0.02	0.39	1.75±0.05	0.31
Ce II	1.20±0.01	0.40	1.94±0.08	0.21	1.87±0.05	0.34	1.84±0.05	0.38	2.27±0.13	0.50
Nd II	1.23±0.05	0.48	2.02±0.11	0.34	1.91±0.09	0.43	1.98±0.04	0.57	2.17±0.15	0.45

Для анализа содержания элементов s-процесса в исследуемых звездах и сравнения с результатами, полученными для других звезд с аномалиями химического состава, определим среднее содержание элементов s-процесса относительно содержания железа:

$$[s/Fe] = \frac{[Y/Fe] + [Zr/Fe] + [Ba/Fe] + [La/Fe] + [Ce/Fe] + [Nd/Fe]}{6} \quad (2)$$

Определим также относительное содержание легких ("light $Z < 56$) и тяжелых ("heavy $Z \geq 56$) элементов s-процесса, $[ls/Fe]$ и $[hs/Fe]$, и отношение содержания "тяжелых" и "легких" элементов s-процесса, $[hs/ls]$ следующими соотношениями:

$$[hs/Fe] = \frac{[Ba/Fe] + [La/Fe] + [Ce/Fe] + [Nd/Fe]}{4} \quad (3)$$

$$[ls/Fe] = \frac{[Y/Fe] + [Zr/Fe]}{2} \quad (4)$$

$$[hs/ls] = [hs/Fe] - [ls/Fe] \quad (5)$$

Зависимости содержания химических элементов относительно содержания железа для каждой из исследованных звезд в функции атомного номера показаны на рис.1.

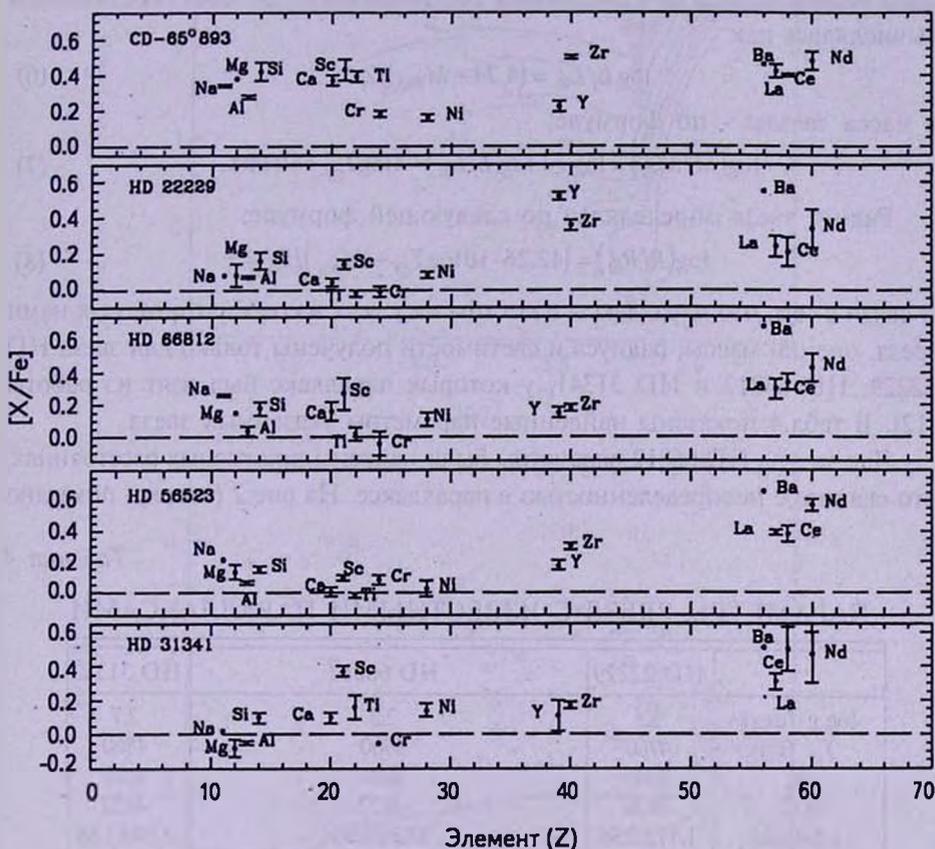


Рис.1. Содержания химических элементов на поверхности звезд относительно содержания железа [X/Fe].

5. *Положение программных звезд на диаграмме Герцшпрунга-Рессела.* Для анализа эволюционного статуса исследуемых звезд определим их положение на диаграмме Герцшпрунга-Рессела. Для этого необходимо знать значения эффективной температуры T_{eff} и светимости L каждой звезды. Методика определения эффективной температуры и ускорения силы тяжести из анализа спектров звезд описана выше. Полученные

значения T_{eff} и $\log g$ представлены в табл.1.

Светимость определялась по видимым звездным величинам и их расстояниям до Солнца, которые могут быть найдены по параллаксам звезд, приведенным в табл.1. Для оценки светимости звезд не учитывалось межзвездное поглощение, так как исследуемые звезды расположены близко к нам.

Болометрические поправки (В.С.) к видимым звездным величинам для получения абсолютной звездной величины определялись интерполированием зависимостей В.С. от T_{eff} [34]. Светимости, массы и радиусы программных звезд определялись по стандартным соотношениям [35]. Светимость звезды вычислялась как

$$\log L/L_{\odot} = (4.74 - M_{bol})/2.5, \quad (6)$$

а масса звезды - по формуле:

$$\log(M/M_{\odot}) = \log g + \log(L/L_{\odot}) - 4 \log T_{eff} + 10.608. \quad (7)$$

Радиус звезд определялся по следующей формуле:

$$\log(R/R_{\odot}) = (42.26 - 10 \log T_{eff} - M_{bol})/5. \quad (8)$$

В связи с тем, что параллаксы известны не у всех из рассматриваемых нами звезд, оценки массы, радиуса и светимости получены только для звезд HD 22229, HD 66812 и HD 31341, у которых параллакс был взят из работы [12]. В табл.4 показаны найденные параметры указанных звезд.

Для звезды HD 66812 параметры были найдены при разных расстояниях, что связано с неопределенностью в параллаксе. На рис.2 (вверху) показано

Таблица 4

ПАРАМЕТРЫ ЗВЕЗД С ИЗВЕСТНЫМИ ПАРАЛЛАКСАМИ

	HD 22229	HD 66812			HD 31341
$\log g$ (dex)	2.3	2.3			2.7
T_{eff} (K)	4760	4960			4860
m_v	9.00	6.28			8.95
В.С.	-0.36	-0.27			-0.32
π (мсек)	1.17±0.96	4.03±0.34			2.80±1.80
r (пк)	855	228	249	271	357
M_v	-0.66	-0.51	-0.69	-0.89	+1.19
M_{bol}	-1.02	-0.78	-0.96	-1.16	+0.87
$\log(L/L_{\odot})$	2.304	2.208	2.280	2.360	1.548
$L(L_{\odot})$	201.37	161.44	190.55	229.09	35.32
$\log(M/M_{\odot})$	0.502	0.334	0.406	0.486	0.109
$M(M_{\odot})$	3.18	2.16	2.55	3.06	1.29
$\log(R/R_{\odot})$	1.301	1.217	1.253	1.293	0.904
$R(R_{\odot})$	19.95	16.48	17.91	19.63	8.02

положение исследуемых звезд, у которых были найдены параллаксы, на диаграмме "температура-светимость". Для сравнения была использована работа [36] для пекулярных звезд, в том числе для Ва II-звезд. На рис.2 (внизу) показаны отношения $[s/Fe]$ для исследуемых звезд (сплошные кружки), в функции металличности $[Fe/H]$.

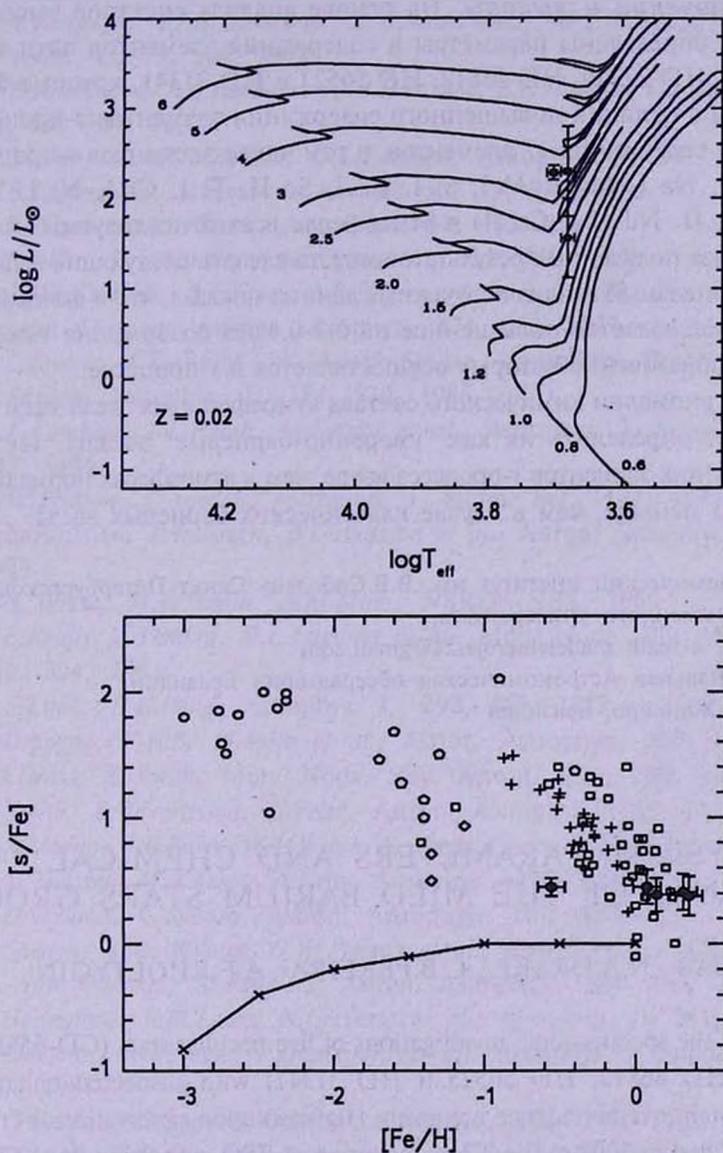


Рис.2. Вверху: Положения звезд HD 22229, HD 66812 и HD 31341 на диаграмме "температура-светимость". Внизу: Сравнение содержания элементов s-процесса исследуемых звезд (кружки) со взятыми из работы [36] для Ва II звезд (прямоугольники), нормальных CH звезд (ромбы), CH субгигантов (крестики), симбиотических звезд (пятиугольники), HD 10613 (кружки). Сплошной линией с косыми крестами показано среднее отношение $[s/Fe]$ для звезд поля.

Мы видим, что для всех исследуемых нами звезд содержания элементов *s*-процесса повышено на 0.3-0.4 dex по сравнению с солнечным, но при этом они все же существенно ниже, чем для классических Ba II-звезд. Тем самым исследуемые нами звезды можно отнести к группе умеренно-бариевых звезд Ba 0.

6. *Заключение и выводы.* На основе анализа спектров высокого разрешения определены параметры и содержания элементов пяти звезд CD-65°2893, HD 22229, HD 66812, HD 56523 и HD 31341, которые были заподозрены в наличии повышенного содержания элементов *s*-процесса. Определены содержания 17 элементов, в том числе элементов *s*-процесса (Fe I, Fe II, Na I, Mg I, Al I, Si I, Ca I, Sc II, Ti I, Cr I, Ni I, Y II, Zr I, Ba, La II, Nd II и Ce II) в атмосферах всех 5 исследуемых звезд.

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1) Сравнительный анализ полученных данных показал, что в фотосферах этих звезд наблюдается повышенное на 0.3-0.4 dex содержание тяжелых элементов, образование которых осуществляется в *s*-процессе.

2) Такие аномалии химического состава атмосфер этих звезд дают нам возможности определить их как "умеренно-бариевые" звезды, так как содержания у них элементов *s*-процесса выше, чем в атмосферах нормальных гигантов, но меньше, чем в случае классических бариевых звезд.

¹ Астрономический институт им. В.В.Соболева Санкт-Петербургского государственного университета,
Россия, e-mail: madelainerojas28@gmail.com

² Национальная Астрономическая обсерватория Бразилии,
Рио-де-Жанейро, Бразилия

PHYSICAL PARAMETERS AND CHEMICAL ABUNDANCE OF THE MILD BARIUM STARS GROUP

M.ROJAS¹, N.A.DRAKE¹, C.B.PEREIRA², A.F.KHOLTYGIN¹

Results of the spectroscopic investigations of five peculiar stars (CD-65°2893, HD 22229, HD 66812, HD 56523 и HD 31341) with suspected enhanced *s*-process element overabundance are given. High-resolution observations of these stars were fulfilled in 2008 at the 2.2-m telescope of ESO with using the FEROS spectrograph. The evolution status and fundamental parameters of the program stars are determined. The element abundances in the atmospheres of program stars and, in particular, *s*-process element abundances are obtained.

Key words: *Peculiar stars:Ba stars - Chemical abundances:evolution state*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B. Warner*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **129**, 263, 1965.
2. *P.K. Lu*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **101**, 2229, 1991.
3. *W.W. Morgan, P.C. Keenan*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **11**, 29, 1973.
4. *P.C. Keenan, R.E. Pitts*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **42**, 541, 1980.
5. *А.А. Боярчук, Ю.В. Пахомов, Л.И. Антипова, М.Е. Боярчук*, Письма в Астрон. ж., **79**, 909, 2002.
6. *Л.И. Антипова, А.А. Боярчук, Ю.В. Пахомов, В.Е. Панчук*, Письма в Астрон. ж., **80**, 704, 2003.
7. *C. Sneden, C.A. Pilachowski, D.L. Lambert*, Astrophys. J., **247**, 1052, 1981.
8. *С.В. Бердюгина*, Письма в Астрон. ж., **19**, 933, 1993.
9. *C.A. Pilachowski*, Astron. Astrophys., **54**, 465, 1977.
10. *J. Tomkin, D.L. Lambert*, Astrophys. J., **311**, 819, 1986.
11. *D.J. MacConnell, R.L. Frye, A.R. Uggren*, Astron. J., **77**, 384, 403, 1972.
12. *F. van Leeuwen*, Astron. Astrophys., **474**, 653, 2007.
13. *R.L. Kurucz*, CD-ROM 13, Atlas9 Stellar Atmosphere Programs, 1993.
14. *C. Sneden*, Astrophys. J., **184**, 839, 1986.
15. *D.L. Lambert, J.E. Heath, M. Lemke et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **103**, 183, 1996.
16. *G.W. Preston, C. Sneden*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **122**, 1545, 2001.
17. *B. Edvardsson, J. Andersen, B. Gustafsson et al.*, Astron. Astrophys., **275**, 101, 1993.
18. *W.L. Wiese, M.W. Smith, B.M. Miles*, NSRDS-NBS, 1969.
19. *B.E. Reddy, J. Tomkin, D.L. Lambert et al.*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **340**, 304, 2003.
20. *R.E. Luck, H.E. Bond*, Astrophys. J., **292**, 559, 1982.
21. *E. Depagne, V. Hill, M. Spite et al.*, Astron. Astrophys., **390**, 187, 2002.
22. *J.J. Drake, G. Smith*, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **250**, 89, 1991.
23. *G. Smith, B. Edvardsson, U. Frisk*, Astron. Astrophys., **165**, 126, 1986.
24. *G.A. Martin, J.R. Fuhr, W.L. Wiese*, J. Phys. Chem. Ref. Data, **17**, 4, 1988.
25. *N.H. Youssef, M.A. Amer*, Astron. Astrophys., **220**, 281, 1989.
26. *R.G. Gratton, C. Sneden*, Astron. Astrophys., **287**, 927, 1994.
27. *C. Sneden, A. McWilliam, G.W. Preston et al.*, Astrophys. J., **467**, 819, 1996.
28. *H. van Winckel, M. Reyniers*, Astron. Astrophys., **354**, 135, 2000.
29. *P. Hanaford, R.M. Lowe, N. Grevesse et al.*, Astrophys. J., **261**, 736, 1982.
30. *E. Biemont, N. Grevesse, P. Hanaford et al.*, Astrophys. J. Suppl. Ser., **248**, 867, 1981.
31. *R.G. Gratton, C. Sneden*, Astron. Astrophys., **204**, 193, 1988.
32. *V.V. Smith, K. Cunha, A. Jorissen et al.*, Astron. Astrophys., **315**, 179, 1996.
33. *J. Reader, C.H. Corliss, W.L. Wiese et al.*, NSRDS-NBS, vol.68, 1980.
34. *A. Alonso, S. Arribas, C. Martinez-Roger*, Astron. Astrophys., **140**, 261, 1999.
35. *К.У. Аллен*, Астрофизические величины, М., Изд. Мир, 1977.
36. *C.B. Pereira, N.A. Drake*, Astron. Astrophys., **496**, 791, 2009.