

УДК 524.31

Определение содержания химических элементов в атмосферах К-гигантов

Н. С. Комаров, Т. В. Мишенина

Методом дифференциальных кривых роста проведено исследование 12 звезд К-гигантов. Определены параметры атмосфер и содержание химических элементов по отношению к Арктуру. Содержание химических элементов для большинства исследуемых звезд не отличается от солнечного.

DETERMINATION OF ABUNDANCES OF CHEMICAL ELEMENTS IN THE ATMOSPHERES OF K GIANTS, by Komarov N. S., Mishenina T. V.—Twelve K giants are investigated by the differential curve of growth method. The atmospheric parameters and abundances of chemical elements are determined relative to Arcturus. Most stars studied have solar abundances.

Определение содержания химических элементов в атмосферах холодных звезд-гигантов имеет важное значение для теории звездообразования и звездной эволюции.

В программу наблюдений включены звезды поля и звезды, принадлежащие рассеянным скоплениям и динамическим группам. В работе приводятся результаты определения содержания химических элементов и физических параметров атмосфер 12 звезд (табл. 1).

Таблица 1. Основные характеристики исследуемых звезд

HD	Название	S_p [3]	S_p [9]	V	Динамическая группа
12929	α Ari	K2 III	K2 IIIab—IIIb	2.00	
19476	k Per	K0 III	K0 III	3.79	Hya
19787	δ Ari	K2 III		4.35	Hya
21552	σ Per	K3 III		4.35	
29139	α Tau	K5 III	K5 III	0.86	Hya
148856	β Her	G8 III	G7 III	2.78	Pl
163770	θ Her	K1 III	K1 IIIa CN+2	3.85	
169414	109 Her	K2 III	K2.5 III	3.84	
185958	β Sge	G8 III	G9 IIIa CN 2	4.37	Pl
189319	γ Sge	K5 III	M0 III ⁻	3.48	Hya
190608	η Sge	K2 III		5.09	Hya
201251	63 Cyg	K4 II	K4 Ib—IIa	4.53	Pl
124897	α Boo	K2 III	K1+IIIb CN—I	-0.05	α Boo

Примечание. HD — номер по каталогу, S_p — спектральные классы по двум источникам [3,9], V — видимые звездные величины [3].

Спектрограммы звезд с обратной дисперсией 14 Å/мм в интервале длин волн $\lambda\lambda$ 5000-5500 Å получены на 122-см рефлекторе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР в 1980—1981 годах, на пленках А 600 У и пластинках Eastman Kodak 103 aD. Запись спектрограмм осуществлялась на микрофотометре Специальной астрофизической обсерватории АН СССР в прямых интенсивностях. Для отождествления линий поглощения использовались работы [10, 13]. Уровень непрерывного спектра проводился по пикам интенсивностей. Из-за наличия

большого количества блендированных линий для определения эквивалентных ширин линий W_λ использовалась зависимость W_λ от остаточной интенсивности R_λ для слабо блендированных линий.

Для анализа спектрограмм применялся метод дифференциальных кривых роста. Достаточно хорошо изученная, но обладающая небольшим дефицитом содержания химических элементов по отношению к Солнцу, звезда α Вoo (Арктур) использовалась нами как звезда-стандарт. Спектрограммы α Вoo получены и обработаны на тех же инструментах и теми же методами, что и спектрограммы исследуемых звезд. В качестве теоретической кривой роста использовалась кривая роста Врубеля, рассчитанная для отношения параметров функции источника $B^0/B^1=0$ Любимковым [4]. Силы осцилляторов для построения эмпирических кривых роста брались из работ [1, 6, 10, 12].

Температурный параметр возбуждения $\Theta_v = \frac{5040}{T_v}$ определялся по зависимости горизонтального сдвига кривых роста для разных мультиплетов ΔY_n от потенциала возбуждения X_n :

$$\Delta Y_n = A - \Theta_v X_n, \quad (1)$$

где A — константа для данного элемента. В табл. 2 приведены значения температурного параметра Θ_v , средней хаотической скорости v_0 , определенной по вертикальному сдвигу кривых роста нейтрального железа по отношению к теоретической кривой роста, а также значения электронного давления $\lg P_e$, полученные по линиям нейтрального и ионизованного железа.

Относительные концентрации химических элементов определялись по формуле [2]:

$$[N_i/N_H] = [X] + \Delta\Theta X_n + [U] + [\kappa_\lambda^c/N_H] - [1 - x], \quad (2)$$

где $N_i/N_H = (N_{i,0} + N_{i,1})/N_H$ — отношение полной концентрации данного элемента к концентрации водорода N_H , $N_{i,0}$ и $N_{i,1}$ — концентрация нейтральных и ионизованных атомов элемента; U — сумма по состояниям, X_n — потенциал возбуждения, κ_λ^c — коэффициент непрерывного поглощения на грамм звездного вещества, $x = N_{i,0}/N_i$, $[X]$ — сдвиг эмпирической кривой роста исследуемой звезды относительно стандартной. Суммы по состояниям U , коэффициенты κ_λ^c , концентрации N_H брались из расчетов, проведенных по программам В. В. Цымбала [5]. Если принять содержание водорода $\lg A_H = 12$, то содержания химических элементов в атмосфере Арктура $\lg A_i$ определяются по формуле

$$\lg A_i = [\lg \eta_0 - \lg \delta f \lambda - \Theta X_n] + \lg v_0 + \lg U + \lg \kappa_\lambda^c - 1.87, \quad (3)$$

где $\lg \eta_0$ — абсцисса теоретической кривой роста. Полные содержания элементов находились по линиям поглощения элементов в первой и второй стадиях ионизации или с использованием формулы Саха.

Таблица 2. Параметры атмосфер исследуемых звезд

HD	Θ_v	v_0	$\lg P_e$	HD	Θ_v	v_0	$\lg P_e$
12929	1.18	2.39	-0.46	169414	1.25	2.39	-0.93
19476	1.15	2.13	-0.39	185958	1.05	2.13	-0.57
19787	1.12	2.13	-0.57	189319	1.35	3.00	-1.84
21552	1.27	2.39	-0.50	190608	1.16	3.28	-0.44
29139	1.37	3.28	-1.37	201251	1.34	3.28	-1.50
148856	1.15	2.13	0.30	124897	1.21	2.00	-0.90
163770	1.22	2.39	-1.08				

В табл. 3 приведены содержания химических элементов в атмосферах исследуемых звезд по отношению к α Вoo, а в табл. 4 — содержание химических элементов в атмосфере Арктур, полученное в данной работе $(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}}$, содержание химических элементов в атмосферах Солнца $(\lg A_i)_{\odot}$ [8] и α Вoo $(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}-\odot}$ [11]. Как видно из табл. 3 и 4, в

Таблица 3. Содержание химических элементов в атмосферах исследуемых звезд по отношению к α Вoo

Звезда	Ca	Sc	Ti	Cr	Fe	Co	Ni	Cu
α Ari	0.45	0.43	0.41	0.27	0.40	0.30	0.31	0.52
k Per	0.58	0.49	0.58	0.45	0.60	0.43	0.35	0.52
δ Ari	0.60	0.51	0.50	0.48	0.57	0.47	0.50	0.50
σ Per	0.44	0.42	0.50	0.46	0.48	0.35	0.50	0.43
α Tau	0.55	0.58	0.54	0.58	0.60	0.63	0.46	0.44
β Her	0.48	0.50	0.47	0.45	0.44	0.65	0.50	0.41
θ Her	0.69	0.58	0.71	0.90	0.85	0.87	0.79	0.68
109 Her	0.39	0.42	0.38	0.34	0.30	0.41	0.35	0.42
β Sge	0.60	0.63	0.50	0.80	0.67	0.65	0.78	0.71
γ Sge	0.40	0.38	0.56	0.52	0.44	0.55	0.61	0.58
η Sge	0.50	0.50	0.45	0.67	0.48	0.47	0.63	0.69
63 Cyg	0.60	0.78	0.69	0.73	0.70	0.75	0.67	0.81

Таблица 4. Содержание химических элементов в атмосфере Арктур и Солнца

Элемент	$(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}}$	$(\lg A_i)_{\odot}$	$(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}-\odot}$	Элемент	$(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}}$	$(\lg A_i)_{\odot}$	$(\lg A_i)_{\alpha\text{Вoo}-\odot}$
Ca	6.00	6.3	-0.45	Fe	7.06	7.6	-0.70
Sc	2.62	3.1	-0.65	Co	4.28	4.7	-0.60
Ti	4.44	4.8	-0.40	Ni	5.46	6.3	-0.70
Cr	5.05	5.7	-0.65	Cu	3.55	4.1	-0.50
Mn	5.00	5.4	-0.80				

основном звезды имеют химический состав, не отличающийся заметно от солнечного, хотя некоторые звезды: α Ari, 109 Her показывают небольшой дефицит, а θ Her — небольшой избыток элементов железного пика.

В заключение авторы благодарят дирекцию и сотрудников КрАО и САО АН СССР за возможность провести наблюдения на 122-см рефлекторе.

1. Бояричук А. А., Бояричук М. Е.—Изв. Крым. астрофиз. обсерватории, 1981, **63**, с. 66—85.
2. Каули Ч. Теория звездных спектров.—М.: Мир, 1974, 256 с.
3. Комаров Н. С., Драгунова А. В., Карамыш В. Ф. и др. Фотометрический и спектральный каталог ярких звезд.—Киев: Наук. думка, 1979.—536 с.
4. Любимков Л. С.—Изв. Крым. астрофиз. обсерватории, 1977, **57**, с. 87—98.
5. Цымбал В. В. Синтетические спектры М-звезд: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.—Одесса, 1980.—9 с.
6. Bridges J. M., Kornblith R. L.—Astrophys. J., 1974, **192**, p. 783—812.
7. Eggen O. J.—Royal Observatory Bulletin, 1966, N 125, p. E151—216.
8. Hauge O., Engvold V.—Rept. Theor. Astrophys. Blindern, 1977, N 49, p. 1—23.
9. Keenan Ph. C., Pitts R.—Astrophys. J. Suppl. Ser., 1980, **42**, p. 541—563.
10. Kurucz R. L., Peytremann E. A Table of semiempirical gf values.—Smithsonian Astrophysical Observatory, Spec. Rept, 1975, **362**, p. 1—1209.
11. Mäcke R., Holweger R.—Astron. and Astrophys., 1975, **38**, p. 239—257.
12. May M., Richter J., Wichelmann J.—Astron. and Astrophys., Suppl. Ser., 1974, **18**, p. 405—426.
13. Moore C. E.—Contr. Princeton Univ. Observ., 1945, N 20.—275 p.