

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ К-ГИГАНТОВ ГИАД

Т. В. Мишенина, В. Е. Панчук, Н. С. Комаров

Методом моделей атмосфер проанализированы спектры (15 Å/мм) четырех красных гигантов — членов рассеянного скопления Гиады. Сравнение с результатами определения металличности К-гигантов, членов других рассеянных скоплений и динамических групп, обнаруживает избыток металлов в атмосферах гигантов Гиад $\Delta [\text{Fe}/\text{H}] = 0.08$.

Spectra of the four red giants (15 Å/mm), members of the Hyades open cluster, are analysed by the model atmosphere method. Comparison with the results of metallicity determinations of the K-giants, members of other open clusters and dynamical groups, shows metallicity excess in the Hyades giants' atmospheres $\Delta [\text{Fe}/\text{H}] = 0.08$.

Проблема построения исходной главной последовательности тесно связана с задачей определения химического состава звезд — членов рассеянных скоплений разного возраста. У скоплений разного возраста наиболее яркими и, следовательно, наиболее доступными для спектрофотометрических исследований являются звезды разных спектральных классов. Поэтому задача определения химического состава в единой шкале металличностей усложняется как необходимостью определения шкалы эффективных температур в широком температурном интервале, так и трудностями адекватного описания широкого спектрального интервала при помощи одной сетки моделей атмосфер. Для рассмотрения этих вопросов наиболее удобным является рассеянное звездное скопление Гиады. Расстояние до Гиад определено различными методами, в том числе и тригонометрическими, межзвездное поглощение пренебрежимо мало, близость скопления позволяет исследовать с высоким спектральным разрешением как красные гиганты, так и F-карлики главной последовательности. К настоящему времени в САО АН СССР получены спектрограммы как К-гигантов (обратная дисперсия 5 и 15 Å/мм), так и F-карликов (9 Å/мм). В данной работе мы проанализируем лишь спектрограммы с дисперсией 15 Å/мм. Этот материал позволяет наиболее корректно сравнить металличность К-гигантов Гиад с результатами определения металличности К-гигантов, принадлежащих другим рассеянным звездным скоплениям и динамическим группам. Сводку определений содержания атомов железа по отношению к водороду $\lg \epsilon (\text{Fe})$, выполненных для этих звезд также по спектрам с дисперсией 15 Å/мм одним из авторов (М. Т. В.), можно найти в [1]. Таким образом, в данной работе будут затронуты лишь некоторые методические аспекты определения химического состава Гиад.

Наблюдения и обработка. Характеристики исследованных звезд приведены в табл. 1. Спектрограммы получены на 2-й камере Основного звездного спектрографа БТА, спектральный интервал 5300—6700 Å, спектральное разрешение 0.3 Å; для каждой звезды на фотозульсии Kodak 103aF получено по 2—3 спектрограммы высотой 0.6 мм. Дифракционная решетка и рабочий угол выбраны так, чтобы кривая концентрации энергии в рабочем порядке компенсировала кривую распределения энергии в спектрах К-звезд. В этом случае весь исследуемый спектральный интервал регистрируется в узком диапазоне плотностей, что снижает фотометрические ошибки. Времена экспонирования спектра калибровки и спектров звезд выбраны равными.

ТАБЛИЦА 1

Параметры атмосфер исследованных звезд (в скобках) в колонке 10 указано число использованных определений [Fe/H] из [17]

HD	*	m_V [2]	$B-V$ [2]	ξ_t , км/с	$\lg g$ (Fe, Fe ⁺)	T_e [12] [13]	T (B λ)	[Fe/H] [авторы]	[Fe/H] [17]
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
27371	γ Tau	3.64	0.99	1.9	2.7	4750	5050	0.11	0.04 \pm 0.06 (6)
27697	δ Tau	3.76	0.98	1.9	2.8	4750	—	0.00	0.01 \pm 0.04 (6)
28305	ϵ Tau	3.54	1.02	1.9	2.6	4700	5050	0.08	0.14 \pm 0.02 (7)
28307	θ Tau	3.85	0.95	1.7	2.7	4850	—	-0.01	0.14 \pm 0.04 (3)
Среднее								0.04 \pm \pm 0.03	0.08 \pm 0.03

Запись спектрограмм осуществлялась на микрофотометре в прямых интенсивностях. Отождествление выполнено при помощи атласов [3] и [4]. Уровень непрерывного спектра проводился по пикам интенсивностей. Отбор слабоблендированных линий выполнен методом спектрального синтеза по программе, составленной В. В. Цымбалом. Эти линии были использованы для построения зависимости эквивалентной ширины W_λ от остаточной интенсивности. Ошибка определения эквивалентных ширин $\Delta \lg (W_\lambda/\lambda) = 0.03$. Силы осцилляторов атомных линий взяты из [5] и [6].

Определение параметров атмосфер. Расчет содержания химических элементов выполнен при помощи программы WIDTH6 и моделей атмосфер [7, 8]. Перечислим этапы определения параметров атмосфер.

1. Микротурбулентная скорость ξ_t определялась той же методикой, что и при анализе K-гигантов других скоплений и групп, т. е. методом кривых роста. Для всех четырех звезд значения микротурбулентной скорости в пределах ошибок определения ($\Delta \xi_t = 0.3 \div 0.4$ км/с) совпадают между собой и с параметром $\xi_t = 2$ км/с, принятым при расчете ряда моделей в [7] и [8].

2. Ускорение силы тяжести в атмосфере $\lg g$ вычислялось по болометрической звездной величине, определенной из принадлежности звезд к скоплению, аналогично тому, как это сделано в [9]. Был принят модуль расстояния Гиад $m_V - M_V = 3.30$, для звезд K0 III значение болометрической поправки ($V. C. = -0.4$) взято из [10]. Эффективные температуры и болометрические звездные величины позволяют оценить радиусы ($R \approx 12 R_\odot$). Используя эволюционные треки из работы [11], получим оценку масс: $m = (2.5 \div 3)m_\odot$, что приводит к величине $\lg g = 2.6 \div 2.7$. Ускорение силы тяжести можно определить и из условия ионизационного равновесия для атомов железа, т. е. методом моделей атмосфер. Так, например, расчет для звезды γ Тау показал равенство величин $\lg \epsilon$ (Fe), определенных независимо по 55 линиям Fe и 5 линиям Fe⁺, при $\lg g = 2.68$. «Ионизационные» ускорения силы тяжести приведены в колонке 6 табл. 1.

3. Эффективную температуру мы определим несколькими способами:

а) шкала эффективных температур, полученная с использованием прямых измерений радиусов [18], дает значение $T_e = 4800$ К;

б) шкала эффективных температур [10], построенная преимущественно по результатам абсолютной спектрофотометрии звезд, дает значение $T_e = 5000$ К;

в) самосогласованные с моделями атмосфер значения цвета $B-V$, определенные в [12] и [13], дают наиболее низкие значения T_e , приведенные в колонке 7 табл. 1;

г) в колонке 8 табл. 1 приведены температуры, полученные в предположении, что в максимально свободных от поглощения в атомных линиях и молекулярных полосах участках спектра с λ 4600, 6100, 7550 Å излучение фотосферы планковское. При этой процедуре использованы распределения энергии из [14];

д) эффективные температуры K-гигантов Гиад определены в [15] еще одной разновидностью спектрофотометрического метода — методом спектральных индексов, который дает среднюю эффективную температуру $T_e = 4930 \pm 40$ К.

Таким образом, различные методы определения эффективной температуры с использованием показателей цвета или распределений энергии приводят к оценкам T_e , различающимся для каждой звезды на 200—300 К, тогда как внутри каждого метода различия в эффективных температурах исследуемых звезд не превосходят 100 К. В такой ситуации расчет химического состава методом моделей атмосфер мы провели при одной фиксированной температуре 5000 К. Все вычисления были выполнены с использованием моделей из [8], имеющих солнечный химический состав, $\lg g=2.25$ и 3.0, величина микротурбулентной скорости принята равной 1.8 км/с. Результаты определения содержания различных элементов по отношению к водороду [$\lg \epsilon(\text{H})=0.0$] приведены в табл. 2. В последней колонке таблицы 2 приведены значения $\lg \epsilon_i$, определенные нами для атмосферы Солнца с использованием модели из [8] и эквивалентных ширин из [16].

ТАБЛИЦА 2
Результаты определения химического состава К-гигантов из скопления Гиады

Элемент	Число использованных линий	$-\lg \epsilon_i$				
		γ Tau	δ Tau	ϵ Tau	θ^1 Tau	\odot
Si	6	4.60	4.81	4.62	4.70	4.89
Ca	5	5.49	5.65	5.48	5.55	5.61
Sc	4	9.14	9.05	9.00	9.00	8.76
Ti	9	7.02	7.24	6.99	7.14	7.22
V	10	7.81	7.67	7.55	7.73	7.99
Cr	7	6.05	6.10	6.11	6.17	6.26
Mn	5	6.03	6.00	6.04	6.18	6.23
Fe	60	4.31	4.42	4.33	4.41	4.42
Co	4	7.14	7.23	7.14	6.93	7.20
Ni	11	5.60	5.60	5.53	5.58	5.78
Y	1	9.27	9.46	9.36	—	9.56
Ba	3	9.60	9.48	9.34	9.57	9.60
La	1	9.84	9.93	9.80	10.23	10.22
Nd	1	9.73	9.86	9.63	9.99	10.03
Eu	1	11.33	11.32	11.32	11.32	11.52

Ошибки метода. Для фиксированных параметров расчета (эффективная температура, ускорение силы тяжести, микротурбулентная скорость и металличность) ошибки определения содержания химических элементов не превосходят 0.3 dex (определение по 5 линиям), а для нейтрального железа равны 0.2 dex (50 линий). Следовательно, при числе использованных в анализе линий более 15 ошибка определения химического состава практически не зависит от числа линий и от точности фотометрирования каждой линии. В этом случае основным источником ошибок являются ошибки определения сил осцилляторов и эффекты блендирования в спектрах холодных звезд. К исследованию этих ошибок мы обратимся в следующей работе при анализе спектрограмм с обратной дисперсией 5 Å/мм. Здесь рассмотрим только влияние выбора шкалы эффективных температур на результат определения металличности [Fe/H].

В 10-й колонке табл. 1 приведены средние значения металличности каждой звезды, определенные по каталогу [17] (мы использовали только методически однотипные определения). Средняя эффективная температура ($T_e=4960$ К) оказалась близкой к принятой в наших расчетах. Средние значения металличностей (последняя строка табл. 1) совпадают в пределах ошибок.

Результаты анализа спектров К-гигантов методом кривых роста, методом моделей атмосфер, сравнение определений металличности, выполненные для одних и тех же звезд разными авторами (см. [17]), показывают, что при ошибке $\Delta \theta_e=0.05$ Δ [Fe/H]=0.1 [1]. Следовательно, если вместо шкалы эффективных температур из [10] принять шкалу, основанную на методе моделей атмосфер [12, 13], то металличность К-гигантов Гиад понизится на 0.1 dex. Поэтому вопрос об избытке Fe в атмосферах К-гигантов Гиад относительно солнечного содер-

жания Fe остается открытым. Что же касается металличности K-гигантов Гиад относительно K-гигантов других скоплений и групп, то здесь возможен избыток металличности:

$$\lg \varepsilon (\text{Fe})_{(\text{K-гиг. Гиад})} = -4.37 \pm 0.03 \text{ (табл. 2);}$$

$$\lg \varepsilon (\text{Fe})_{(\text{K-гиг. скопл.})} = -4.45 \pm 0.11 \text{ (табл. 3 из [1] без учета HD 28305).}$$

Авторы приносят благодарность В. Г. Ключковой и В. В. Цымбалу за помощь в наблюдениях и вычислениях.

Литература

1. Мишенина Т. В., Панчук В. Е. О дисперсии металличности K-гигантов диска Галактики. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1984, **21**, с. 12—15.
2. Фотометрический и спектральный каталог ярких звезд / Н. С. Комаров, А. В. Драгунова, В. Ф. Карамыш и др. Киев: Наукова думка, 1979. 536 с.
3. Moore S. E., Minnaert M. G., Houtgast J. The solar spectrum $\lambda\lambda$ 2935—8770 Å. — *NBS Monogr.*, Washington, 1966, **61**.
4. Griffin R. F. A photometric atlas of the spectrum of Arcturus. *Cambridge Philos. Soc.*, 1968.
5. Боярчук А. А., Боярчук М. Е. Спектроскопическое исследование трех сверхгигантов класса F8. — *Изв. КрАО*, 1981, **63**, с. 66—85.
6. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И. Построение фундаментальных систем сил осцилляторов и содержание химических элементов в фотосфере Солнца. FeI. Препринт ИТФ АН УССР, ИТФ-79-438 Р, янв. 1980. 45 с.
7. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars / B. Gustafsson, R. A. Bell, K. Eriksson, A. Nordlund. — *Astron. a. Astrophys.*, 1975, **42**, p. 407—432.
8. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. II / R. A. Bell, K. Eriksson, B. Gustafsson, A. Nordlund. — *Astron. a. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1976, **23**, p. 37—95.
9. Parsons S. B. A fine analysis of two yellow supergiants. I. Preliminary results. — *Astrophys. J.*, 1967, **150**, p. 263—271.
10. Комаров Н. С. Характеристики холодных звезд. — *Астрон. циркуляр*, 1980, № 1444, **15**, с. 3—4.
11. Paczynski V. Evolution of single stars. I. Stellar evolution from main sequence to white dwarf or carbon ignition. — *Acta astr.*, 1970, **20**, p. 47—58.
12. Gustafsson B., Bell R. The colours of G and K-type giant stars. I. — *Astron. a. Astrophys.*, 1979, **74**, p. 313—352.
13. The colours of G and K-type giant stars. II / R. Bell, R. Erikson, B. Gustafsson, A. Nordlund. — *Astron. a. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1978, **34**, p. 229—240.
14. Спектрофотометрия звезд в диапазоне $\lambda\lambda$ 550—900 нм / Н. С. Комаров, В. А. Позигун, С. Н. Белик и др. — Киев: Наукова думка, 1983. 312 с.
15. Бурнашев В. И. Определение эффективных температур, ускорений силы тяжести и параметра металличности поздних звезд на основе данных о распределении энергии в их спектрах. — *Изв. КрАО*, 1983, **67**, с. 13—33.
16. Delbouille L., Roland G., Neven L. Photometric atlas of the solar spectrum from λ 3000 to λ 40 000 Å. Liege, 1973.
17. A catalogue of [Fe/H] determinations / G. Cayrel de Strobel, C. Bentolila, B. Hauck, A. Curchod. — *Astron. a. Astrophys. Suppl. Ser.*, 1980, **41**, p. 405—419.
18. Effective temperatures of late-type stars. The field giants from K0 to M6 / S. T. Ridway, R. R. Joyce, N. M. White, R. F. Wing. — *Astrophys. J.*, 1980, **235**, p. 126—137.

Поступила в редакцию 26.11.84