АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АТМОСФЕР КРАСНЫХ ГИГАНТОВ ЗВЕЗДНОГО ПОТОКА ГЕРКУЛЕСА

Ю. В. Пахомов[1], Л. И. Антипова[2], А. А. Боярчук[3]

Институт астрономии РАН
119017 Москва, ул. Пятницкая, 48
[1] *e-mail:* pakhomov@inasan.ru
[2] *e-mail:* antipova@inasan.ru
[3] *e-mail:* aboyar@inasan.ru

Представлены предварительные результаты сравнительного анализа красных гигантов звездного потока Геркулеса. Методом моделей атмосфер определены содержания около 20 химических элементов в атмосферах исследуемых звезд, оценены массы звезд, их возраста. Вычислены компоненты скоростей звезд и элементы их галактических орбит. Анализ полученных данных показывает, что поток Геркулеса представляет собой неоднородную группу и может быть смесью объектов толстого и тонкого дисков.

ВВЕДЕНИЕ

На основе исследований движений звезд в окрестности Солнца выделяют несколько групп звезд, имеющих близкие кинематические характеристики [7, 9, 17]. Одной из таких групп является звездный поток с положением на диаграмме скоростей UV (−40 км/с, −50 км/с), выделенный впервые Эггеном [8], с характерной звездой ζ Herculis, которая и дала название всему потоку. Около 6.5% красных гигантов окрестности Солнца принадлежат потоку Геркулеса [9]. Характерное движение звезд потока связывают с влиянием галактического бара [10, 15]. По исследованиям карликов поток Геркулеса представляет собой смесь звезд разных металличностей и возрастов, а также, возможно, толстого и тонкого дисков [5].

В данной работе представлены результаты анализа содержаний химических элементов в атмосферах пяти красных гигантов, принадлежащих потоку Геркулеса.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Отбор звезд для наблюдений был основан на кинематических данных из работы [9]. Исследованные звезды, список которых представлен в табл. 1, имеют вероятность принадлежности потоку Геркулеса не менее 75%.

Спектральные наблюдения выбранных звезд проводились в октябре 2006 года на эшеле-спектрографе 2.16-м телескопа станции Xinglong Национальных астрономических обсерваторий Китая. Приемником излучения служила ПЗС-матрица размером 1024×1024. Разрешение спектрографа $R = 40\,000$, отношение сигнала к шуму $\mathrm{S/N} > 150$. Обработка полученных спектрограмм проводилась с помощью пакета MIDAS.

Параметры звездных атмосфер (см. табл. 1) были определены по методике, основанной на анализе относительных содержаний элементов группы железа и подробно описанной в работе [2]. На основе полученных параметров были вычислены соответствующие модели звездных атмосфер с помощью программы ATLAS9 [12]. По измеренным эквивалентным ширинам избранных неблендированных спектральных линий с помощью программы WIDTH9 были оценены содержания химических элементов, которые представлены на рис. 1.

КИНЕМАТИКА ЗВЕЗД

В табл. 1 также представлены кинематические характеристики звезд программы. Это вектор галактической скорости (U, V, W) и элементы галактической орбиты: перигалактическое расстояние R_{min}, апогалактическое расстояние R_{max}, максимальное орбитальное удаление от плоскости Галактики Z_{max}, эксцентриситет e и наклонение i. Скорости (U, V, W) вычислены на основе редуцированных данных HIPPARCOS [13] и данных проекта CORAVEL [14]. При этом расстояние до центра

Таблица 1. Список исследованных красных гигантов потока Геркулеса, параметры их звездных атмосфер, массы, возраста и кинематические характеристики

HD	10437	12139	49520	55280	203504
SpType	K1 III	K0 III–IV	K3 III	K2 III	K1 III
m_v	6.57	5.89	4.99	5.20	4.08
$T_{эф}$ (K)	4714	4752	4503	4675	4610
lg g	2.40	2.37	2.29	2.72	2.20
V_t (км/с)	1.32	1.45	1.46	1.29	1.41
$M/M_\odot$	1.5	1.7	1.4	1.1	1.2
lg Age	9.0	9.2	9.0	8.7	8.9
U (км/с)	–40.4	–44.6	–64.6	–53.4	–40.2
V (км/с)	–31.6	–41.7	–44.4	–33.1	–46.8
W (км/с)	–15.1	24.0	–11.9	–18.5	27.2
R_{min} (кпк)	6.12	5.62	5.32	5.91	5.37
R_{max} (кпк)	9.14	9.08	9.54	9.35	8.86
Z_{max} (кпк)	0.19	0.33	0.18	0.25	0.36
e	0.20	0.24	0.28	0.23	0.25
i°	1.2	2.1	1.1	1.6	2.4

Галактики принималось равным 8.5 кпк, а необходимая коррекция скоростей за движение Солнца принималась с параметрами (+10.2, +14.9, +7.8) км/с, взятыми из работы [9]. Орбитальные элементы рассчитывались с помощью численного интегрирования движения звезд методом Эверхарта 15-го порядка с использованием трехкомпонентной модели потенциала Галактики [4]. Точность интегрирования контролировалась сохранением необходимых интегралов движения. Так за 10 орбитальных оборотов типичная относительная ошибка по угловому моменту составляла $\Delta h/h < 10^{-13}$ и по полной энергии $\Delta E/E < 10^{-8}$.

Из табл. 1 видно, что компоненты W галактической скорости имеют значительный разброс, и это проявляется, прежде всего, в различных значениях наклона их орбит i и максимального орбитального удаления от плоскости Галактики Z_{max}. Из этого следует, что звезды потока Геркулеса не являются кинематически тесно связанными наподобие звездных скоплений. И скорее всего подобное движение объяснимо внешним воздействием галактического бара [10, 15].

АНАЛИЗ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА

Из рис. 1 видно, что содержания металлов в исследуемых красных гигантах выше солнечного значения. Средняя металличность составила [Fe/H] $= +0.14 \pm 0.12$ при разбросе отдельных значений от 0.00 до 0.25. Все звезды на рис. 1 имеют близкие значения содержаний химических элементов с точностью около 0.15 dex. Однако самые нижние графики для звезд HD 12139 и HD 203504 имеют систематически меньшие значения содержаний, это может быть связано с тем, что эти звезды имеют наибольшие значения Z_{max} (табл. 1), которые слегка превосходят характерную шкалу высот для тонкого диска (90–325 пк [6, 11, 16]).

На рис. 2 представлены зависимости содержаний [Na/Fe], [Mg/Fe], [Al/Fe], [Si/Fe] от ускорения силы тяжести, которые являются, во-первых, следствием производства этих элементов в ядерных реакциях на стадии главной последовательности и, во-вторых, следствием развития конвективной оболочки, обеспечивающей вывод продуктов этих реакций из внутренних частей звезды в ее атмосферу. Положения исследуемых звезд на рис. 2 согласуются с ранее полученными данными для звезд тонкого диска. Однако отметим, что в случае натрия (рис. 2, *a*) звезды расположены несколько ниже основной зависимости. Интересно, что пониженное содержание [Na/Fe] на этом графике характерно для звезд толстого диска [1, 3]. Вероятно, это следствие того, что поток Геркулеса может являться смесью объектов толстого и тонкого дисков [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итак, в настоящей работе проанализированы данные для красных гигантов, принадлежащих звездному потоку Геркулеса. Определены параметры звездных атмосфер и содержания для 20 химических элементов. Также определены массы, возраста и кинематические характеристики исследуемых звезд. На основе проведенного анализа показано, что поток Геркулеса действительно может быть смесью звезд толстого и тонкого дисков.

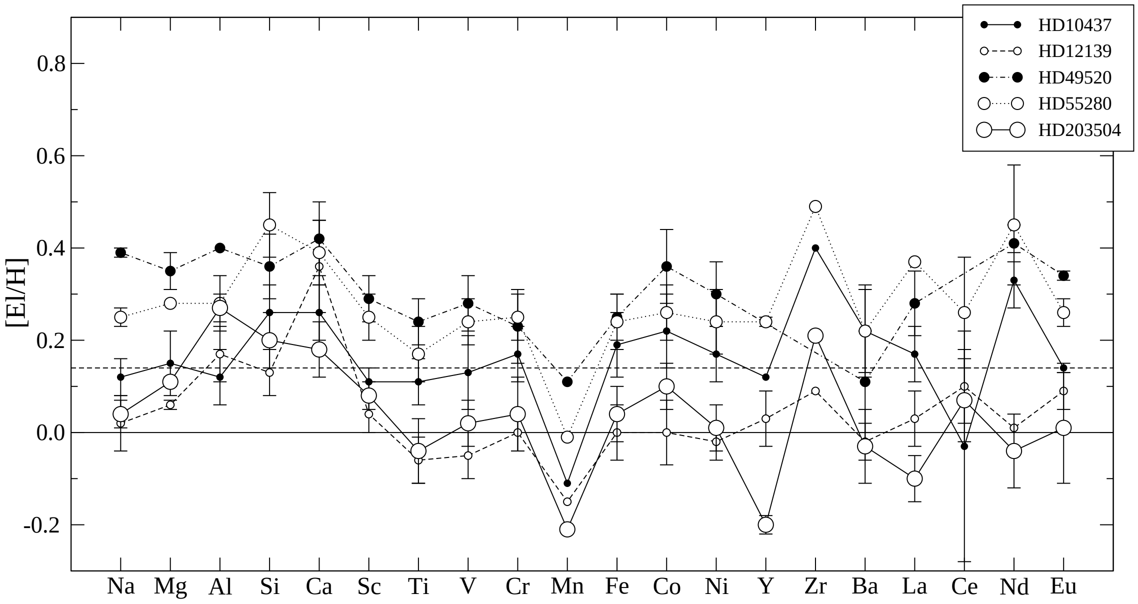

Рис. 1. Содержания химических элементов в атмосферах исследуемых красных гигантов потока Геркулеса

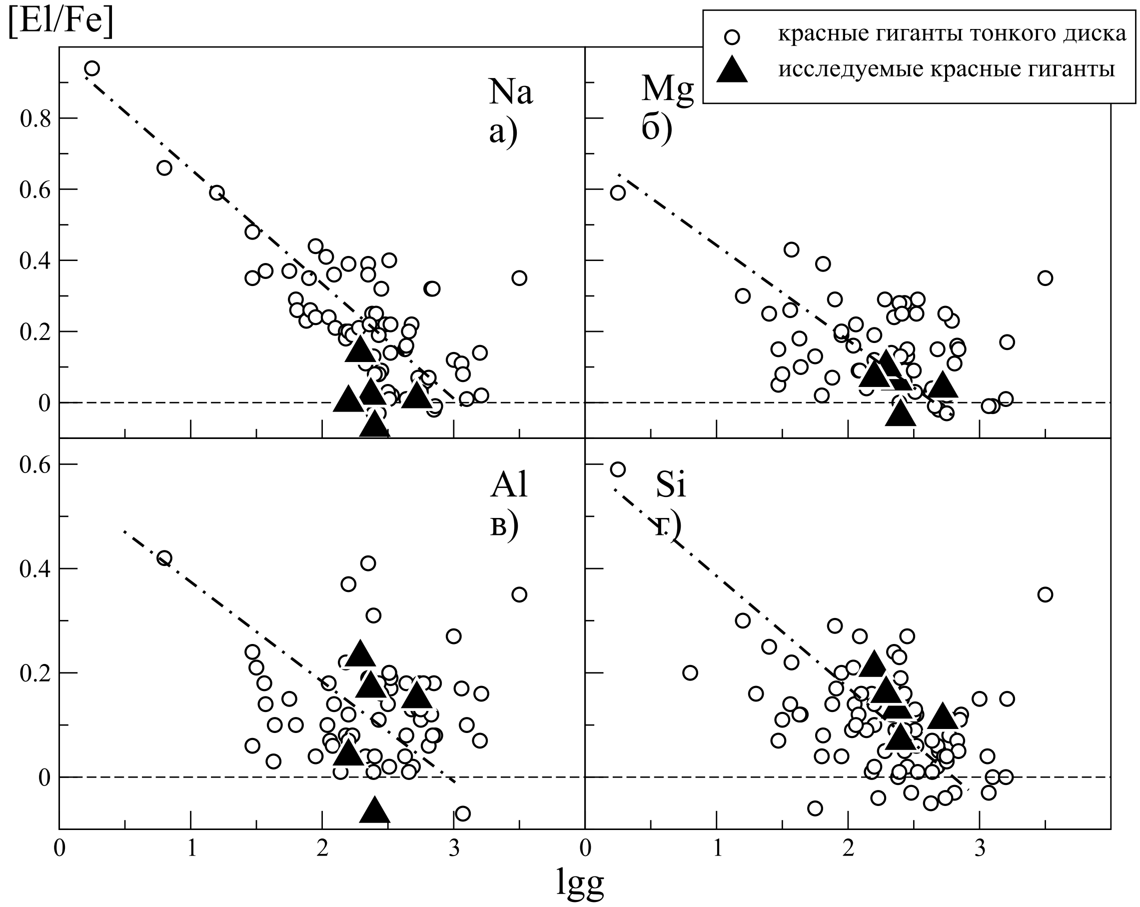

Рис. 2. Содержания [Na, Mg, Al, Si/Fe] в атмосферах исследуемых красных гигантов и гигантов тонкого диска

Работа выполнена частично при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (коды проектов 09-02-00528-а, 08-02-92203-ГФЕН_а), Программы поддержки ведущих научных школ (грант НШ-4354.2008.2), Программы Президиума РАН “Происхождение и эволюция звезд и галактик”, грантов Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых МК-1992.2008.2, Фонда содействия отечественной науке и Федерального агентства по науке и инновациям.

[1] *Антипова Л. И., Боярчук А. А., Пахомов Ю. В., Юшкин М. В.* Анализ содержаний Na Mg Al Si в атмосферах красных гигантов различных спектральных подгрупп // Астрон. журн. – 2005. – **82**. – С. 601–615.

[2] *Боярчук А. А., Антипова Л. И., Боярчук М. Е., Саванов И. С.* Сравнительный анализ содержаний химических элементов в атмосферах красных гигантов различных возрастных групп // Астрон. журн. – 2001. – **78**. – С. 349–357.

[3] *Пахомов Ю. В. и др.* Исследование красных гигантов в областях рассеянных звездных скоплений. Звезды поля // Астрон. журн. – 2009. – **86**. – С. 739–757.

[4] *Allen C., Santillan A.* An improved model of the galactic mass distribution for orbit computations // Revista Mexicana de Astronomia y Astrofisica. – 1991. – **22**. – P. 255–263.

[5] *Bensby T., Oey M. S., Feltzing S., Gustafsson B.* Disentangling the Hercules Stream // Astrophys. J. – 2007. – **655**. – P. L89–L92.

[6] *Chen B., et al.* Stellar Population Studies with the SDSS. I. The Vertical Distribution of Stars in the Milky Way // Astrophys. J. – 2001. – **553**. – P. 184–197.

[7] *Eggen O. J.* Stellar groups. I. The Hyades and Sirius groups // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1958. – **118**. – P. 65–79.

[8] *Eggen O. J.* Stellar groups. II. The ζ Herculis ϵ Indi and 61 Cygni groups of high-velocity stars // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1958. – **118**. – P. 154–160.

[9] *Famaey B., et al.* Local kinematics of K and M giants from CORAVEL/HIPPARCOS/Tycho-2 data. Revisiting the concept of superclusters // Astron. and Astrophys. – 2005. – **430**. – P. 165–186.

[10] *Fux R.* Order and chaos in the local disc stellar kinematics induced by the Galactic bar // Astron. and Astrophys. – 2001. – **373**. – P. 511–535.

[11] *Gilmore G., Reid N.* New light on faint stars. III. Galactic structure towards the South Pole and the Galactic thick disc // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1983. – **202**. – P. 1025–1047.

[12] *Kurucz R. L.* Atlas: a Computer Program for Calculating Model Stellar Atmospheres // SAO Special Report. – 1970. – **309**.

[13] *van Leeuwen F.* Validation of the new HIPPARCOS reduction // Astron. and Astrophys. – 2007. – **474**. – P. 653–664.

[14] *Maurice E., et al.* Radial velocities of southern stars obtained with the photoelectric scanner CORAVEL. VI. 233 F to M type stars in and near the Small Magellanic Cloud – Comparison with 80 spectrographic radial velocities of O to K type stars in this galaxy // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1987. – **67**. – P. 423–445.

[15] *Raboud D., et al.* Evidence for a signature of the galactic bar in the solar neighbourhood // Astron. and Astrophys. – 1998. – **335**. – P. L61–L64.

[16] *Robin A. C., et al.* The thick disc of the Galaxy: sequel of a merging event // Astron. and Astrophys. – 1996. – **305**. – P. 125–134.

[17] *Skuljan J., Hearnshaw J. B., Cottrell P. L.* Velocity distribution of stars in the solar neighbourhood // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1999. – **308**. – P. 731–740.