

УДК 524.316.2/4.082-6-36

Т. И. Горбанёва¹, Т. В. Мишенина¹, К. Субиран²

¹Научно-исследовательский институт «Астрономическая обсерватория»
Одесского национального университета имени И. И. Мечникова
парк Шевченко, Одесса, 65014

²Университет Бордо, Национальный центр научных исследований Франции
UMR 5804, 33270 Флуарак, Франция

Содержание европия в холодных звездах-карликах толстого и тонкого дисков Галактики

Определены содержания европия в 112 FGK-карликах толстого и тонкого дисков в диапазоне металличности $-1.0 < [Fe/H] < +0.3$. Спектры исследуемых звезд получены на 1.93-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (Франция) со спектральным разрешением $R = 42000$ и отношением сигнала к шуму $S/N = 100...300$. Расчет содержания Eu выполнен в предположении ЛТР методом синтетического спектра с детальным учетом сверхтонкой структуры. Анализ зависимости содержания европия от металличности в кинематически отобранных звездах толстого и тонкого диска Галактики показал различие его значений в дисках. Сравнение содержания европия с содержанием магния дает основание полагать, что при $[Fe/H] < -0.2$ dex источники производства этих элементов подобны, а при $[Fe/H] > -0.2$ dex они, возможно, различны.

ВМІСТ ЄВРОПІУ У ХОЛОДНИХ ЗОРЯХ-КАРЛИКАХ ТОВСТОГО І ТОНКОГО ДИСКІВ ГАЛАКТИКИ, Горбаньова Т. І., Мішеніна Т. В., Субіран К. — Визначено вміст європію у 112 FGK-карликах товстого та тонкого дисків в діапазоні металічності $-1.0 < [Fe/H] < +0.3$. Спектри досліджуваних зірок отримано на 1.93-м телескопі Обсерваторії Верхнього Провансу (Франція) з спектральною роздільною здатністю $R = 42000$ та відношенням сигналу до шуму $S/N = 100...300$. Розрахунки виконано методом синтетичного спектру у припущенні ЛТР з детальним врахуванням надтонкої структури. Аналіз залежності вмісту європію від металічності в кінематично відібраних зорях товстого та тонкого дисків Галактики показав розходження його значень у дисках. Порівняння вмісту європію з вміс-

том магнію дає підстави вважати, що при $[Fe/H] < -0.2$ dex джерела постачальників цих елементів подібні, а при $[Fe/H] > -0.2$ dex вони, можливо, різні.

EUROPIUM ABUNDANCES IN COOL DWARF STARS OF THE GALACTIC THICK AND THIN DISKS, by Gorbaneva T. I., Mishenina T. V., Soubiran C. — Europium abundances for 112 FGK stars of the galactic thick and thin disks with metallicity $-1.0 < [Fe/H] < +0.3$ are determined. The spectra of the stars under investigation were obtained with the 1.93-m telescope of the Haute-Provence Observatory (France) equipped with echelle-spectrometer ELODIE. The results are based on an analysis of spectra with typical S/N values from 100 to 300 and with a resolution of 42 000. These estimates are obtained from synthetic spectra using the LTE model atmosphere with a sophisticated consideration of hyperfine structure. Our analysis of the relationship between europium abundances and metallicity for the selected stars of the thick and thin disks of the Galaxy shows that the values of europium abundances in the disks are different. The results of our comparison between the europium abundances and magnesium abundances point to a similar origin of these elements for $[Fe/H] < -0.2$ dex and to probably distinct origin of them for $[Fe/H] > -0.2$ dex.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что звездное население нашей Галактики может быть представлено по крайней мере двумя дисками: тонким и толстым. Понятие «толстый диск» было введено Жилмором и Рейдом [12], которые обнаружили, что распределение плотности звезд в направлении Северного Галактического полюса описывается двумя зависимостями. Впоследствии толстые диски были обнаружены и у других спиральных галактик [10, 24, 34], при этом свойства толстых и тонких дисков оказались различными. В частности, толстый диск старше и беднее металлами, чем тонкий диск. Он вращается медленнее вокруг центра Галактики, чем тонкий диск [9, 13, 14, 26, 29]. Эти различия могут свидетельствовать о разных механизмах формирования подсистем диска, и в настоящее время предложен ряд соответствующих теорий, которые можно разделить на два типа — эволюционные и теории слияния или захвата. Но поскольку многие характеристики толстого диска установлены не вполне надежно, его происхождение остается дискуссионным [2, 23, 28, 34]. Решение этой задачи требует проведения дальнейших исследований параметров дисков, и в частности, содержания элементов.

Содержания ряда химических элементов в звездах разных дисков, прежде всего α -элементов [6, 7, 11, 22] и элементов, образованных в процессах нейтронного захвата [6, 20, 25], существенно различаются. Процессы нейтронного захвата обычно представлены быстрым (r) и медленным (s) процессами, зависящими от плотности потоков нейтро-

нов, которые осуществляются в различных объектах и при различных температурах. Исследуемый нами элемент Eu является практически чистым элементом r-процесса (для Солнца вклад r-процесса составляет 94 %, s-процесса — 6 % [4]), основными поставщиками которого, подобно α -элементам, могут быть массивные сверхновые SNI, где нейтронный поток достаточен для прохождения r-процесса [32].

Заметим, что для изучения содержаний элементов в тонком и толстом дисках необходимо четко идентифицировать звезды каждого диска. К сожалению, критерии, по которым определена принадлежность к населению того или иного диска, часто различаются, и одни и те же звезды в различных исследованиях могут относиться к разным группам. Поскольку содержание европия играет важную роль в понимании эволюции тяжелых элементов в звездах толстого и тонкого дисков, важно использовать четкие критерии отбора звезд того или иного типа населения Галактики.

В данной работе представлены определения содержания европия в 112 FGK-карликах в диапазоне металличности $-1.0 < [Fe/H] < +0.3$. Результаты получены на основе спектров высокого разрешения с большим отношением сигнала к шуму. Использовались высокоточные определения параметров атмосфер звезд, и разделение звезд на подсистемы, проведенные ранее на основе кинематических характеристик [22, 30].

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ И СЕЛЕКЦИЯ ЗВЕЗД ДИСКОВ

Спектры исследуемых звезд получены на 1.93-м телескопе Обсерватории Верхнего Прованса (Франция), оснащенном эшелле-спектрометром ELODIE [5]. Разрешающая способность спектрометра $R = 42000$, исследуемый участок длин волн $\lambda = 440...680$ нм, отношение сигнал/шум — порядка 100—300. Первичная обработка спектров была выполнена непосредственно в процессе наблюдений [15]. Дальнейшая обработка спектров (проведение уровня непрерывного спектра, измерение глубин и эквивалентных ширин линий и пр.) была выполнена при помощи пакета программ DECH20 [1].

Для выделения звезд тонкого и толстого дисков, как и других галактических субструктур, используются в основном пространственное распределение и локальная плотность звезд, пространственные скорости, металличность и возраст. Поскольку распределения скоростей для толстого и тонкого дисков, в отличие от других характеристик, достаточно хорошо изучены, мы воспользовались кинематическим подходом для классификации звезд. Вероятность принадлежности каждой звезды тонкому или толстому диску определялась на основе значений ее пространственной скорости, кинематических параметров дисков и доли звезд каждого диска в нашей выборке. Отбор звезд, принадлежащих галактическим субструктурам, для всех наших звезд выполнен по методике, описанной в работах [22, 29, 30].

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ АТМОСФЕР

Параметры атмосфер исследуемых звезд были определены ранее. Методы подробно описаны в работах [16, 21, 22].

Значения эффективной температуры $T_{\text{эф}}$ определена по калибровкам отношений глубин (R_1/R_2) пар спектральных линий со значительно различающимися потенциалами возбуждения нижнего уровня [16]. Большое число калибровок (80—105) позволяет уменьшить влияние ошибок измерений глубин линий и параметров атмосферы звезды на оценки температуры. Внутренняя точность метода в случае карликов составляет 5—45 К. Для звезд с металличностью $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.5$ определения $T_{\text{эф}}$ выполнены путем подгонки далеких крыльев линии водорода H [21].

Ускорение свободного падения $l\text{gg}$ на поверхности звезды определено из условия ионизационного равновесия для атомов нейтрального и ионизованного железа. Метод предполагает совпадение расчетов содержаний, полученных по линиям нейтрального железа Fe I и по линиям ионов Fe II. На точность этого метода влияет ряд факторов, например неопределенности сил осцилляторов $l\text{ggf}$ линий, и температурной структуры моделей атмосфер, возможность неЛТР-эффектов. Однако и метод определения ускорения свободного падения на поверхности звезды, использующий параллаксы, также отягощен ошибками. Так, для определения массы звезды по рассчитанным эволюционным трекам необходимо заранее знать металличность и обогащение α -элементами. Таким образом, остается влияние неЛТР-эффектов и моделей атмосфер, а неопределенность по массе $0.2M_{\odot}$ вносит ошибку порядка 0.2 dex. Как показано в работе [3], астрометрический и спектроскопический методы дают согласующиеся между собой результаты в диапазоне металличности $-1 < [\text{Fe}/\text{H}] < 0.3$. В нашем случае значения $l\text{gg}$, полученные нами методом ионизационного баланса, отличаются от значений $l\text{gg}$, полученных в работе [3] по параллаксу для 39 общих звезд, не более чем на 0.1 dex [22].

Значение микротурбулентной скорости V_t определено из условия независимости значений содержаний железа, определенных по всем линиям Fe I от их эквивалентных ширин EW . В качестве металличности $[\text{Fe}/\text{H}]$ было принято содержание железа, определенное по линиям Fe I. Точность определения эффективных температур составляет $T_{\text{эф}} = 100$ К, ускорений силы тяжести $l\text{gg} = 0.3$ dex, турбулентной скорости $V_t = 0.2$ км/с.

Значения полученных параметров и сравнение с результатами других исследований приведено в работе [22]. В табл. 1 мы представляем сравнение этих данных с оценками содержания европия, полученными в последнее время. Как видно, оценки эффективной температуры согласуются в пределах $T_{\text{эф}} = 100$ К, ускорения свободного падения — в пределах $l\text{gg} = 0.3$ dex, заявленных ранее в работе [22].

Таблица 1. Сравнение параметров атмосфер и содержания европия, полученных в данной работе и в работах других авторов

$T_{\text{эф}}, \text{K}$	$\lg g$	[Fe/H]	N	[Eu/Fe]	N	Литературный источник
19±76	-0.09±0.19	-0.03±0.08	9	0.01±0.09	7	[6]
92±29	-0.20±0.24	-0.01±0.04	8	0.04±0.11	7	[25]
12±64	-0.11±0.22	0.01±0.07	13	0.02±0.10	10	[19]

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЕВРОПИЯ

Первоначально были обработаны 130 спектров FGK-карликов в диапазоне металличности $-1.0 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.3$. Для 18 звезд, имеющих низкую металличность и высокую температуру, линия $\text{Eu II } 664.5 \text{ нм}$ не выделялась среди шума, поэтому из дальнейшего анализа эти звезды были исключены. Из оставшихся 112 звезд 17 принадлежат толстому диску, остальные 95 — тонкому.

Определения содержания европия выполнены по расчетам синтетического спектра в области линии $\text{Eu II } 664.5 \text{ нм}$ по программе Цымбала SYNTHV [31] в приближении ЛТР. Отклонения от ЛТР исследованы в работе [18], там же даны неЛТР-поправки к содержанию европия. Нетрудно заметить, что в диапазоне температур исследуемых нами звезд, эти поправки незначительны, что позволяет применить ЛТР-подход для определения содержания. Для расчетов была использована сетка моделей Куруца [17]. Выбор модели проводился стандартной интерполяцией сетки моделей по $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$. Значение содержания европия на Солнце ($\lg_{\text{Eu}} = 0.53$) взято из работы [19].

Европий представлен нечетными изотопами 151 и 153 согласно данным [8]. Каждый изотоп подвержен расщеплению на несколько уровней, т. е. имеет сверхтонкую структуру, что необходимо учитывать при вычислении его содержания. Значения сил осцилляторов и смещений компонентов сверхтонкой структуры линии $\text{Eu II } 664.5 \text{ нм}$ взяты из работы [18]. Расчет синтетического спектра в области линии $\text{Eu II } 664.5 \text{ нм}$ был проведен с учетом блендирования крыла линии европия линией кремния $\text{Si I } 664.52 \text{ нм}$. При этом использовались значения содержания кремния для каждой звезды, определенные ранее в работе [22].

Пример расчета участка синтетического спектра в области линии $\text{Eu II } 664.5 \text{ нм}$ приведен на рис. 1. Точность подгонки профиля при расчетах синтетического спектра составляет 0.03 dex. Полученные значения отношения содержаний Eu к содержанию железа относительно солнечного $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ приведены в табл. 2.

Из рис. 2 видно, что полученные значения содержания европия не зависят от параметров звезд $T_{\text{эф}}$ и $\lg g$. Это свидетельствует в пользу

Рис. 1. Сравнение наблюдаемого (точки) и теоретических (кривые) спектров, рассчитанных для модели $T_{\text{эф}} = 5350$ K, $\lg g = 4.1$, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.75$ в области линии Eu II 664.5 нм для значений содержания европия, отличающихся на 0.05 dex

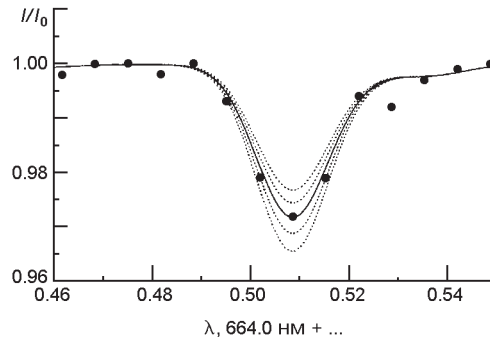


Таблица 2. Параметры атмосфер и содержание европия $[\text{Eu}/\text{Fe}]$ для исследуемых звезд

HD	$T_{\text{эф}}$, K	$\lg g$	$[\text{Fe}/\text{H}]$	$[\text{Eu}/\text{Fe}]$
ТОЛСТЫЙ ДИСК				
245	5400	3.4	-0.84	0.35
3765	5079	4.3	0.01	0.03
6582	5240	4.3	-0.94	0.41
13783	5350	4.1	-0.75	0.39
22879	5972	4.5	-0.77	0.41
65583	5373	4.6	-0.67	0.41
110897	5925	4.2	-0.45	0.29
135204	5413	4	-0.16	0.2
152391	5495	4.3	-0.08	0.12
157089	5785	4	-0.56	0.37
159062	5414	4.3	-0.4	0.29
159482	5620	4.1	-0.89	0.36
165401	5877	4.3	-0.36	0.27
184499	5750	4	-0.64	0.37
190360	5606	4.4	0.12	0.02
201889	5600	4.1	-0.85	0.34
204521	5809	4.6	-0.66	0.3
ТОНКИЙ ДИСК				
1835	5790	4.5	0.13	0.06
4307	5889	4	-0.18	0.12
4614	5965	4.4	-0.24	0.08
5294	5779	4.1	-0.17	0.01
8648	5790	4.2	0.12	-0.13
10307	5881	4.3	0.02	0.12
10476	5242	4.3	-0.05	-0.06
10780	5407	4.3	0.04	0.05
11007	5980	4	-0.2	0.19
13507	5714	4.5	-0.02	0.16
14374	5449	4.3	-0.09	0.13
17674	5909	4	-0.14	-0.02
17925	5225	4.3	-0.04	0.08
19373	5963	4.2	0.06	0.03
22049	5084	4.4	-0.15	0.24
22484	6037	4.1	-0.03	0.02

HD	$T_{\text{эф}}, \text{K}$	lgg	[Fe/H]	[Eu/Fe]
22556	6155	4.2	-0.17	0.21
24053	5723	4.4	0.04	0.1
28005	5980	4.2	0.23	-0.13
28447	5639	4	-0.09	0.13
29150	5733	4.3	0	0.04
29645	6009	4	0.14	-0.1
30495	5820	4.4	-0.05	0.07
33632	6072	4.3	-0.24	0.18
38858	5776	4.3	-0.23	0.15
39587	5955	4.3	-0.03	-0.03
40616	5881	4	-0.22	-0.04
41330	5904	4.1	-0.18	0.22
41593	5312	4.3	-0.04	-0.07
43587	5927	4.1	-0.11	0.15
43856	6143	4.1	-0.19	0.18
43947	6001	4.3	-0.24	-0.03
51419	5746	4.1	-0.37	0.26
55575	5949	4.3	-0.31	0.3
58595	5707	4.3	-0.31	0.2
61606	4956	4.4	-0.12	0.13
62613	5541	4.4	-0.1	-0.06
65874	5936	4	0.05	-0.11
66573	5821	4.6	-0.53	0.37
68638	5430	4.4	-0.24	0.08
70923	5986	4.2	0.06	-0.12
71148	5850	4.2	0	-0.06
72760	5349	4.1	0.01	0.05
72905	5884	4.4	-0.07	0.01
73344	6060	4.1	0.08	-0.04
75732	5373	4.3	0.25	-0.11
76151	5776	4.4	0.05	-0.06
82106	4827	4.1	-0.11	-0.05
88072	5778	4.3	0	0.15
89251	5886	4	-0.12	0.16
89269	5674	4.4	-0.23	0.2
91347	5931	4.4	-0.43	0.22
95128	5887	4.3	0.01	0
101177	5932	4.1	-0.16	0.15
102870	6055	4	0.13	-0.09
107705	6040	4.2	0.06	-0.05
108954	6037	4.4	-0.12	0.06
109358	5897	4.2	-0.18	0.04
114710	5954	4.3	0.07	-0.03
115383	6012	4.3	0.11	0.05
116443	4976	3.9	-0.48	0.32
117043	5610	4.5	0.21	-0.07
119802	4763	4	-0.05	-0.06
122064	4937	4.5	0.07	0.07
125184	5695	4.3	0.31	-0.07
126053	5728	4.2	-0.32	0.06

HD	$T_{\text{эф}}$, K	lgg	[Fe/H]	[Eu/Fe]
131977	4683	3.7	-0.24	0.18
135599	5257	4.3	-0.12	0.11
140538	5675	4.5	0.02	0.12
141004	5884	4.1	-0.02	0.11
145675	5406	4.5	0.32	-0.03
146233	5799	4.4	0.01	0.08
149661	5294	4.5	-0.04	0.03
151541	5368	4.2	-0.22	0.26
154345	5503	4.3	-0.21	0.15
160346	4983	4.3	-0.1	0.04
165173	5505	4.3	-0.05	0.09
165341	5314	4.3	-0.08	0
165908	5925	4.1	-0.6	0.14
166620	5035	4	-0.22	0.16
176841	5841	4.3	0.23	-0.09
182488	5435	4.4	0.07	-0.03
183341	5911	4.3	-0.01	0.1
185144	5271	4.2	-0.33	0.17
186408	5803	4.2	0.09	-0.05
186427	5752	4.2	0.02	0.02
189087	5341	4.4	-0.12	0.06
191533	6167	3.8	-0.1	-0.06
195104	6103	4.3	-0.19	0.03
197076	5821	4.3	-0.17	0.21
202108	5712	4.2	-0.21	0.15
205702	6020	4.2	0.01	-0.02
208906	5965	4.2	-0.8	0.39
210667	5461	4.5	0.15	-0.01
217014	5778	4.2	0.14	-0.05

правильного выбора этих параметров. Как следует из табл. 1, наши расчеты хорошо согласуются с результатами других исследований.

Теперь рассмотрим влияние неопределенностей значений параметров атмосфер на содержание европия. В табл. 3 приведены изменения содержания европия при наиболее вероятных изменениях параметров модели ($T_{\text{эф}} = 100$ K, $\text{lg}g = 0.3\text{dex}$, $V_t = 0.2$ км/с, $[\text{Fe}/\text{H}] = -0.2$), а также ошибка подгонки профилей линий расчетного и наблюдаемого спектров (шестая графа).

Как видно из табл. 3, ошибки оценок ускорения свободного падения вносят максимальный вклад в ошибку содержания европия. Суммарные ее значения составляют 0.10—0.13 dex. Кроме влияния неопределенностей параметров, дополнительную ошибку вносит также наличие неЛТР-эффектов. Как показано в работе [18], для рассматриваемых значений температур неЛТР-поправки составляют менее

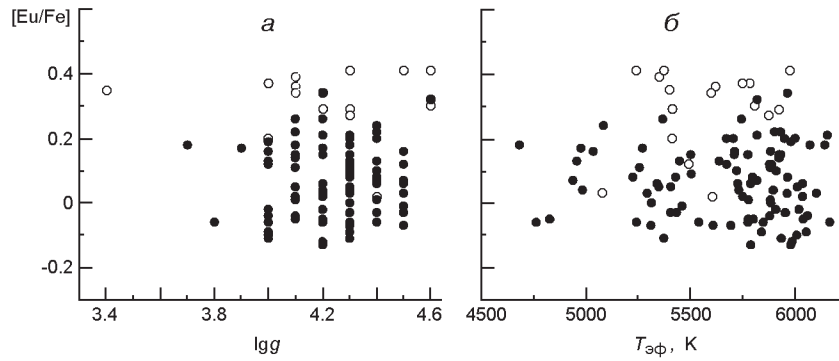


Рис. 2. Зависимость содержания европия от ускорения свободного падения (а) и от температуры (б)

Таблица 3. Влияние неопределенностей в определении параметров атмосфер и подгонки спектров на содержание европия

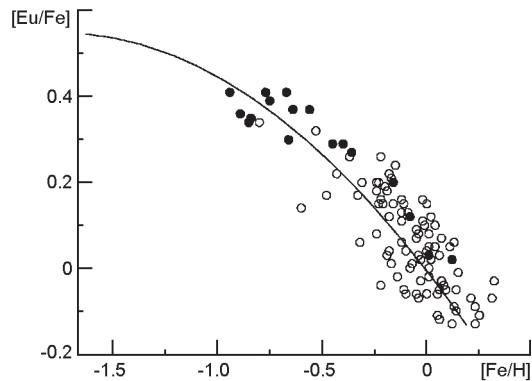
Звезда	$T_{\text{эф}} = 100 \text{ K}$	$\lg g = 0.3$	$V_t = 0.2 \text{ км/с}$	$[\text{Fe}/\text{H}] = -0.2$	Спектр	Общая ошибка
HD3765	-0.01	-0.10	-0.01	-0.07	0.03	0.13
HD165401	-0.01	-0.08	0	-0.06	0.03	0.10

0.1 dex. В итоге средняя ошибка оценок содержаний с учетом погрешности значений параметров, подгонки профиля линии синтетического и наблюдаемого спектров и учета отклонений от ЛТР не превышает 0.15 dex.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 3 представлена зависимость содержания европия от металличности для звезд тонкого (кружки) и толстого (точки) дисков, полученный в данной работе. Обнаружено уменьшение содержания европия с увеличением $[\text{Fe}/\text{H}]$ и избыточное содержание Eu в звездах толстого диска по отношению к тонкому. Средние значения содержаний Eu при металличностях $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.2$ составляют 0.17 ± 0.08 для толстого и 0.35 ± 0.04 для тонкого дисков. Это подтверждает результаты исследования содержания европия в рассматриваемой нами области металличности $-1 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.3$, выполненные в работах [6, 20, 25]. Заметим, что в области $[\text{Fe}/\text{H}] > -0.2$ ход европия для звезд обоих дисков практически одинаков. Средние значения при этих металличностях составляют 0.09 ± 0.08 для толстого диска и 0.03 ± 0.09 для тонкого диска.

Рис. 3. Зависимость содержания европия от металличности для карликов толстого (точки) и тонкого (кружки) дисков, непрерывная линия — теоретическая модель Серминато [27]

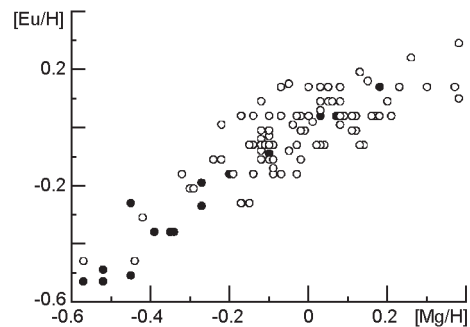


Сравним содержания европия и магния — элемента, показывающего различное поведение содержания в дисках [6, 20]. Для этого используем значения содержания магния, полученные нами ранее в работе [22]. На рис. 4 представлена зависимость содержания европия $[Eu/H]$ от содержания магния $[Mg/H]$. Особенно хорошее согласие наблюдается для звезд толстого диска. Исключение составляет звезда HD 65583, для которой избыток европия относительно магния составляет $[Eu/Mg] = 0.19$. Для тонкого диска наблюдается разброс, как в сторону избытка, так и в сторону дефицита европия относительно магния.

Следует заметить, что тренды европия и магния от металличности различаются в области $[Fe/H] > -0.2$: содержание магния сохраняет «солнечную» пропорцию [22], а содержание европия уменьшается с увеличением $[Fe/H]$, что согласуется с данными других исследований [6, 25]. Этим объясняется небольшой дефицит европия относительно магния при «околосолнечной» металличности (рис. 4). Возможно, источники обогащения этими элементами при таких значениях металличности различны.

Вопрос об источниках производства европия как при низких металличностях, так и при «солнечной» металличности все еще остается открытым. В расчетах моделей химической эволюции часто применяют так называемый r -остаточный метод, оценивающий вклад r -процесса в обогащение того или иного элемента как $r = 1 - s$, где s — вклад s -процесса в полное содержание. Такая оценка вклада r -процесса в обогащение была принята в расчетах модели химической эволюции в

Рис. 4. Зависимость содержания европия $[Eu/H]$ от содержания магния $[Mg/H]$ (обозначения см. на рис. 3)



работе Серминато [27], где основными поставщиками s-процесса были определены звезды асимптотической ветви гигантов АВГ с массами $1.5 < M/M_{\odot} < 3$. Мы сравнили полученные нами результаты с теоретическими расчетами [27]. Как видно из рис. 3, рассмотренная модель (сплошная кривая) с учетом ошибок достаточно хорошо описывает ход содержания европия в толстом и тонком дисках. Однако для звезд толстого диска наблюдается избыточное содержание европия по сравнению с расчетным, что может говорить о другой пропорции вклада r-процесса по отношению к s-процессу для звезд толстого диска или о трудностях разделения обогащения звезд тонкого и толстого диска в модели.

ВЫВОДЫ

1. Определены содержания европия в 112 FGK-карликах, принадлежащих диску Галактики и имеющих металличность в диапазоне $-1.0 < [\text{Fe}/\text{H}] < +0.3$.
2. Содержание европия различается для звезд толстого и тонкого дисков при металличностях $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.2$. Средние значения содержания европия при этих металличностях составляют 0.17 ± 0.08 для толстого и 0.35 ± 0.04 для тонкого дисков.
3. При $[\text{Fe}/\text{H}] < -0.2$ dex источники производства европия подобны источникам производства магния.
4. При $[\text{Fe}/\text{H}] > -0.2$ dex источники производства магния и европия могут различаться.
5. Для восстановления картины обогащения дисков и согласования с наблюдениями необходимы дальнейшие разработки моделей эволюции.

Работа выполнена при поддержке Швейцарского национального научного фонда, проект SCOPES No. IZ73Z0-128180/1. В работе использованы данные из баз SIMBAD и SAO/NASA ADS.

1. *Галазутдинов Г. А.* Система обработки звездных эшеле-спектров. — Нижний Архыз, 1992. — 52 с.—(Препринт / Российская АН. Спец. астрофиз. обсерватория; № 92).
2. *Abadi M. G., Navarro J. F., Steinmetz M., Eke V. R.* Simulations of Galaxy formation in a cold dark matter universe. II. The fine structure of simulated galactic disks // *Astrophys. J.*—2003.—**597**, N 1.—P. 21—34.
3. *Allende Prieto C., Garcia Lopez R. J., Lambert D. L., Gustafsson B. A.* Consistency test of spectroscopic gravities for late-type stars // *Astrophys. J.*—1999.—**527**, N 2.—P. 879—892.
4. *Arlandini C., Kappeler F., Wisshak K., et al.* Neutron capture in low-mass asymptotic giant branch stars: Cross sections and abundance signatures // *Astrophys. J.*—1999.—**525**, N 2.—P. 886—900.
5. *Baranne A., Queloz D., Mayor M., et al.* ELODIE: A spectrograph for accurate radial velocity measurements // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1996.—**119**, N 2.—P. 373—390.

5. *Bensby T., Feltzing S., Lundström I., Ilyin I.* -, r-, and s-process element trends in the Galactic thin and thick disks // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**433**.—P. 185—203.
7. *Brewer M.-M., Carney B. W.* A comparison of the chemical evolutionary histories of the Galactic thin disk and thick disk stellar populations // *Astron. J.*—2006.—**131**, N 2.—P. 431—454.
8. *Cameron A. G. W.* The heavy element yields of neutron capture nucleosynthesis // *Astrophys. and Space Sci.*—1982.—**82**, N 1.—P. 123—131.
9. *Chiba M., Beers T. C.* Kinematics of metal-poor stars in the Galaxy. III. Formation of the stellar halo and thick disk as revealed from a large sample of nonkinematically selected stars // *Astron. J.*—2000.—**119**, N 6.—P. 2843—2865.
10. *Dalcanton J. J., Bernstein R. A.* A structural and dynamical study of late-type, edge-on Galaxies. II. Vertical color gradients and the detection of ubiquitous thick disks // *Astron. J.*—2002.—**124**, N 3.—P. 1328—1359.
11. *Fuhrmann K.* Nearby stars of the Galactic disk and halo // *Astron. and Astrophys.*—1998.—**338**, N 1.—P. 161—185.
12. *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.
13. *Gilmore G., Wyse R. F. G., Norris J. E.* Deciphering the last major invasion of the Milky Way // *Astrophys. J.*—2002.—**574**, N 1.—L39—L42.
14. *Girard T. M., Korchagin V. I., Casetti-Dinescu D. I., et al.* Velocity shear of the thick disk from SPM3 proper motions at the south galactic pole // *Astron. J.*—2006.—**132**, N 5.—P. 1768—1782.
15. *Katz D., Soubiran C., Cayrel R., et al.* On-line determination of stellar atmospheric parameters T_{eff} , $\log g$, $[\text{Fe}/\text{H}]$ from ELODIE echelle spectra. I. The method // *Astron. and Astrophys.*—1998.—**338**, N 1.—P. 151—160.
16. *Kovtyukh V. V., Soubiran C., Belik S. I., Gorlova N. I.* High precision effective temperatures for 181 F-K dwarfs from line-depth ratios // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**411**.—P. 559.
17. *Kurucz R.* ATLAS 9 stellar atmosphere program and 2 km s⁻¹ grid // CD-ROM 13.—1993.
18. *Mashonkina L. I.* Non-LTE Analysis of the formation of Eu II lines in the atmospheres of solar-type stars // *Astr. Reports.*—2000.—**44**, N 8.—P. 558—568.
19. *Mashonkina L., Gehren T.* Heavy element abundances in cool dwarf stars // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**376**.—P. 232—247.
20. *Mashonkina L., Gehren T., Travaglio C., Borkova T.* Mg, Ba and Eu abundances in thick disk and halo stars // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**397**, N 1.—P. 275—284.
21. *Mishenina T. V., Kovtyukh V. V.* Analysis of neutron capture elements in metal-poor stars // *Astron. and Astrophys.*—2001.—**370**, N 2.—P. 951—966.
22. *Mishenina T. V., Soubiran C., Kovtyukh V. V., Korotin S. A.* On the correlation of elemental abundances with kinematics among galactic disk stars // *Astron. and Astrophys.*—2004.—**418**, N 2.—P. 551—562.
23. *Mould J.* Red thick disks of nearby galaxies // *Astron. J.*—2005.—**129**, N 2.—P. 698—711.
24. *Pohlen M., Dettmar R.-J., Lutticke R.* Cut-off radii of galactic disks. A new statistical study on the truncation of galactic disks // *Astron. and Astrophys.*—2000.—**357**.—P. L1—L4.
25. *Reddy B. E., Tomkin J., Lambert D. L., Prieto C. A.* Elemental abundance survey of the Galactic thick disc // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—2006.—**367**, N 4.—P. 1329—1366.

26. *Reid N., Majewski S. R.* Star counts redivivus. I. A new look at the galaxy at faint magnitudes // *Astrophys. J.*—1993.—**409**, N 2.—P. 635—662.
27. *Serminato A., Gallino R., Travaglio C., et al.* Galactic chemical evolution of the s process from AGB stars // *Publ. Astron. Soc. Austral.*—2000.—**26**, N 3.—P. 153—160.
28. *Seth A. C., Dalcanton J. J., de Jong R. S.* A study of edge-on galaxies with the Hubble Space Telescope advanced camera for surveys. II. Vertical distribution of the resolved stellar population // *Astron. J.*—2005.—**130**, N 4.—P. 1574—1592.
29. *Soubiran C., Bienayme O., Siebert A.* Vertical distribution of Galactic disk stars. I. Kinematics and metallicity // *Astron. and Astrophys.*—2003.—**398**, N 1.—P. 141—151.
30. *Soubiran C., Girard P.* Abundance trends in kinematical groups of the Milky Way's disk // *Astron. and Astrophys.*—2005.—**438**, N 1.—P. 139—151.
31. *Tsybal V. V.* Model atmospheres and spectrum synthesis // *ASP Conf. Ser.*—1996.—**108**.—P. 198.
32. *Woosley S. E., Wilson J. R., Mathews G. J., et al.* The r-process and neutrino-heated supernova ejecta // *Astrophys. J.*—1994.—**433**, N 1.—P. 229—246.
33. *Yoachim P., Dalcanton J. J.* Lick indices in the thin and thick disks of edge-on disk galaxies // *Astrophys. J.*—2008.—**683**, N 2.—P. 707—721.
34. *Yoachim P., Dalcanton J. J.* Structural parameters of thin and thick disks in edge-on disk galaxies // *Astron. J.*—2006.—**131**, N 1.—P. 226—249.

Поступила в редакцию 11.03.11