

## ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕР 15 G—K-ГИГАНТОВ РАЗНОЙ МЕТАЛЛИЧНОСТИ

*Г. Ю. Таутвайшене, В. Л. Страйжис*

По высокодисперсионным спектрам, полученным на 6-м телескопе САО АН СССР, определены параметры атмосфер и химический состав 11 G—K-гигантов разной металличности и заново анализированы 4 звезды по эквивалентным ширинам линий, приведенным в литературе. Обнаружено, что содержание легких металлов Na, Mg, Ca и Ti по отношению к Fe в гигантах галактического гало повышено. Содержание натрия повышено и в гигантах диска. Отношения содержаний Sc, V, Cr, Co, Ni и Zn к Fe существенных отклонений от солнечных не показывают. [Mn/Fe] в гигантах гало незначительно понижено. Обнаружен существенный сверхдефицит Cu. Обнаружено наличие эффекта «четных—нечетных» элементов среди элементов группы железа. Отношения [Y/H] и [Ba/H] в гигантах гало уменьшены, а [Ce/H], [Nd/H] и [Sm/H] остаются примерно солнечными.

The atmospheric parameters and abundances of chemical elements are determined in the atmospheres of fifteen G and K giants of different metallicity. High-dispersion spectrograms for eleven program stars are obtained on the 6-meter telescope and equivalent widths for four stars are taken from literature. The light metals Na, Mg, Ca, and Ti are found to be enriched relative to iron in the halo giants. [Na/Fe] is positive too in giants of the galactic disk. Sc, V, Cr, Co, Ni and Zn exhibit solar abundances. [Mn/Fe], [Cu/Fe], and s-process elements Y and Ba are overdeficient in giants of the galactic halo. Abundances of Ce, Nd and Sm seem to be solar at all metallicities. An «odd—even» effect is obtained for elements produced by the silicon burning process.

Предложено несколько моделей химической эволюции Галактики, однако ряд проблем, связанных с нуклеосинтезом, перемешиванием и потерей вещества, остается нерешенным. Причиной этого является недостаток наблюдательных данных, охватывающих широкий диапазон звездных масс, возрастов, химического состава и других параметров. До сих пор актуальны слова, сказанные Беатриче Тинсли в 1977 г. на коллоквиуме «Химическая и динамическая эволюция нашей Галактики»: «Чтобы идти дальше, нам сейчас нужны не новые модели, иллюстрирующие связи между возможными процессами и параметрами и их следствиями, а новые наблюдательные данные и физические понятия» [1].

Значительная часть информации о процессе обогащения межзвездной среды тяжелыми элементами заложена в гигантах спектральных классов G—K, так как среди них встречаются звезды разного возраста. Старейшие G—K-гиганты несут сведения о состоянии межзвездного вещества в Галактике  $\geq 10^{10}$  лет назад. Эти звезды принадлежат населению гало; их сохранению до сих пор способствовали малые массы. Однако примерно из 1000 звезд, имеющих в настоящее время высокодисперсионные определения химического состава [2], число G—K-гигантов гало составляет лишь около 50; и эта цифра чрезвычайно мала для решения многих задач эволюции Галактики. Кроме того, часть звезд исследовалась устаревшими методами: использовались неточные силы осцилляторов, грубые модели атмосфер и т. д. В связи с этим необходимо не только расширить число исследованных звезд, но и пересмотреть более старые определения химического состава. Настоящая работа посвящена исследованию химического состава атмосфер 15 G—K-гигантов разного возраста как на основе нового наблюдательного материала, так и на ревизии более старых данных.

**Наблюдательный материал.** Для 11 программных звезд в мае и ноябре 1982 г. на основном звездном спектрографе 6-м телескопа САО АН СССР были получены спектрограммы с обратной дисперсией 14 Å/мм. Спектры снимались

со второй камерой в области  $\lambda$  4300—5400 Å на фотопластинках Kodak IIIaJ и расширялись до 0.6—0.7 мм. Спектрофотометрическая обработка проводилась по записям на микрофотометре прямых интенсивностей САО. Идентификация спектральных линий проводилась с использованием Льежского атласа солнечного спектра [3] и атласа спектра Арктура [4]. Возможное блендирование линий проверялось по каталогу Мур и др. [5] и по спискам спектральных линий Куруца и Питремана [6]. Измеренные эквивалентные ширины линий  $W$  приведены в табл. 1. Для звезд, имеющих несколько спектрограмм, эквивалентные ширины усреднялись.

Звезда HD 122563 была использована для сравнения системы эквивалентных ширин настоящей работы с системами эквивалентных ширин линий в [7] и [8]. Из рис. 1 видно, что систематические различия отсутствуют. Увеличение разброса вокруг средней линии для слабых линий, по всей вероятности, обусловлено шумами зерен пластинок.

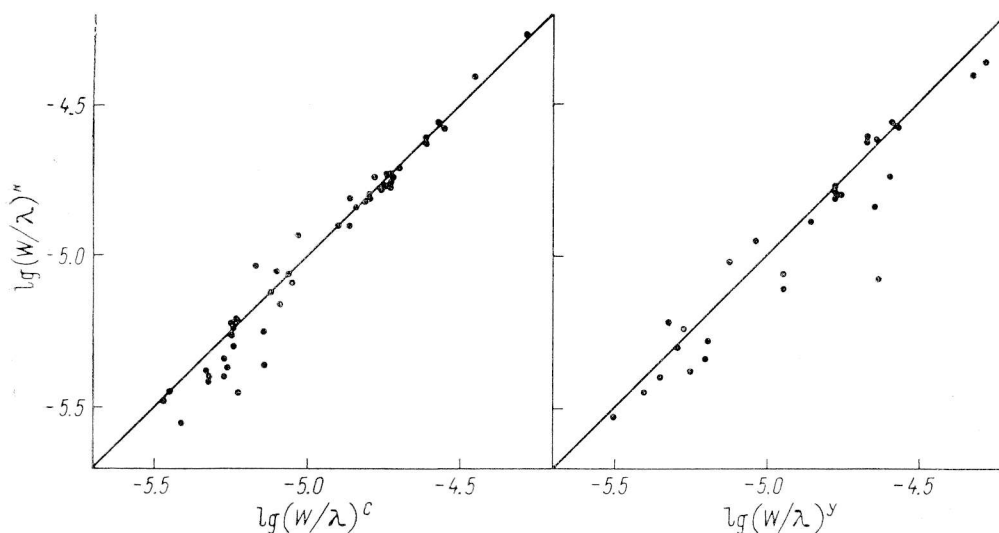


Рис. 1. Сравнение эквивалентных ширин линий  $W^n$  звезды HD 122563, измеренных в настоящей работе, с  $W^c$  из работы Снедена и Партасарати [7] и  $W^y$  из работы Уоллерстейна и др. [8].

Так как среди 11 программных звезд только две звезды имели близкий к Солнцу химический состав, число таких звезд было расширено — привлечены к исследованию еще четыре гиганта диска,  $W$  которых опубликованы в работе [9], где они были анализированы более старыми методами.

**Метод анализа.** Анализ проводился дифференциальным методом моделей атмосфер. Использовались модели атмосфер поздних гигантов и звезды сравнения (Солнце) из работы [10]. О необходимости использования однородных моделей для программных звезд и для звезды сравнения неоднократно указывали Густафссон [11], Граттон [12], Керель де Стробел [13] и другие. Все вычисления выполнялись на машине БЭСМ-6 по модифицированной Гальдикасом [14] программе ATLAS 5 [15]. Силы осцилляторов в основном взяты из работ оксфордской [16—25] и киевской [26—34] групп. Внутренняя согласованность этих двух систем сил осцилляторов очень хорошая — по данным работы [33] среднеквадратичное расхождение не превышает  $\pm 0.07$  dex. Для некоторых линий были использованы также источники [6, 35—39]. Для линий элементов NaI, MgI, BaII, CeII и SmII силы осцилляторов определили путем анализа спектра Солнца, приняв содержания  $\lg A$  (Na)=6.32 и  $\lg A$  (Mg)=7.62 из работы [40],  $\lg A$  (Ba)=2.09,  $\lg A$  (Ce)=1.60 и  $\lg A$  (Sm)=0.80 из работы [41] и микротурбулентную скорость  $\xi_t=0.9$  км/с. Это значение микротурбулентной скорости в атмосфере Солнца (в данном случае для центра диска) было установлено методом, опирающимся на равенство содержания железа, определенное по эквивалентным ширинам слабых и умеренно сильных линий.

ТАБЛИЦА 1

Эквивалентные ширины  $W$ , мÅ, линий в спектрах исследуемых звезд

Элемент; $\lambda$ , Å	Номер HD										
	4306	21110	25532	44007	45282	73394	91190	122563	165195	216143	221170
NaI											
4497.66	55	102				15					
4982.81	101	140	33	18		44		7	12	13	25
MgI											
4571.11	33	302	82	99	65	147	178	78	90	117	106
4702.99	61	314	120	94	100	173	212	85	106	146	112
5172.68	174	1270	276	288	300	492		204	280	245	281
5183.60	200	1660	372	360	363	660		223	353	336	344
CaI											
4425.44	60	230	93	90	85	115	200	55	89	79	76
4435.68	80	190	100	85	94	117	158	48	97	100	
4578.55			38	33	20	66	112	25	22	14	44
5261.70		138	50		19	60	124	17			56
ScII											
4670.40	26		78	53	29	88	117		71	77	84
5239.82	15	122	45	26	12	68		18	44	31	45
TiI											
4512.73		150	41	50	18	113	130	17	41	38	40
4548.77	17	160	49	45	25	107	112		50	30	60
4617.25		160		21	10	53	113	7	25	22	28
4656.47	17	224	39	40	19	111	120	23	76	45	57
4681.91	19	217	58	53	25	127	150	26	75	68	
4820.41		114	15	10		74	57		16		21
4840.87		146	37	33	16	119	131		49	32	45
4981.73	45	316	95	68	45	159	135	63	108	84	84
4997.10		170	19	11		92	100		21	15	25
4999.50	33	255	70	65	39	148	123	59	91	80	90
5016.16	11	163	42	37	13	97		14	41	26	46
5020.03	17	230	55	42	15	100			58	46	55
5022.87		225	48	41	14	103		23	50	43	54
5024.84		146	50	38	16	102		17	46	34	49
5039.96		200	47	54	19	116		26	85	55	75
5173.74	19		51	55	21	100		28	85	59	70
5210.39	23		60	56	21	160		43	96	73	73
5219.70		176				77			16		19
TiII											
4468.49	113	237	125	116	104	164	188	117	166	144	144
4501.26	108	207	164	98	106	151	162	108	141	158	158
4533.96	104	280	222	154	121	177	146	110	147	150	151
4563.76	84	286	174	104	74	138	173	113	135	142	128
4571.95		327	190	120	104	182	257	107	119	137	120
4589.96	52	128	100	81	52	117	115	57	82	80	96
4657.21	28	194	78	52	26	105	99	32	76	54	69
4805.13	35	180	110	76	56	110	136	50	70	58	79
4865.61		113	65	38	19	89	89	20	50	37	43
VI											
4406.65	48	236		41	25		163	46	87	76	
4594.10		271	20	16		100	137		30	25	43
4864.73		169				93	110	15	34	19	33
4875.48		197		20		94	122		40		33
4881.57		246		25		120	150	10	49	33	49
CrI											
4496.84	21	244	95	89	55	110	152		68	73	60
4545.95		196	30	45	31	84	102	23	50	35	64
4591.39	19	219	23	38	15	77	152		32	26	38
4616.12		270	45	61	38	98	128	19	51	70	74
4626.17	17	211	34	51	32	84	137		52	61	62

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Элемент; $\lambda$ , Å	Номер HD										
	4306	21110	25532	44007	45282	73394	91190	122563	165195	216143	221170
4646.15	32	330	63	75	72	121	173	41	79	87	92
4651.28		174	31	42	27	78	115	13	45	57	49
4652.15		215	49	60	56	106	127	29	70	66	91
4942.49		192	32		11	66	104			27	35
5345.80	18	280	65	58	46	144	153		80	89	88
5348.31		234	45	52	38	102	144		46		72
CrII											
4558.64		108	70	45	21	66	116	15	34	29	48
4824.14			50	27	12	50	101	13	24	20	42
5237.28		104	29	19		23			16		
MnI											
4451.59		154	39	26	24	70	120	28	43	61	50
4754.04	20	235	49	51	33	84	160	31	49	51	60
4761.51		145	31		9	44	113		15	13	21
4766.42	13		42	27		55	161		20		44
4783.43		250	61	78	62	142	180	40	62	52	75
4823.52	23	276	94	66	60	162	197	35	60	50	78
FeI											
4461.65	88		133	118	102	180		123	188	147	152
4489.74	46	277	71	88	86	139	204	86	147	131	93
4494.57	56		109	102	95	137	333	72	93	103	112
4531.15	47		130	108	102	180	335	70	128	112	120
4602.00		154	46	41		94	93	23	57	45	51
4602.95	61	275	93	86	67	149	183	93	124	109	120
4625.05		125	39	49	35	78	105		50	45	60
4736.78	27	212	70	57	61	112	135	40	73	56	83
4924.78		183	65	47	41	93	134	18	65	52	60
4939.69	38	269	78	73	53	139	168	72	119	99	116
4950.11	12	123	32	21	13	50	90			27	40
4973.09		187	34		21	77	113			20	32
4994.13	46	288	88	78	55	145	186	87	122	106	116
5001.85	13	178	63	48	51	74	121	32	44	45	58
5068.77		237	72	68	40	143		30	86	68	80
5083.34	42	308	93	85	60	157		74	117	112	116
5123.72	41		80	74	55	150		79	126	103	118
5162.28		236	69	45	40	97		22	44	45	55
5166.28		360	58	70	53	153		83	137	92	103
5171.60	60		105	101	72	157		96	135	105	110
5194.94	39	367	107	84	46	143		78	120	110	112
5198.72		165	55	43	35	110		31	75	54	74
5215.19		165	59	51	33	98		17	58	45	60
5216.28	50	253	89	83	52	148		75	118	101	117
5217.40			58	46	22	87		20	43	37	49
5225.52	21	228	38	48	20	117		46	99	67	83
5242.50		108		30	17	67	87		28	29	37
5307.36		143	52	40	21	68	82		67	60	48
FeII											
4508.28	39	156	85	61	47	89	133	51	79	62	73
4620.51		113	42			50	94	20	35	33	34
4629.34	40	157	91	62	48	94	133	55	84	65	79
4731.45			53	21		65			40	29	
4923.93	70	183	173	88	69	140	158	97	102	112	115
5197.58		115	84	39	26	74		35	62	52	65
5234.62	26	144	85	43	40	75		40	74	55	72
CoI											
4749.66			11			33	85		9		8
5212.69		90				18					
5342.70		80	10			25	44				
NiI											
4648.65	18	149	46	40	25	75	130	24	40	34	62
4752.42	10	116	20	10		40	107		13		31
4756.51		135	27	28	17	54	85		28		40

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

Элемент; $\lambda, \text{ \AA}$	Номер HD										
	4306	21110	25532	44007	45282	73394	91190	122563	165195	216143	221170
4904.41		150	55	35	20	74	126	40	25	33	45
5017.57		135	44	33	24	76	125	18	24	27	50
5099.93	10	116	41	25		63			16	25	34
5102.96	8	134	19	13		50			14	18	21
CuI											
5105.54		183	24	22		91			20	27	40
5218.20		90				12					9
ZnI											
4722.16	15	111	48	22	19	57	76	20	30		33
4810.53	17	104	47	30	25	66	85	26	30	32	30
YII											
4854.87			60	33		72	114	12	40	41	45
4883.69	18	140	58	50	25	87	106	20	59	57	50
5087.42	8		58	28	13	83		7	33	40	48
5200.41		120	37	16		68		6	30	25	36
ZrI											
4687.80		116				16	61				
4815.63		79					29				
BaII											
4554.03	54	390	170	120	118	181	288	101	184	173	150
4934.08	60	420	180	125	124	243	275	97	181	191	210
CeII											
4486.91		87	15	15		24	61		15		23
4628.16		78	22	16		30			15		25
NdII											
4811.34		94	16			32	41		13		15
5092.80		92	8			18					
5276.88		50				8	14				
SmII											
4577.69		78				14	41				
4642.24		87	12	8		15	31		10		

Этот же метод применяли в серии работ [42, 43, 44], используя другие модели атмосфер Солнца [45, 46, 47]. По эквивалентным ширинам избранных линий FeI с потенциалом возбуждения  $0.0 < \chi < 2.6$  эВ из работ [42—44] была вычислена зависимость  $\lg A(\text{Fe})$  от  $\xi_t$  (рис. 2). Для набора величин  $\xi_t$  определено среднее значение  $\lg A(\text{Fe})$  и построена зависимость

$$\bar{\Delta}^2 = \left[ \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lg A(\text{Fe}) - \lg A(\text{Fe})_i)^2 \right]^{0.5}$$

как функция  $\xi_t$  (см. вставку на рис. 2). По минимальному среднеквадратическому отклонению от  $\lg A(\text{Fe})$  было установлено, что для Солнца  $\xi_t = 0.9$  км/с, а  $\lg A(\text{Fe}) = 7.50$ .

Содержания других исследуемых элементов в атмосфере Солнца, относительно которых проводился дальнейший анализ программных звезд, были определены с использованием  $\xi_t = 0.9$  км/с и приводятся во втором столбце табл. 4. Линии отбирались слабые или умеренно сильные, не искаженные эффектом сверхтонкой структуры. Это позволило в дальнейшем учесть влияние эффекта сверхтонкой структуры на искаженные им линии, вводя дополнительную микротурбулентную скорость. Руководствуясь примером Парадиис [48], добавляли одинаковое значение микротурбулентной скорости для всех линий одного элемента, имеющих сверхтонкую структуру. Для линий,  $W$  которых

в спектре Солнца  $\geq 95 \text{ м}\text{\AA}$ , вводился поправочный множитель константы ван-дерваальсовского уширения  $F_6$  [14]. Он подбирался так, чтобы  $W$ , вычисленная для модели Солнца для центра ее диска, была равна  $W$ , определенной по льежскому атласу солнечного спектра [3]. Линии с  $W > 200 \text{ м}\text{\AA}$  к анализу не привлекались, чтобы избежать возможных неопределенностей их описания моделями атмосфер.

**Параметры атмосфер.** Эффективные температуры исследуемых звезд были определены по фотометрическим показателям цвета  $b-y$  (система Стремгрена),  $V-R$  (Аризонская система) и  $Y-V$  (Вильнюсская система), собранным из литературы (табл. 2). Для показателя цвета  $(b-y)_0$  была использована его связь с эффективной температурой, представленная в работе [56], для показателя цвета  $V-R$  — в работе [57], для показателя цвета  $Y-V$  — в работе [58].

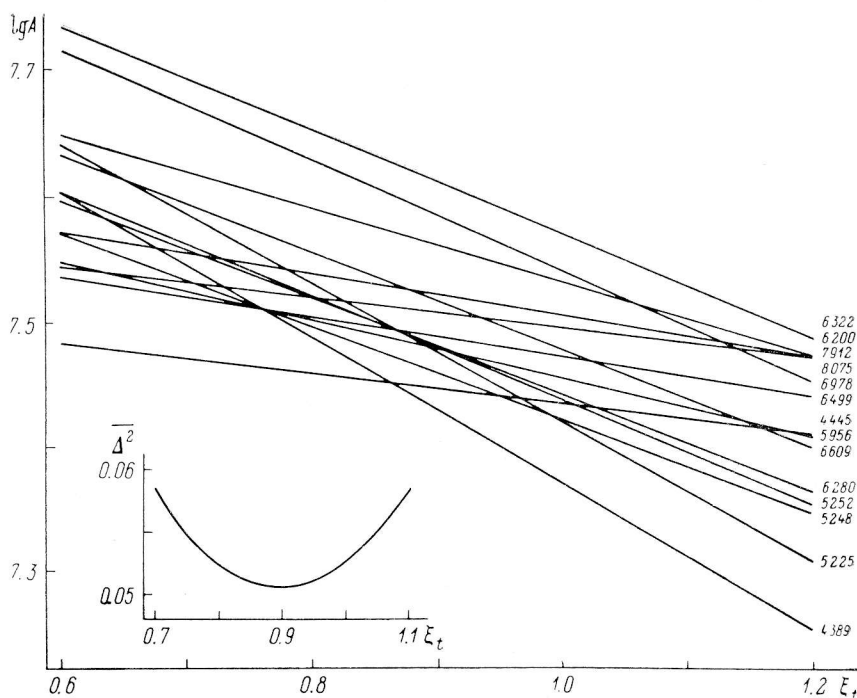


Рис. 2. Зависимость содержания железа от микротурбулентной скорости в фотосфере Солнца. На вставке показана зависимость средневариационного отклонения от среднего содержания железа в зависимости от микротурбулентной скорости (см. текст).

Для звезд HD 25532, HD 44007 и HD 216143, у которых экспериментальные показатели цвета  $Y-V$  отсутствовали, они были установлены по связи

$$(Y - V)_0 = 0.214 + 0.607 (B - V)_0.$$

построенной с использованием  $(Y - V)_0$  из работы [59] и  $(B - V)_0$  из каталога [55] для 37 гигантов с дефицитом металлов. Для звезды HD 48781 индекс  $(Y - V)_0$  был определен по спектральному классу MK по калибровке из монографии Страйжиса [60]. Эффективные температуры, установленные по разным показателям цвета, отличались друг от друга не более чем на 70 К.

Величину силы тяжести на поверхности звезд установили, используя условие ионизационного равновесия для нейтральных и однократно ионизованных линий железа. Микротурбулентная скорость устанавливалась аналогичным образом, как и для Солнца. Основные физические параметры атмосфер исследуемых звезд приведены в табл. 3.

Относительное содержание данного химического элемента установили, пользуясь тремя ближайшими по металличности моделями (например,  $[A/H] = -1, -2, -3$  или  $[A/H] = 0, -0.5, -1$ ) для каждой звезды, линейно интерполированными в сетке моделей [10] по установленным параметрам  $T_e, \lg g$

ТАБЛИЦА 2  
Фотометрические данные исследуемых звезд

Номер HD	$b-\gamma$	Ист.	$V-R$	Ист.	$Y-V$	Ист.	$E_{B-V}$ *	Ист.
4306	0.530	49	0.711	51	0.68	52	0.02	55
6497			0.97	9	0.90	52	0.04	
6833			0.95	9	0.90	52	0.07	55
21110					1.09	53	0.21	
25532	0.485	49	0.660	51			0.06	49
44007	0.555	50	0.754	51			0.03	55
45282					0.64	52	0.06	55
48781			0.79	9			0.04	
73394	0.665	50			0.85	52	0.02	55
91190					0.75	53	0.00	
94264			0.76	9	0.80	54	0.03	
122563	0.640	49	0.805	51	0.79	52	0.01	55
165195	0.920	49	1.076	51	1.05	52	0.25	49
216143	0.685	49	0.874	51			0.03	55
221170	0.745	49	0.927	51	0.89	52	0.05	55

\* Избытки цветка без указания источника были определены в настоящей работе.

и  $\xi_t$ , приведенным в табл. 3. Полученное содержание химических элементов приведено в табл. 4.

Судя по разбросу содержания элемента, полученному по разным линиям, можно полагать, что примерно 50 % определений получены с погрешностями, не превышающими  $\pm 0.1$  dex, 30 % — с  $\pm 0.15$  dex и около 20 % — с погрешностями  $\pm 0.20$  dex и более. Большие ошибки в основном встречаются в тех случаях, когда элемент представлен малым числом слабых линий. Другим источником ошибок (вероятнее всего, систематических) являются возможные

ТАБЛИЦА 3  
Основные физические параметры исследуемых звезд

HD	$T_e$	$\lg g$	[Fe/H]	$\xi_t$	HD	$T_e$	$\lg g$	[Fe/H]	$\xi_t$
4306	4940	2.1	-2.75	2.6	73394	4530	1.0	-1.70	2.0
6497	4450	2.1	-0.52	2.4	91190	4840	1.9	-0.43	1.8
6833	4460	1.3	-0.90	2.2	94264	4760	2.7	-0.27	1.6
21110	4270	0.6	-0.40	1.6	122563	4590	1.5	-2.74	2.9
25532	5210	1.6	-1.48	1.2	165195	4500	1.0	-2.30	2.6
44007	4790	1.8	-2.27	1.5	216143	4550	1.5	-2.56	2.9
45282	5200	2.9	-2.33	2.5	221170	4440	0.8	-2.54	3.0
48781	4700	2.1	+0.29	1.4					

неточности определения физических параметров звезд. Что касается определения эффективных температур, то внутренние ошибки определения  $T_e$  по одному показателю цвета не превышают  $\pm 90$  K; а температуры, определенные по разным показателям цвета, отличаются не более чем на 70 K. Что касается точности определения  $\lg g$  и  $\xi_t$ , то почти все исследователи согласуются на значениях  $\pm 0.3$  dex и  $\pm 0.5$  км/с соответственно. Такие погрешности могут вызвать ошибки определения содержания элементов, не превышающие  $\pm 0.2$  dex.

**Обсуждение результатов.** Ради удобства анализа элементы будут сгруппированы по принадлежности к процессам, обычно принятым ответственными за производство их доминирующих изотопов в веществе системы Солнца. Это натрий и магний — продукты горения углерода, кальций — продукт горения кислорода, элементы группы железа — продукт горения кремния, итрий,

ТАБЛИЦА 4

Содержание элементов в атмосферах исследуемых звезд относительно Солнца

Элемент	lg A (Солнце)	Номер звезды в каталоге HD						
		4306	6497	6833	21110	25532	44007	46282
NaI	6.32		+0.06	-0.78	+0.22	-0.96	-1.65	
MgI	7.62	-2.62	-0.52	-0.51	-0.21	-1.02	-1.65	-1.81
CaI	6.33	-2.25	-0.35	-0.80	-0.38	-1.08	-1.58	-1.77
ScII	3.00	-2.63	-0.72	-1.04	-0.38	-1.40	-2.18	-2.12
TiI	4.77	-2.42	-0.29	-0.81	-0.33	-1.16	-1.59	-1.72
TiII	4.77	-2.29		-1.08	-0.39	-0.87	-1.64	-1.76
VI	3.82	-2.43	+0.04	-1.25	-0.11	-1.46	-2.04	-2.54
CrI	5.64	-2.76	-0.61	-0.95	-0.23	-1.75	-2.13	-2.11
CrII	5.64		-0.42	-0.63	-0.27	-1.41	-1.80	-2.00
MnI	5.39	-2.94	-0.20	-1.03	-0.14	-1.74	-2.37	-2.34
FeI	7.50	-2.76	-0.52	-0.90	-0.40	-1.48	-2.27	-2.33
FeII	7.50	-2.76	-0.52	-0.90	-0.40	-1.48	-2.27	-2.33
CoI	4.98		-0.46	-1.01	-0.18	-1.32		
NiI	6.20	-2.46	-0.47	+1.02	-0.14	-1.46	-2.08	-2.16
CuI	4.10			-1.08	-0.34	-2.2:	-2.90	
ZnI	4.34	-2.57	-0.30	-1.3:	-0.17	-1.38	-2.22	-2.10
YII	2.17	-3.00	-0.73	-1.20	-0.09	-1.55	-2.42	-2.36
ZrI	2.31			-0.91	-0.06			
BaII	2.09	-4.4:	-0.54		-0.70	-1.35	-2.59	-2.81
CeII	1.60			-0.50	-0.75	-1.58	-2.24	
NdII	1.28				+0.05	-1.37		
SmII	0.80				-0.16	-1.62	-2.14	
NaI	+0.65	-1.20	-0.18	+0.27	-2.4:	-2.0:	-1.9:	-1.7:
MgI	+0.18	-1.13	-0.22	+0.08	-2.65	-2.15	-2.24	-2.28
CaI	+0.45	-1.52	-0.38	-0.27	-2.59	-2.24	-2.38	-2.06
ScII	-0.08	-1.77	-0.40	-0.15	-2.80	-2.35	-2.36	-2.44
TiI	+0.11	-1.28	-0.34	-0.11	-2.68	-2.08	-2.32	-2.24
TiII	+0.32	-1.21	-0.47	+0.08	-2.58	-2.08	-2.19	-2.35
VI	+0.23	-1.23	-0.17	+0.30	-2.77	-2.17	-2.38	-2.26
CrI	+0.26	-1.88	-0.59	-0.28	-3.06	-2.65	-2.57	-2.58
CrII	-0.2:	-1.49	-0.28	+0.3:	-2.75	-2.44	-2.42	-2.27
MnI	+0.48	-1.79	-0.46	+0.07	-2.86	-2.77	-2.84	-2.64
FeI	+0.29	-1.70	-0.43	-0.27	-2.74	-2.30	-2.56	-2.54
FeII	+0.29	-1.70	-0.43	-0.27	-2.74	-2.30	-2.56	-2.54
CoI	+0.42	-1.45	-0.31	+0.10		-2.1:		-2.32
NiI	+0.21	-1.60	-0.30	-0.19	-2.76	-2.56	-2.55	-2.35
CuI	+0.36	-2.08		-0.34		-3.20	-3.15	-3.07
ZnI	-0.09	-1.63	-0.67	-0.67	-2.58	-2.48	-2.46	-2.55
YII		-1.77	-0.27	-0.20	-3.14	-2.70	-2.59	-2.83
ZrI	+0.05	-1.67	-0.14	-0.26				
BaII	+0.7:	-1.95	-0.66		-3.9:	-2.75	-2.92	-3.02
CeII	+0.36	-1.91	-0.36			-2.75		-2.48
NdII		-1.45	-0.44			-2.37		-2.43
SmII		-1.95	-0.53			-2.50		

цирконий и барий — продукты s-процесса и церий, неодимий и самарий — продукты r-процесса. Конечно, такая классификация является несколько произвольной, так как каждый отдельный элемент может быть синтезирован в нескольких разных процессах; кроме того, доминирующие изотопы в веществе населения I и населения II могут быть не те же самые.

Обычно принимается, что в процессе горения углерода производятся элементы от неона до алюминия. В звездных спектрах достаточно сильными являются линии Na, Mg и Al. К сожалению, подходящие для исследования спектральные линии алюминия  $\lambda 3944 \text{ \AA}$  и  $3961 \text{ \AA}$  не попадают в интервал имеющихся в настоящей работе спектрограмм. Не попадают также хорошие линии натрия  $\lambda 5688 \text{ \AA}$  и  $6160 \text{ \AA}$ . Однако в спектрах большинства звезд удалось определить эквивалентную ширину для слабой линии  $\lambda 4983 \text{ \AA}$ , а для менее дефицитных металлами звезд и для линии  $\lambda 4498 \text{ \AA}$ . Малое число и слабость линий уменьшают точность результатов, однако наши результаты показывают,



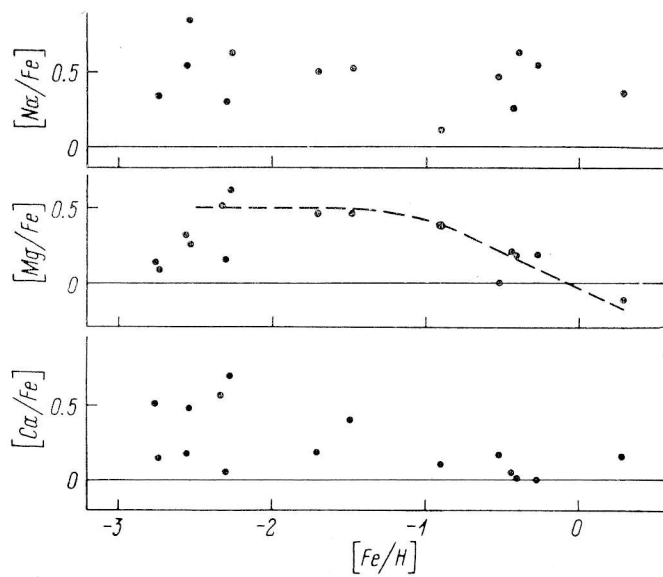


Рис. 3. Зависимость отношений содержания легких металлов натрия, магния и кальция к содержанию железа от металличности  $[Fe/H]$ .

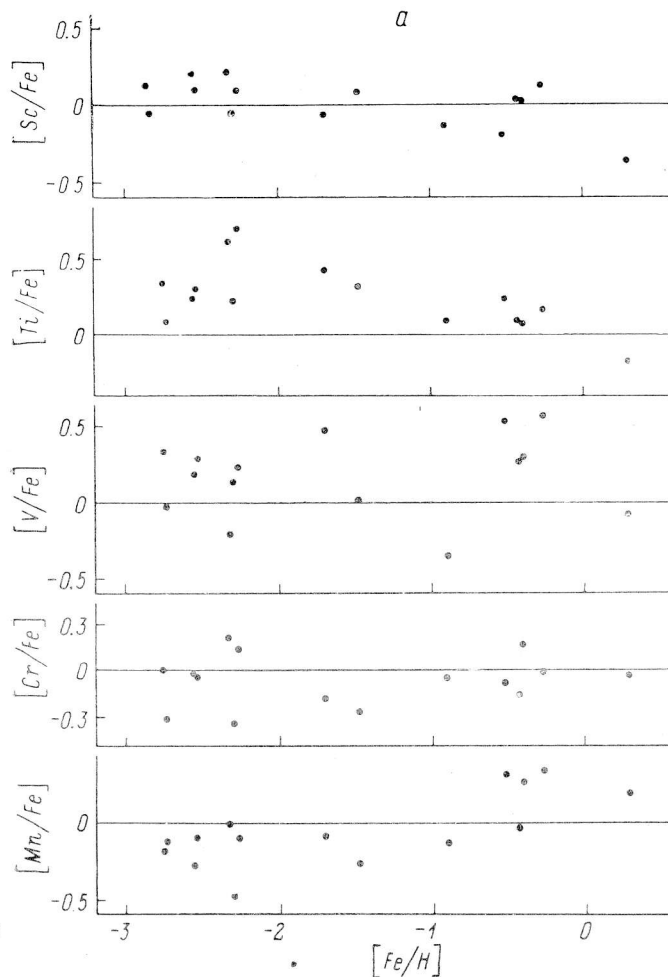


Рис. 4. Зависимость отношений содержания элементов группы железа к содержанию железа от металличности  $[Fe/H]$ .

а — элементы легче железа; б — элементы тяжелее железа; в — отношение содержания нечетных  $A_n$  и четных  $A_c$  элементов группы железа в зависимости от содержания четных элементов; штриховой кривой изображена теоретическая зависимость отношений  $[Na/Mg]$  и  $[Mg/H]$  из [66].

что отношение  $[Na/Fe]$  в гигантах как гало, так и диска по отношению к Солнцу повышено (рис. 3). Повышенное на  $(0.35 \pm 0.07)$  dex отношение  $[Na/Fe]$  в гигантах диска также получено в работе [61]. Повышенное содержание натрия в атмосферах гигантов гало установлено в [7, 62], однако в работе [63] обнаружен его дефицит.

Судя по результатам настоящей работы, отношение  $[Mg/Fe]$  в гигантах гало повышено в среднем на  $(0.4 \pm 0.2)$  dex, а в гигантах диска оно примерно

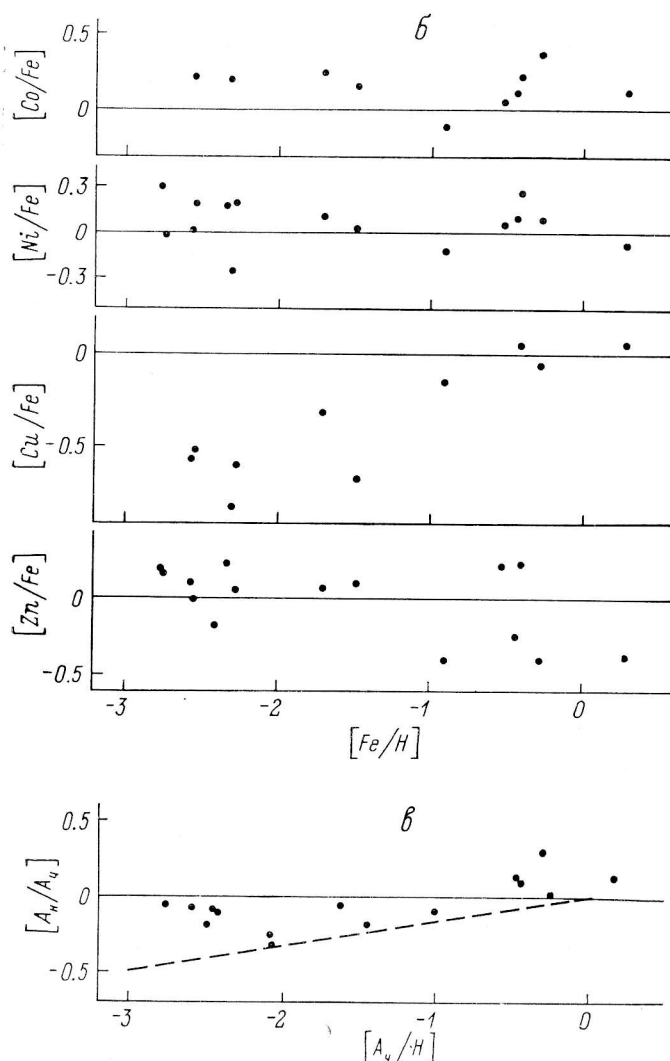


Рис. 4 (продолжение).

солнечное. Изображенная на рис. 3 штриховой линией теоретическая связь  $[Mg/Fe]$  и  $[Fe/H]$  из работы [64] проходит несколько выше наблюдательных данных. Средние отношения  $[Mg/Fe]$ , установленные другими наблюдателями [7, 65], также находятся на  $0.1-0.2$  dex ниже теоретической кривой. В работах [63, 66, 67] для гигантов гало получено почти солнечное отношение  $[Mg/Fe]$ , а в [68] даже отрицательное.

При исследовании содержания элементов горения углерода всех авторов интересует проверка гипотезы о взрывном характере этого процесса, вследствие чего содержание четных элементов относительно нечетных должно быть повышенным. В работе [66] на основе анализа шести гигантов гало утверждается, что эффект «четных—нечетных» элементов отсутствует. В статье [69] упоминается, что эффект обнаружен. Разброс полученных в настоящей работе от-

пошений  $[Na/Mg]$  не позволяет сделать определенных выводов. Информацию о возможности взрывного горения элементов можно получить и по содержанию элементов группы железа. Однако при взрывном горении кремния эффект «четных—нечетных» элементов должен быть не столь выраженным, как при взрывном горении углерода [70].

Содержание другого легкого металла — кальция — в гигантах гало тоже повышено (рис. 3). Отношение  $[Ca/Fe]$  в среднем равно  $+(0.4 \pm 0.2)$  dex. Полученная величина сверхобилия совпадает с результатами работ [62, 65], она на 0.1 dex ниже значения, полученного в работе [71], и на 0.1 dex выше полученного в работе [68]. Повышенное содержание легких металлов в гигантах гало еще раз свидетельствует о том, что в начале эволюции Галактики обогащение легкими металлами происходило быстрее, чем тяжелыми.

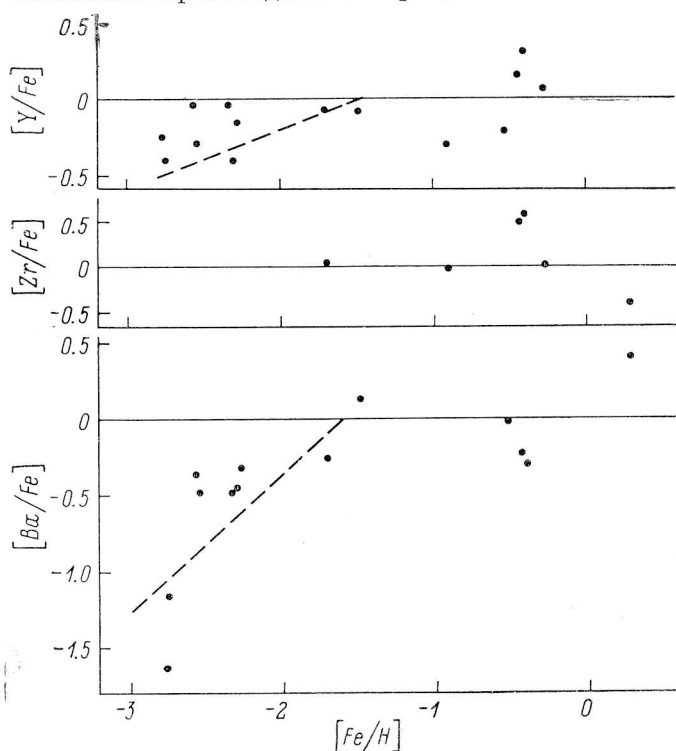


Рис. 5. Зависимость отношения содержания элементов  $\alpha$ -процесса Y, Zr и Ba к содержанию железа от металличности  $[Fe/H]$ .

Штриховыми кривыми изображены связи, построенные по наблюдательным данным из [69].

Полученные отношения элементов группы железа изображены на рис. 4, а, б. Внимание привлекает повышенное содержание титана в гигантах гало. Это, по-видимому, связано с сверхобилием кальция, что вызвано общими процессами. Повышенное содержание титана обнаружено также в работах [62, 72]. Незначительно понижено в гигантах гало отношение  $[Mn/Fe]$ , и уже совсем очевидным является дефицит меди, который при  $[Fe/H] \approx -2.5$  достигает около  $-0.7$  dex. Содержание других элементов, в том числе и никеля, для которого в работе [73] получено значительное сверхобилие, является солнечным. Что касается содержания никеля, то солнечное его содержание получено и в ряде других работ [7, 72, 67].

С целью проверки гипотезы о взрывном горении кремния были усреднены содержания четных (Ti, Cr, Fe, Ni, Zn) и нечетных (Sc, V, Mn, Co, Cu) элементов группы железа для каждой звезды и построена зависимость их соотношения от среднего содержания четных элементов (рис. 4, в). Из рисунка видно, что эффект «четных—нечетных» элементов для звезд с  $[M/H] < -1.5$  все-таки проявляется. Штриховой линией изображена теоретическая зависимость  $[Na/Mg]$  от  $[Mg/H]$  при взрывном горении углерода [70].

Элементы  $s$ -процесса, как и нечетные элементы, являются вторичными продуктами нуклеосинтеза, и для них точно так же ожидается повышенный дефицит у малометаллических звезд [74]. Из рис. 5 видно, что сверхдефицит проявляется для содержания иттрия и еще сильнее для бария. Содержание циркония в гигантах гало установить не удалось из-за слабости линий этого элемента. (Штриховыми линиями показаны связи по данным из [69]).

Отношения элементов  $r$ -процесса к железу показаны на рис. 6. Во всем интервале металличностей содержание церия, неодимия и самария близко к солнечному, что говорит о первичности этого процесса. Пониженное содержание элементов  $r$ -процесса в атмосфере звезды HD 122563 получено в работе [7]. В работе [67] сверхдефицит неодимия в звезде HD 84903 достигает даже  $-1.0$  dex, в то время как содержание церия солнечное, а европия — даже повышенное на  $0.3$  dex.

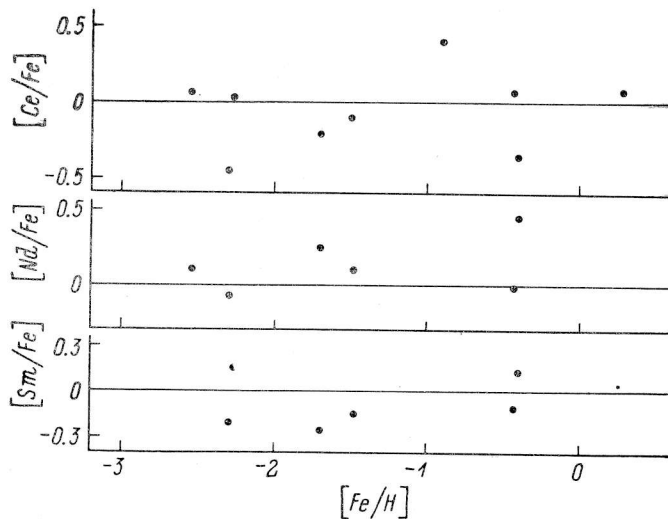


Рис. 6. Зависимость отношений содержания церия, неодимия и самария к содержанию железа от металличности  $[Fe/H]$ .

**Выводы.** В работе установлены эффективные температуры, ускорения силы тяжести, микротурбулентные скорости и детальный химический состав в атмосферах 15 G—K-гигантов с металличностями  $[Fe/H]$  от  $+0.29$  до  $-2.76$  dex. Из анализа следуют выводы:

- 1) содержание легких металлов натрия, магния и кальция в гигантах гало по отношению к железу повышено, содержание натрия повышено также в гигантах диска; отношения  $[Mg/Fe]$  и  $[Ca/Fe]$  в гигантах с  $[Fe/H] < -1$  повышены в среднем на  $(0.4 \pm 0.2)$  dex;
- 2) отношения содержания Sc, V, Cr, Co, Ni и Zn к содержанию Fe близки к отношениям для Солнца;
- 3)  $[Ti/Fe]$  в гигантах гало повышено;
- 4)  $[Mn/Fe]$  в гигантах гало незначительно понижено;
- 5) с уменьшением металличности возрастает сверхдефицит меди, который при  $[Fe/H] \approx -2.5$  достигает около  $-0.7$  dex;
- 6) по усредненному содержанию четных и нечетных элементов группы железа обнаружен эффект «четных—нечетных» элементов;
- 7) содержание элементов  $s$ -процесса в гигантах гало уменьшается: при  $[Fe/H] \approx -2.8$  сверхдефицит  $[Ba/Fe] < -1$ ;
- 8) отношения элементов  $r$ -процесса церия, неодимия и самария к железу существенных отклонений от солнечных отношений не показывают.

В заключение авторы выражают благодарность В. Е. Панцуку и В. Г. Ключковой за помощь при получении наблюдательного материала и в его обработке, Р. И. Костыку за предоставление до опубликования сил осцилляторов неодимия и А. Гальдикуса за полезные советы при выполнении данной работы.

## Литература

1. Tinsley B. Final remarks: connecting between chemical and dynamical evolution // Proc. IAU Symposium «The chemical and dynamical evolution of our Galaxy». 1977. Nr 45. P. 309—319.
2. A catalogue of [Fe/H] determinations, 1984 edition / G. Cayrel de Strobel, C. Bertolila, B. Hauck, A. Duquenoy // Astron. Astrophys. Suppl. 1985. 59. P. 145—186.
3. Delbouille L., Roland G., Neven L. Photometric Atlas of the Solar Spectrum from  $\lambda$  3000 to  $\lambda$  10 000. Liege, 1973.
4. Griffin R. F. A photometric atlas of the spectrum of Arcturus. Cambridge, 1968.
5. Moore C., Minnaert M., Houtgast J. The solar spectrum 2935 Å to 8770 Å // NBS Monogr. 1966. Nr 61. 349 p.
6. Kurucz R., Peytremann E. Semiempirical *gf* values. Pt 1, 2, 3 // Spec. Report Smithsonian Astr. Obs. 1975. Nr 362.
7. Sneden Ch., Parthasarathy M. The *r*- and *s*-process nuclei in the early history of the Galaxy: HD 122563 // Astrophys. J. 1983. 267. P. 757—778.
8. Red giants with extreme metal deficiencies / G. Wallerstein, J. L. Greenstein, R. Parker et al. // Astrophys. J. 1963. 137. P. 280—300.
9. Cayrel de Strobel G. Analyse détaillée des atmosphères de sept étoiles K // Ann. d'Astrophys. 1966. 29, Nr 5. P. 413—488.
10. A grid of model atmospheres for metal-deficient giant stars. II / R. A. Bell, K. Eriksson, B. Gustafsson, A. Nordlund // Astron. Astrophys. Suppl. 1976. 23. P. 37—95.
11. Gustafsson B. How could we improve abundance analyses of late-type stars — and should we? // Workshop on methods of abundance determination for stars. Geneva, 1980. P. 31—44.
12. Gratton R. G. Studies on the spectra of K-giants. III: Carbon, nitrogen, and oxygen abundances // Astron. Astrophys. 1985. 148. P. 105—114.
13. Cayrel de Strobel G. How precise are spectroscopic abundance determinations today? // Proc. IAU Symposium «Calibration fundamental stellar quantities», 1985. Nr 111. P. 137—158.
14. Гальдикас А. Программа для вычисления синтетических спектров и эквивалентных ширин линий // Бюл. Вильнюс. обс.
15. Kurucz R. L. ATLAS: A computer program for calculating model stellar atmospheres // Spec. Report Smithsonian Astr. Obs. 1970. Nr 309. 291 p.
16. Precision measurement of relative oscillator strengths. III: FeI transitions from levels  $a^5D_2$  (0.09 eV),  $a^5D_1$  (0.11 eV) and  $a^5D_0$  (0.12 eV) / D. E. Blackwell, P. A. Ibbetson, A. D. Petford, R. B. Willis // Mon. Not. R. astr. Soc. 1976. 177. P. 219—226.
17. Blackwell D. E., Petford A. D., Shallis M. J. Precision measurement of relative oscillator strengths. VI: Measures of FeI transitions from levels  $a^5F_{1-5}$  (0.86—1.01 eV) with an accuracy of 0.5 per cent // Mon. Not. R. astr. Soc. 1979. 186. P. 657—668.
18. Precision measurement of relative oscillator strengths. IV: Attainment of 0.5 per cent accuracy FeI transitions from levels  $a^3D_{0-4}$  (0.00—0.12 eV) / D. E. Blackwell, P. A. Ibbetson, A. D. Petford, M. J. Shallis // Mon. Not. R. astr. Soc. 1979. 186. P. 633—650.
19. Precision measurement of relative oscillator strengths. VIII: Measures of FeI transitions from levels  $a^3F_{2-4}$  (1.49—1.61 eV) with an accuracy of 1 per cent / D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis, G. J. Simmons // Mon. Not. R. astr. Soc. 1980. 191. P. 445—450.
20. Precision measurement of relative oscillator strengths for TiI. I: Transitions from levels  $a^3F_2$  (0.00 eV) and  $a^3F_3$  (0.02 eV) and  $a^3F_4$  (0.05 eV) measured with an accuracy of 0.5 per cent / D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis, S. Leggett // Mon. Not. R. astr. Soc. 1982. 199. P. 21—31.
21. Precision measurement of relative oscillator strengths. IX: Measures of FeI transitions from levels  $a^3P_{1-3}$  (2.18—2.28 eV),  $a^3P_2$  (2.28 eV),  $a^3P_{0,1}$  (2.49—2.42 eV),  $z^7D_{1-5}$  (2.48—2.40 eV) and  $a^3H_{4-6}$  (2.45—2.40 eV) / D. E. Blackwell, A. D. Petford, M. J. Shallis, G. J. Simmons // Mon. Not. R. astr. Soc. 1982. 199. P. 43—51.
22. Precision measurement of relative oscillator strengths for TiI. II: Transitions from levels  $a^5F_{1-4}$  (0.81—0.84 eV),  $a^4D_3$  (0.90 eV) and  $a^3P_{0-2}$  (1.05—1.07 eV) / D. E. Blackwell, L. R. Menon, A. D. Petford, M. J. Shallis // Mon. Not. R. astr. Soc. 1982. 201. P. 611—617.
23. Blackwell D. E., Menon S. L. R., Petford A. D. Measurement of relative oscillator strengths for TiI. III: Weak transitions from levels  $a^3F_{3,4}$  (0.02 eV, 0.05 eV),  $a^3F_{1-5}$  (0.81 eV—0.85 eV),  $a^1D_2$  (0.90 eV),  $a^3P_{0-3}$  (1.05 eV—1.07 eV) with solar analysis // Mon. Not. R. astr. Soc. 1983. 204. P. 883—890.
24. Blackwell D. E., Menon S. L. R., Petford A. D. Measurement of relative oscillator strengths for CrI lines. I: Measurements for transitions from levels  $a^7S_3$  (0.00 eV),  $a^3S_2$  (0.94 eV) and  $a^5D_{0-4}$  (0.96—1.03 eV) // Mon. Not. R. astr. Soc. 1984. 207. P. 533—546.
25. Booth A. J., Blackwell D. E., Petford A. D. Measurement of relative oscillator strengths for MnI. Transitions from levels in the range  $0 \text{ eV} < \chi < 3 \text{ eV}$  // Mon. Not. R. astr. Soc. 1984. 208. P. 147—159.
26. Костык Р. И. Силы осцилляторов титана, хрома, железа и никеля: Препринт / Ин-т теорет. физики АН УССР. Киев, 1982. 36 с.
27. Костык Р. И., Орлова Т. В. Силы осцилляторов линий ионизованного железа // Астрометрия и астрофизика. 1982. 47. С. 32—34.
28. Костык Р. И., Орлова Т. В. Силы осцилляторов линий ионизованных титана и хрома // Астрометрия и астрофизика. 1983. 49. С. 39—41.

29. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. Определение сил осцилляторов CoI по эквивалентным ширинам фраунгоферских линий с учетом их сверхтонкой структуры // *Астрон. журн.* 1983. 60. С. 758—762.
30. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. VII: MnI // *Солнеч. данные.* 1984. № 9. С. 85—87.
31. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. V: Скандий // *Кинематика и физика небес. тел.* 1985. 1, № 1. С. 75—76.
32. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. VI: Нейтральный ванадий // *Кинематика и физика небес. тел.* 1985. 1, № 2. С. 62—63.
33. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Силы осцилляторов линий элементов группы железа // *Кинематика и физика небес. тел.* 1985. 1, № 4. С. 3—20.
34. Гуртовенко Э. А., Костык Р. И., Орлова Т. В. Построение солнечных внутренне согласованных шкал сил осцилляторов и содержание химических элементов. Цирконий // *Кинематика и физика небес. тел.* 1986. 2, № 1. С. 20—23.
35. Bridges J. M., Kornblith R. L. ARC measurements of FeI oscillator strengths // *Astrophys. J.* 1974. 192. P. 793—812.
36. Experimentelle oscillatorstärken von FeII linien und die solare eisenhäufigkeit / V. Baschek, T. Garz, H. Holweger, J. Richter // *Astron. Astrophys.* 1970. 4. P. 229—233.
37. Roberts J. R., Andersen T., Sørensen G. Determination of atomic lifetimes and absolute oscillator strengths for neutral and ionized titanium // *Astrophys. J.* 1973. 181. P. 567—586.
38. Oscillator strengths for YI and YII and the solar abundance of yttrium / P. Hannaford, R. M. Lowe, N. Grevesse N. et al. // *Astrophys. J.* 1982. 261. P. 736—746.
39. Smith G., Raggett D. Oscillator strengths and collisional damping parameters for lines of neutral calcium // *J. Phys. B: Atomic and Molecular Physics.* 1981. 14. P. 4015—4024.
40. Lambert D. L., Luck R. E. The abundances of the elements in the solar photosphere. IX: Na to Ca // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1978. 183. P. 79—100.
41. Grevesse N. La composition chimique du Soleil // *Ciel et. Terre.* 1981. 97. P. 193—202.
42. Interpretation of the solar spectrum 300 nm to 900 nm. I: FeI lines of excitation potential 0.00 eV—0.12 eV. Microturbulence, damping, abundance, tests of oscillator strengths / D. E. Blackwell, P. A. Ibbetson, A. D. Petford, R. B. Willis // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1976. 177. P. 227—245.
43. Blackwell D. E., Shallis M. J. Interpretation of the solar spectrum 300—900 nm. II: FeI lines of excitation potential 0.00—1.01 eV: use of 0.5 per cent accuracy // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1976. 177. P. 227—245.
44. Simmons G. J., Blackwell D. E. Analysis of FeI lines (0.00 eV  $>$   $\chi$   $>$  2.6 eV) in the Solar spectrum using improved damping constants and accurate oscillator strengths: test of a solar model atmosphere // *Astron. Astrophys.* 1982. 112. P. 209—214.
45. The Harvard-Smithsonian reference atmosphere / O. Gingerich, R. W. Noyes, W. Kalkofen, Y. Cuny // *Solar Phys.* 1971. 18. P. 347—365.
46. Holweger H., Müller E. D. The photospheric barium spectrum: solar abundance and collision broadening of BaII lines by hydrogen // *Solar Phys.* 1974. 39. P. 19—30.
47. Vernazza J. E., Avrett E. H., Loeser R. Structure of the solar chromosphere. II: The underlying photosphere and temperature-minimum region // *Astrophys. J. Suppl.* 1976. 30. P. 1—60.
48. Paradijs J. An analysis of the line spectra of some G and K Ib supergiants // *Astron. Astrophys.* 1973. 23. P. 369—379.
49. Bond H. E. A search for metal-deficient stars // *Astrophys. J. Suppl.* 1970. 22. P. 117—155.
50. Bond H. E. Extremely metal-deficient red giants. I: A new objective-prism, photometric, and radial velocity survey // *Astron. Astrophys. Suppl.* 1980. 44. P. 517—533.
51. Stone R. P. S. (V—R) observations and effective temperatures for extremely metal-deficient red giants // *Publ. Astron. Soc. Pacific.* 1983. 95. P. 27—28.
52. Спераукас Ю., Барткавичюс А., Зданавичюс К. Фотоэлектрическая фотометрия звезд населения гало и других пекулярных звезд в Вильнюсской фотометрической системе // *Бюл. Вильнюс. обс.* 1981. № 58. С. 3—31.
53. Фотоэлектрическая фотометрия гигантов спектральных классов G—K с дефицитом металлов в Вильнюсской системе / Страйжис В., Чернис К., Вансвичюс В. и др. // *Бюл. Вильнюс. обс.* 1976. № 75. С. 3—7.
54. Фотоэлектрическая фотометрия звезд в системе UPRYZVS со стеклянными фильтрами. II / Зданавичюс К., Суджюс И., Свицерскене З. и др. // *Бюл. Вильнюс. обс.* 1969. № 26. С. 3—12.
55. Барткавичюс А. Гиганты галактического поля с большим дефицитом металлов. Каталог и физические параметры // *Бюл. Вильнюс. обс.* 1984. № 66. С. 3—80.
56. Luck R. E., Bond H. Extremely metal-deficient red giants. II: Chemical abundances in 21 halo giants // *Astrophys. J.* 1981. 244. P. 919—937.

57. Таутвайшене Г. Определение металличности G—K гигантов по спектрам средней дисперсии // Бюл. Вильнюс. обс. 1985. № 70. С. 3—13.
58. Таутвайшене Г. Определение эффективных температур и ускорения силы тяжести G—K гигантов с дефицитом металлов в Вильнюсской фотометрической системе // Бюл. Вильнюс. обс.
59. Барткавичюс А., Спераускас Ю. Трехмерная классификация звезд спектральных классов F—M населения гало в Вильнюсской фотометрической системе // Бюл. Вильнюс. обс. 1983. № 63. С. 3—71.
60. Страйжис В. Звезды с дефицитом металлов. Вильнюс: Мокслас, 1982. 312 с.
61. Комаров Н. С., Мишенина Т. В., Мотрич В. Д. Определение содержания Na в атмосферах K-гигантов // Астрон. журн. 1985. 62. С. 740—743.
62. Luck R. E., Bond H. E. Extremely metal-deficient red giants. III: Chemical abundance patterns in field halo giants // *Astrophys. J.* 1985. 292. P. 559—577.
63. Gratton R. G., Ortolani S. Metal abundances in 26 halo stars // *Astron. Astrophys.* 1984. 137. P. 6—16.
64. Matteucci F., Greggio L. Relative roles of type I and II supernovae in the chemical enrichment of the interstellar gas // *Astron. Astrophys.* 1986. 154. P. 279—287.
65. Barbuy B., Spite F., Spite M. Analysis of three field halo stars and the chemical evolution of the Galaxy // *Astron. Astrophys.* 1985. 144. P. 343—354.
66. Spite M., Spite F. Nucleosynthesis in the Galaxy and the chemical composition of old halo stars // *Astron. Astrophys.* 1978. 67. P. 23—31.
67. Spite M., Spite F. Differential analysis of the extreme metal-deficient stars HD 84903 and HD 184711 relative to the halo star HD 122563 // *Astron. Astrophys.* 1979. 76. P. 150—157.
68. Gratton R. G. Abundances in metal-poor stars III: Eleven field giants // *Astron. Astrophys.* 1983. 123. P. 289—300.
69. Gratton R. G. Chemical abundances in population II stars // *Mem. Soc. astron. Italiana.* 1986. 57. Nr 4. P. 679—689.
70. Arnett W. D. Galactic evolution and nucleosynthesis // *Astrophys. J.* 1971. 166. P. 153—173.
71. Таутвайшене Г. Содержание кальция в атмосферах 43 G—K гигантов // Бюл. Вильнюс. обс.
72. Leep E. M., Wallerstein G. Abundances in 11 field stars with large metal deficiencies // *Mon. Not. R. astr. Soc.* 1981. 196. P. 543—549.
73. Luck R. E., Bond H. Nickel overabundances in extremely metal-deficient red giants // *Astrophys. J.* 1983. 271. P. L75—L78.
74. Truran J. W. A new interpretation of the heavy element abundances in metal-deficient stars // *Astron. Astrophys.* 1981. 97. P. 391—393.