

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД.

III. УСКОРЕНИЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ И МАССЫ ЗВЕЗД ПО КОНТУРАМ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ

В. С. Лебедев

На основе литературных данных о контурах водородных линий для 70 химически пекулярных звезд оценены ускорения силы тяжести и массы. Получены зависимость масса—светимость для этих звезд и средние значения массы для звезд различных типов пекулярности.

Acceleration of gravity and mass for 70 chemically peculiar stars are estimated on the basis of literature data of hydrogen line profiles. The dependence mass-luminosity for these stars and the mean mass values for stars of different peculiarity types are determined.

Контурные водородных линий в спектрах звезд являются одной из основных особенностей, чувствительных к значению ускорения силы тяжести (g) в звездных атмосферах [1]. Эффективную температуру (T_e), другой параметр, от которого зависит форма контура, можно оценить по поведению континуума или по наблюдательным данным в различных фотометрических системах. А если располагать независимой оценкой светимости звезды (M_V), то можно найти радиус (R) и массу (m) звезды.

Для химически пекулярных звезд различных типов пекулярности нами был произведен поиск опубликованных в литературе [2—15] контуров водородных линий. Больше всего данных опубликовано для линии H_γ , поэтому наш последующий анализ основывается только на рассмотрении этой линии. Кроме естественного способа представлять контур в форме таблицы остаточных интенсивностей на различных расстояниях от центра линии в некоторых работах результаты приведены в других формах: ширины (полуширины) на различных глубинах, или графическое представление контура линии, или, наконец, в форме распределения энергии в окрестности водородной линии. Во всех этих случаях проводилась дополнительная работа по приведению данных к единой табличной форме. Таким образом, была собрана информация о контурах линии H_γ для 70 химически пекулярных звезд.

Эффективные температуры звезд оценивались по фотометрическим данным в системах UBV , Женевской и Стремгреневской, как описано в [16]. Поиск теоретических контуров из [17], наиболее близких к наблюдаемым, осуществлялся автоматически с помощью программы, описанной в [18]. Теоретические контуры предварительно ограничивались на расстоянии 32 \AA от центра линии и нормировались на интенсивность в этой точке. Влияние этой процедуры на эквивалентные ширины иллюстрируется рис. 1, на котором линией 1 изображено поведение эквивалентной ширины исходного профиля H_γ с изменением температуры для $lg g = 4.0$, а линией 2 — это же поведение для ограниченного по ширине профиля. Точками на рис. 1 нанесены наблюдаемые эквивалентные ширины для исследуемых звезд.

Индивидуальные значения светимостей были собраны нами также из литературных источников, главные из которых — это каталог звезд с измеренными тригонометрическими параллаксами и МК-классификацией [19] и работа Эг-

гена [20] по светимости Вр-звезд. Если для одной и той же звезды имелось несколько оценок M_V , то мы их усредняли, предварительно выбросив резко выделяющиеся значения, если таковые имелись. Боллометрические поправки (BC), необходимые для перехода к боллометрическим светимостям (M_{bol}), находились по аналитическому выражению

$$BC = -12.98 \theta_e^2 + 16.77 \theta_e - 5.58,$$

взятому из работы [21], где оно получено по выборке Ар-звезд различных типов пекулярности. Определение θ_e традиционно: $\theta_e = 5040/T_e$.

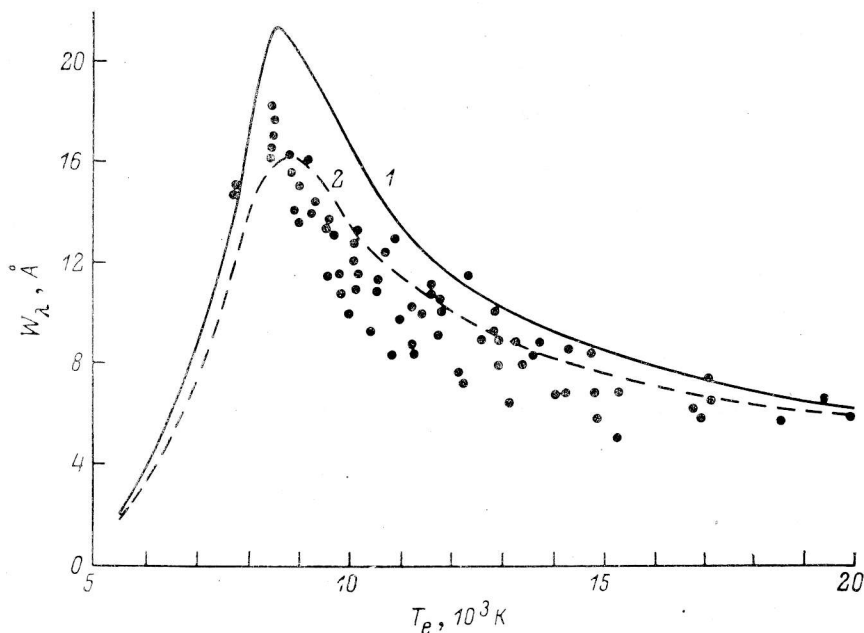


Рис. 1. Эквивалентные ширины линий H_γ для исследуемых звезд. 1 — теоретическая зависимость для моделей Куруча при $\lg g = 4.0$ и солнечном химическом составе; 2 — та же зависимость после процедуры обрезания теоретических контуров на расстоянии 32 Å от центра линии.

Радиусы и массы звезд (в солнечных единицах) находились по стандартным соотношениям, выражающим законы излучения и тяготения:

$$\begin{aligned} \lg R &= 8.47 - 0.2M_{bol} - 2 \lg T_e; \\ \lg m &= \lg g + 2 \lg R - 4.44. \end{aligned}$$

Из этих соотношений видно, что основную неопределенность в оценку массы вносят ошибки определения ускорения силы тяжести и температуры. Влияние же ошибок в светимостях ослаблено множителем 0.2 для $\lg R$ и множителем 0.4 для $\lg m$. Результаты всех вычислений приведены в табл. 1 в следующих столбцах: 1 — номер HD; 2 — тип пекулярности; 3 — эффективная температура; 4 — светимость; 5 — боллометрическая поправка; 6 — боллометрическая светимость; 7 — радиус; 8 — логарифм ускорения силы тяжести; 9 — масса; 10 — эквивалентная ширина H_γ в ангстремах; 11 — номер ссылки на источник контура.

На рис. 2 результаты изображены на плоскости $T_e - \lg g$. Среднее значение ускорения силы тяжести по всем исследуемым звездам составляет $\lg g = 3.95 \pm 0.15$, что близко к значению этой величины для А-звезд главной последовательности [22]. Массы химически пекулярных звезд расположены в диапазоне от 1.7 до ~ 10 масс Солнца. Средние значения масс (\bar{m}) для звезд различных типов пекулярности приведены в табл. 2 вместе с числом звезд каждого типа (n) и среднеквадратичным отклонением для единичной оценки массы (σ_m).

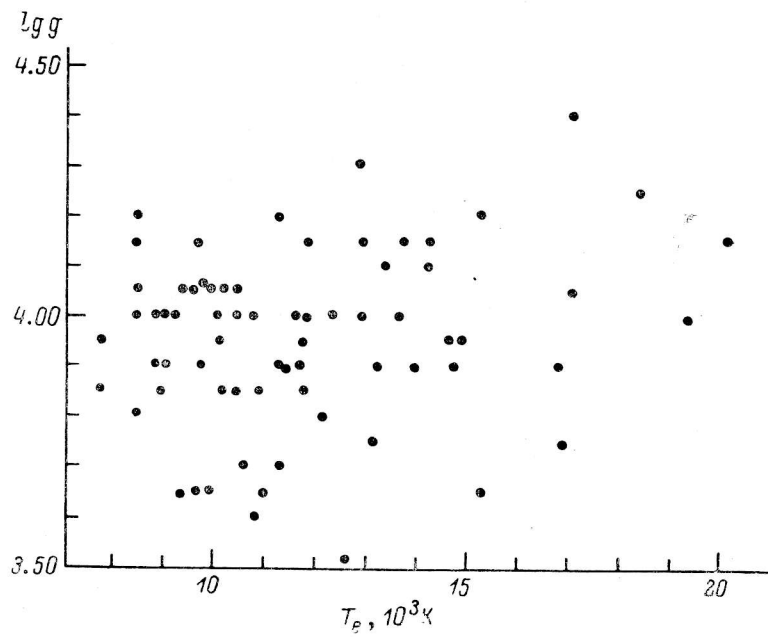


Рис. 2. Диаграмма $T_e - \lg g$ для исследуемых звезд.

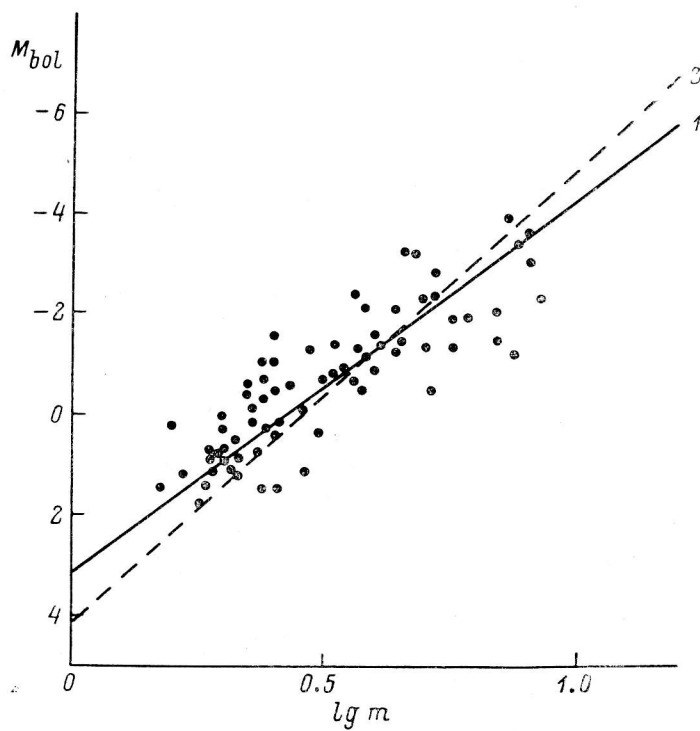


Рис. 3. Зависимость масса—светимость.

1 — средняя для химически пекулярных звезд, 2 — для нормальных звезд главной последовательности [23].

Т А Б Л И Ц А 1

HD	Тип	T_e	M_V	BC	M_{bol}	R	$\lg g$	m	W_λ	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
358	HgMn	13750	-0.21	-1.18	-1.39	2.96	4.15	4.49	8.88	2, 3, 4
1909	HgMn	11750	-0.15	-0.77	-0.92	3.26	3.95	3.45	9.17	5, 6, 7
5737	Hew	15300	-2.25	-1.46	-3.71	6.96	3.65	7.86	5.15	8
11503	Cr	9600	1.20	-0.35	0.85	2.17	4.05	1.92	11.53	9
12767	Si	14790	-0.95	-1.37	-2.32	3.92	3.95	4.97	6.90	10
14392	Si	12940	0.57	-1.02	-0.45	2.17	4.15	2.25	8.01	10
15144	SrCr	8500	1.71	-0.20	1.51	2.04	4.20	2.39	17.70	10
18296	SiCrEu	10150	0.60	-0.45	0.15	2.67	3.95	2.31	11.50	10
23408	Hew	12600	-1.85	-0.95	-2.80	6.75	3.50	5.23	14.36	11
25823	Si	14270	-0.17	-1.28	-1.45	2.83	4.15	4.11	6.75	10, 12
27295	Mn	11600	-0.17	-0.74	-0.91	3.34	4.00	4.05	11.08	5, 6, 10, 12
27376	Mn	12950	-0.26	-1.02	-1.28	3.17	4.00	3.65	9.13	7
28929	HgMn	12140	-0.20	-0.85	-1.05	3.25	3.80	2.42	7.48	10
33904	HgMn	13620	-0.25	-1.15	-1.40	3.03	4.00	3.33	8.35	2
34452	Si	17100	-0.61	-1.76	-2.37	3.00	4.05	3.67	6.63	10
36629	Hew	20160	-1.76	-2.20	-3.96	4.50	4.15	7.35	6.05	8
37043	Hew	16900	-1.60	-1.73	-3.33	4.79	3.75	4.68	5.81	8
37058	Hew	14050	-0.84	-1.23	-2.07	3.88	3.90	4.34	6.81	8
37129	Hew	19380	-1.17	-2.10	-3.27	3.54	4.00	4.55	6.64	8
37807	Hew	17100	-0.65	-1.76	-2.42	3.07	4.40	8.57	7.48	8
38104	CrEu	9300	0.48	-0.30	0.18	3.14	3.65	1.60	13.97	10
40312	Si	10900	-0.15	-0.60	-0.75	3.51	3.85	3.17	11.05	2
68351	SiCr	10800	-0.48	-0.58	-1.06	4.13	3.60	2.47	8.24	10
72968	SrCr	9800	0.57	-0.39	0.18	2.83	3.90	2.31	11.56	10
77350	SiCrSr	10380	-0.20	-0.50	-0.70	3.78	3.85	3.67	9.43	10
78316	HgMn	13150	-0.49	-1.06	-1.55	3.49	3.75	2.48	6.48	10
79158	Hew	14880	-0.80	-1.39	-2.19	3.65	3.90	3.84	5.89	10
90569	CrSr	10500	0.39	-0.52	-0.13	2.84	4.00	2.93	10.90	10
108662	CrSrEu	10200	0.78	-0.46	0.32	2.45	4.05	2.44	13.42	10, 12
108945	CrSr	9000	0.97	-0.26	0.71	2.63	3.90	1.99	15.17	12
110066	CrSrEu	8500	1.45	-0.20	1.25	2.30	4.05	2.16	16.91	13
110073	MnSi	11350	-0.72	-0.69	-1.41	4.39	3.90	5.56	10.00	7
111133	SrCrEu	10150	0.50	-0.45	0.05	2.80	3.85	2.02	12.91	12
112185	Cr	9630	-0.14	-0.36	-0.50	4.00	3.65	2.60	13.39	2, 12
112413	HgCrEu	11800	-0.01	-0.79	-0.80	3.07	3.85	2.42	10.06	2, 10, 12
118022	SrCr	9680	1.58	-0.37	1.21	1.80	4.15	1.66	13.05	10, 12
120709	Hew	18440	-1.08	-1.97	-3.05	3.53	4.25	8.05	5.81	8
123998	CrEu	10720	0.77	-0.56	0.21	2.34	4.00	1.99	12.42	7
124224	Si	13400	-0.27	-1.11	-1.38	3.10	4.10	4.39	11.80	3
129174	HgMn	12850	-0.57	-1.00	-1.57	3.68	4.15	6.95	9.36	5
137909	SrCrEu	8460	1.40	-0.20	1.20	2.37	4.15	2.88	16.09	2, 4, 9
140160	SrCr	9210	0.97	-0.29	0.68	2.54	4.00	2.35	16.11	12
142301	Hew	16800	-1.75	-1.72	-3.47	5.17	3.90	7.70	6.21	8
143807	HgMn	10500	0.00	-0.52	-0.52	3.40	4.05	4.72	12.94	10, 12
144206	HgMn	11250	-0.15	-0.67	-0.82	3.40	3.90	3.34	8.64	10
144334	Hew	15300	-0.51	-1.46	-1.97	3.13	4.20	5.64	6.91	8
144661	Hew	14240	-0.72	-1.27	-1.99	3.64	4.10	6.06	6.91	8
144844	Hew	12850	-0.27	-1.00	-1.27	3.21	4.30	7.46	11.63	8
145389	HgMn	11700	0.19	-0.76	-0.57	2.80	3.90	2.26	10.81	2, 10
148112	Cr	9570	0.69	-0.35	0.34	2.75	4.05	3.08	13.80	2, 10, 12
148898	SrCr	8500	1.35	-0.20	1.15	2.41	4.00	2.10	18.34	12
149822	SiCrSr	10000	0.80	-0.43	0.37	2.48	4.05	2.50	9.92	10
151525	SrEu	10100	0.62	-0.44	0.18	2.67	4.00	2.59	12.18	12
152107	SrCr	8840	1.32	-0.24	1.08	2.29	4.00	1.90	18.04	3, 9, 12
153882	Cr	8970	0.79	-0.26	0.53	2.87	3.85	2.11	13.70	12
157779	Si	11000	-0.90	-0.62	-1.52	4.91	3.65	3.90	9.77	10
162374	Hew	11250	-1.45	-0.67	-2.12	6.20	3.70	6.99	5.45	8
168733	Sr	14750	-0.99	-1.37	-2.36	4.03	3.95	5.26	8.51	14
173650	SrCrEu	9840	-0.22	-0.40	-0.62	4.06	3.65	2.67	10.71	12
174933	HgMn	11250	0.14	-0.67	-0.53	2.98	4.20	5.11	8.75	10
176232	SrCr	7790	1.73	-0.16	1.57	2.36	3.95	1.80	11.41	13
179761	Hg	10570	-0.65	-0.53	-1.18	4.56	3.70	3.78	5.54	10
183056	Si	12350	-0.52	-0.90	-1.42	3.72	4.00	5.02	11.49	3
188041	SrCrEu	8490	0.95	-0.20	0.75	2.90	3.80	1.93	16.68	13
196502	SrCrEu	8870	1.00	-0.24	0.76	2.64	3.90	2.02	6.50	15
201601	SrCrEu	7750	1.47	-0.16	1.31	2.69	3.85	1.86	14.75	13

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

HD	Тип	T_e	M_V	BC	M_{bol}	R	$\lg g$	m	W_λ	Ссылка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	11
204411	SrSi	8950	1.15	-0.25	0.90	2.44	4.00	2.16	14.00	10
205087	SiSrCr	11800	0.37	-0.79	-0.42	2.57	4.00	2.39	10.58	10
220825	CrSr	9420	1.25	-0.32	0.93	2.17	4.05	1.92	14.49	10, 12
223640	Si	13250	-0.20	-1.08	-1.28	3.03	3.90	2.65	8.90	10, 12

Чтобы получить среднеквадратичные отклонения для средних значений масс, приведенные значения σ_m следует разделить на \sqrt{n} :

$$\sigma_{\bar{m}} = \sigma_m / \sqrt{n}.$$

На рис. 3 результаты представлены на плоскости $\lg m - M_{bol}$. По этим данным методом наименьших квадратов найдено соотношение между массой и светимостью:

ТАБЛИЦА 2

Тип пекулярности	n	\bar{m}	σ_m
HeW	13	6.50	1.25
HgMn	12	3.85	0.95
Si	9	3.80	0.90
Si+(Sr, Cr)	5	2.35	0.15
SrCrEu	26	2.20	0.30

$$M_{bol} = (3.25 \pm 0.20) - (7.55 \pm 0.45) \lg m.$$

Найденное соотношение масса—светимость для исследуемых химически пекулярных звезд (линия 1 на рис. 3) только незначимо отличается от такового для нормальных звезд главной последовательности [23] (линия 2 на рис. 3). Несмотря на близость средних характеристик химически пекулярных звезд к значениям этих характеристик для звезд главной последовательности,

следует с осторожностью пользоваться соотношениями, полученными для звезд главной последовательности в среднем, а по возможности производить оценки физических параметров индивидуально.

Литература

- Грей Д. Наблюдения и анализ звездных фотосфер. М.: Мир, 1980. 496 с.
- Gray D. F., Evans J. C. Hydrogen lines in A- and Ap-stars. I. Photoelectric observations. — *Astrophys. J.*, 1973, **182**, N 1, p. 147—158.
- Jugaku J., Sargent W. L. W. Studies of the peculiar A-stars. V. Continuous energy distributions. — *Astrophys. J.*, 1968, **151**, N 1, p. 259—267.
- Derman J. E. Spectroscopic analysis of Alfa And. — *Ap. Sp. Sci.*, 1982, **88**, N 1, p. 135—158.
- Strom K. M. Detailed analysis of the peculiar A-stars. I. The manganese stars. — *Astron. Astrophys.*, 1969, **2**, N 2, p. 182—194.
- Buscombe W., Chambliss C. R., Kennedy P. M. A spectral analysis of the manganese star HD 1909. — *MNRAS*, 1968, **140**, N 3, p. 369—385.
- Buscombe W. Line strength for southern OB stars. III. Balmer profiles for slow rotators. — *MNRAS*, 1970, **148**, N 1, p. 75—78.
- Norris J. Neutral-helium line strengths. V. The weak-helium stars of population. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1971, **23**, p. 213—233.
- Baschek B., Oke J. B. Effective temperatures and gravities of Ap, Am, and normal A-type stars. — *Astrophys. J.*, 1965, **141**, N 4, p. 1404—1410.
- Searle L., Sargent W. L. W. Studies of the peculiar A-stars. II. The silicon-abundance anomaly. — *Astrophys. J.*, 1964, **139**, N 3, p. 793—812.
- Masahiro Mon, Ryuko Hirata. Abundance analysis of the helium weak stars 20 Tauri. — *PASJ*, 1981, **33**, N 3, p. 413—426.
- Wolff S. C. A spectroscopic and photometric study of the Ap-stars. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1967, **15**, p. 21—59.
- Глаголевский Ю. В., Козлова Р. И., Чупакова Н. М. Об эффективных температурах пекулярных и металлических звезд. — *Астрофиз. послед. (Изв. САО)*, 1973, **5**, с. 52—69.
- Little S. J., Aller L. H. The peculiar A-stars HD 168733. I. A line-identification list. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1970, **22**, p. 157—176.
- Sadakane K. Spectroscopic study of the Ap-star 73 Draconis: a model atmosphere analysis. — *PASJ*, 1976, **28**, N 3, p. 469—494.

16. Лебедев В. С. Статистическое изучение химически некулярных звезд. I. Звезды с известными периодами. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1985, 21, с. 21—29.
17. Kurucz R. L. Model atmospheres for G, F, A, B, and O stars. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1979, 40, N 1, p. 1—340.
18. Бычков В. Д., Лебедев В. С. Процедура автоматического определения эффективной температуры и ускорения силы тяжести по контурам водородных линий. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1982, 16, с. 27—29.
19. Breason L. A., Uggren A. R. A catalog of parallax stars with MK spectral classifications. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1979, 41, N 4, p. 709—741.
20. Eggen O. J. Luminosities and motions of peculiar B-type stars. — *PASP*, 1974, 86, p. 241—262.
21. Babu G. S. D., Shylaja B. S. Spectrophotometric studies of Ap-stars. — *Ap. Sp. Sci.*, 1982, 81, N 1—2, p. 269—274.
22. Straizys V., Kuriliene G. Fundamental stellar parameters derived from the evolutionary tracks. — *Ap. Sp. Sci.*, 1981, 80, N 3, p. 353—368.
23. Cester B., Ferluga S., Boehm C. The empirical mass-luminosity relation. — *Ap. Sp. Sci.*, 1983, 96, N 2, p. 125—140.

Поступила в редакцию 15.05.85