

ОБ ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ ПЕКУЛЯРНЫХ И МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЗВЕЗД

Ю. В. Глаголевский, К. И. Козлова, Н. М. Чунакова

Эффективные температуры большого числа пекулярных (Ap) и металлических (Am) звезд приведены к одной системе температур $T'_{эфф}$, определенных по распределению энергии в непрерывном спектре, проведен анализ полученных данных. Соотношение между $T'_{эфф}$ и показателями цвета в системе UBV такое же, как и у нормальных звезд. Контуры водородных линий пекулярных и металлических звезд в первом приближении совпадают с контурами этих линий нормальных звезд, линии гелия ослаблены в исследуемых звездах по сравнению с нормальными звездами. Показано, что эффективные температуры $T'_{эфф}$ выше $T''_{эфф}$, найденных по линиям металлов (по температурам возбуждения и ионизации, которые получены методом кривых роста, и с помощью соотношений $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T'_{эфф}$ для нормальных звезд). Качественно объясняются причины этих различий.

Сделан вывод о том, что наиболее надежно характеризуют истинную эффективную температуру Ap- и Am-звезд количественные спектральные классы и $T'_{эфф}$.

The effective temperatures of a great number of the peculiar (Ap) and metallic-line (Am) stars are reduced to one system of T'_{eff} determined from the energy distribution in the continuous spectrum and an analysis of the data obtained is carried out. The relation between T'_{eff} and the color indices in the UBV system proved to be the same as for the normal stars. The profiles of the hydrogen lines of the peculiar and metallic-line stars resemble in the first approximation those of the normal stars, the helium lines are weakened in the stars investigated as compared with those in the normal stars. It is shown that the effective temperatures T'_{eff} are higher than T''_{eff} obtained from the metallic lines (from the temperatures of excitation T_{ex} and ionization T_{ion} derived by the curve-of-growth method and then by the relations T_{ex}/T'_{eff} and T_{ion}/T'_{eff} for the normal stars). The causes of these differences are explained qualitatively.

It is concluded that the true effective temperature of the Ap- and Am-stars is most reliably characterized by the quantitative spectral classes and T'_{eff} .

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени опубликовано довольно много работ, посвященных определению эффективных температур пекулярных (Ap) и металлических (Am) звезд различными методами: по распределению энергии в непрерывных спектрах, по контурам водородных линий и по кривым роста с помощью соотношений $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T'_{эфф}$. При сопоставлении результатов этих определений обнаруживаются значительные систематические различия, существующие даже между системами, в которых температуры получены одинаковым методом.

В данной работе мы привели различные системы эффективных температур к одной системе и проанализировали полученные результаты.

§ 2. ЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ

Наиболее совершенной системой эффективных температур $T'_{эфф}$, определенных по распределению энергии в непрерывных спектрах, является система [1], основанная на скорректированном распределении энергии в непрерывном спектре стандартной звезды α Луг. Использование прежней калибровки (из [2]) спектра этой звезды приводило к различию температур, полученных по бальмеровскому скачку и пашеновскому континууму. После коррекции распределения энергии в спектре α Луг авторы работы [1] измерили спектры 42 нормальных звезд с учетом влияния металлических линий и затем по этим данным определили эффективные температуры с использованием моделей из [3, 4]. Результаты, полученные по бальмеровскому скачку и пашеновскому континууму, стали одинаковыми. Скорректированное распределение энергии в спектре α Луг использовалось также в работе [5].

Взяв системы [1, 5] в качестве основы, мы привели к ним системы эффективных температур [6—12] при помощи редуцированных графиков, построенных по общим звездам. В работах [6] и [7] применялась одинаковая методика измерения температур, поэтому для них мы использовали один и тот же редуцированный график. Температуры в системах [1, 5] и [6, 7] различаются в наибольшей степени, особенно при $T'_{эфф} > 10\ 000^\circ$ (разница достигает нескольких тысяч градусов). Между системами [1, 5] и [9] различие меньше, в среднем около 1500° , а между [1, 5] и [12] оно находится в пределах разброса точек. Системы [8, 10] отличаются от [1, 5] на величину порядка 1000° .

Полученные температуры нормальных, пекулярных и металлических звезд приведены в табл. 1 и 2, где $T''_{эфф}$ — средняя эффективная температура

ТАБЛИЦА 1
Эффективные температуры нормальных звезд

№ по HD	Название звезды	$T'_{эфф}$	$\Delta T'_{эфф}$	n	Источник
1	2	3	4	5	6
2084	—	8700	—	1	[10]
8512	θ Crt	12100	—	1	[6]
11636	β Ari	8700	100	4	[1, 6, 7, 11]
17081	π Cet	14500	1300	5	[1, 6, 9, 11, 12]
21375	—	10000	—	1	[10]
21479	—	9200	—	1	[10]
23194	—	9000	—	1	[10]
23489	—	9100	—	1	[10]
23628	—	8500	—	1	[10]
23763	—	9200	—	1	[10]
27819	—	8400	—	1	[10]
28319	—	8200	—	1	[10]
29388	—	8650	—	1	[10]
47105	γ Gem	10000	400	3	[1, 5, 11]
73819	—	7800	—	1	[10]
87901	α Leo	13250	50	2	[1, 12]
90994	β Sex	15800	500	2	[1, 12]
103578	95 Leo	8800	100	3	[6, 9, 11]
107259	η Vir	10100	300	4	[6, 9, 5, 11]
114330	θ Vir	10200	—	1	[6]
147394	τ Her	16200	600	4	[5, 9, 11, 12]
160762	ι Her	17400	2000	2	[1, 5]
172167	α Lyr	10200	100	4	[1, 7, 10, 12]
193432	ν Cap	11600	800	3	[6, 9, 11]
214923	ζ Peg	12300	350	2	[1, 12]
214994	\circ Peg	10700	1400	4	[1, 6, 8, 11]
222173	ι And	13300	2100	3	[1, 8, 12]
222603	λ Psc	8300	—	1	[7]

ТАБЛИЦА 2

Эффективные температуры пекулярных и металлических звезд

№ по HD	Название звезды	$T'_{эфф}$	$\Delta T'_{эфф}$	n	Источник
1	2	3	4	5	6

Пекулярные звезды

358	α And	14550	750	2	[5, 6]
3322	—	12600	—	1	[6]
12767	ν For	16100	2900	3	[9, 11, 12]
14392	63 And	13000	600	3	[9, 11, 12]
15144	—	8550	700	3	[6, 9, 11]
18296	21 Per	11700	1650	4	[6, 9, 11, 12]
19832	56 Ari	15000	—	1	[6]
25823	41 Tau	14300	500	4	[6, 9, 11, 12]
27295	53 Tau	12000	250	4	[5, 6, 9, 11]
28929	—	12200	100	3	[6, 9, 11]
32549	11 Ori	11450	750	2	[6, 12]
34452	—	17300	1100	4	[6, 9, 11, 12]
68351	15 Cnc	12100	1100	3	[9, 11, 12]
72968	3 Hya	11100	300	2	[9, 11]
77350	ν Cnc	11600	600	2	[9, 11]
78316	ζ Cnc	14300	1400	3	[5, 9, 11]
79158	36 Lyn	14900	400	2	[9, 11]
90569	45 Leo	11850	650	2	[9, 11]
108662	17 Com A	11300	500	4	[6, 8, 9, 11]
108945	21 Com	9300	—	1	[6]
110066	—	12200	—	1	[6]
111133	—	10300	—	1	[6]
112413	α^2 CVn	13700	1000	4	[5, 6, 9, 11]
118022	78 Vir	10400	400	4	[5, 6, 9, 11]
124224	—	13600	—	1	[5]
137909	β CrB	8400	700	3	[5, 6, 11]
140160	ζ Ser	9350	150	2	[6, 12]
143807	ι CrB	11700	900	4	[5, 6, 9, 11]
144206	υ Her	12900	1800	4	[5, 8, 9, 11]
145389	φ Her	12500	500	4	[5, 9, 8, 11]
148112	ω Her	10500	1000	5	[5, 6, 8, 9, 11]
148898	ω Oph	8950	350	2	[6, 11]
149822	—	13700	400	3	[6, 9, 11]
151525	45 Her	10250	750	2	[6, 11]
152107	52 Her	9350	350	4	[5, 7, 8, 11]
152308	49 Her	12200	—	1	[6]
153882	—	9250	—	1	[6]
157779	ρ Her A	11000	600	2	[9, 12]
164258	—	8900	—	1	[6]
170000	φ Dra	13200	—	1	[5]
173650	—	10000	700	2	[6, 12]
175744	—	10800	—	1	[6]
176232	10 Aql	7900	100	2	[6, 11]
179761	21 Aql	13300	1500	3	[5, 9, 11]
183056	4 Cyg	14100	500	2	[5, 8]
184961	—	12200	—	1	[6]
188041	—	9600	—	1	[6]
199728	20 Cap	13800	—	1	[6]
201601	γ Equ	7900	100	2	[6, 11]
204411	—	9250	50	2	[9, 11]
205087	—	13000	800	3	[6, 9, 11]
206088	γ Cap	7700	—	1	[6]
207840	—	12900	400	3	[9, 11, 12]
220825	ζ Psc	11200	2100	4	[5, 6, 9, 11]
221394	—	10300	—	1	[6]
223640	108 Aqr	15600	1600	4	[6, 9, 11, 12]

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

№ по HD	Название звезды	$T'_{эфф}$	$\Delta T'_{эфф}$	n	Источник
1	2	3	4	5	6

Металлические звезды

27749	63 Tau	8100	—	1	[7]
27962	68 Tau	9800	—	1	[7]
78362	τ UMa	7600	—	1	[7]
95608	60 Leo	9200	—	1	[7]
189849	15 Vul	8200	—	1	[7]

тура, $\Delta T'_{эфф}$ — максимальное отклонение усреднявшихся значений от $T'_{эфф}$ и n — число усреднявшихся значений температур.

Эффективные температуры пекулярных, металлических и нормальных звезд, приведенные к одной системе, мы сопоставили на рис. 1 с показателями цвета в системе UBV . Последние взяты из [7, 13] для всех исследуемых звезд. Из рисунка видно, что соотношения ($T'_{эфф}$, UBV) для пекулярных, металлических и нормальных звезд в среднем совпадают, но некоторые пекулярные звезды значительно отклоняются от средней полосы рассеяния либо на графике $B-V$, либо на графике $U-B$ (такие звезды отмечены на графиках вертикальными черточками). Это означает, что отклонения обусловлены не ошибками определения $T'_{эфф}$, что вызвало бы смещение точек на обоих графиках, а аномальными значениями одного из показателей цвета. Возможно, большую роль здесь играет влияние переменности звезд. При строгом подходе к сопоставлению эффективных температур с показателями цвета пекулярных, металлических и нормальных звезд следовало бы учитывать различия во влиянии линий поглощения на показатели цвета. На рис. 1 стрелками показано, насколько передвигаются некоторые пекулярные звезды позднего типа после учета влияния линий [14]. Видно, что точки приблизились к средней кривой для нормальных звезд. Влияние линий на показатели цвета нормальных А-звезд поздних типов значительно меньше — порядка 0^m02-0^m03 [6]. Для пекулярных звезд, имеющих температуру $T'_{эфф} > 10\ 000^\circ$, этот эффект также невелик и составляет 0^m02-0^m03 .

Рассмотрим случаи, когда отклонения показателей цвета от средней кривой особенно велики. У звезд α And, 56 Ari, 45 Leo, 11 Ori, 21 Per, 3 Hya, 49 Her и κ Psc показатели цвета соответствуют более низким температурам, чем $T'_{эфф}$. Напротив, показатели цвета звезд κ Snc, 4 Cyg и 41 Tau соответствуют более высоким температурам.

Таким образом, в среднем показатели цвета пекулярных и металлических звезд в системе UBV соответствуют эффективным температурам, полученным с помощью моделей по непрерывному спектру, это свидетельствует о том, что при редукции мы не внесли больших систематических ошибок в значения $T'_{эфф}$. Нет заметных различий между соотношениями ($T'_{эфф}$, UBV) у пекулярных, металлических и нормальных звезд.

§ 3. БАЛЬМЕРОВСКИЕ ЛИНИИ

Наилучшим способом выявления особенностей контуров водородных линий пекулярных и металлических звезд является сравнение с нормальными звездами той же эффективной температуры и светимости. Многие ранние работы, посвященные сравнительному анализу водородных линий, имели тот недостаток, что в них использовались слишком грубые для Ар-

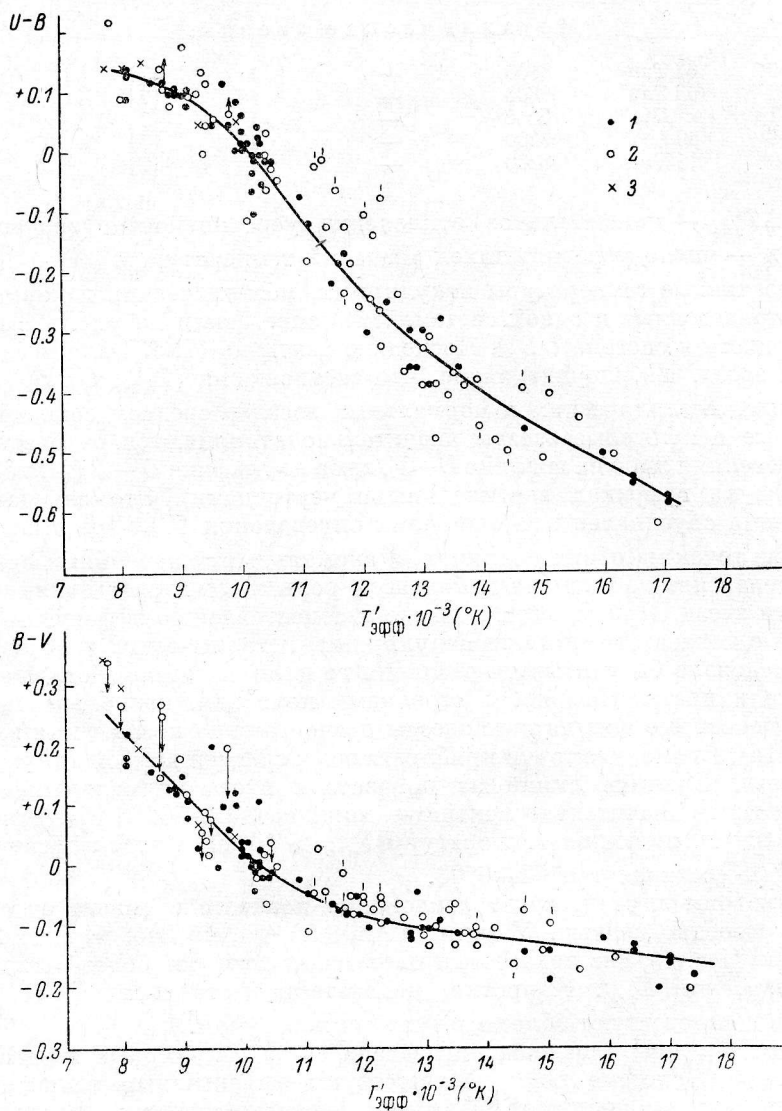


Рис. 1. Сопоставление эффективных температур, полученных по непрерывному спектру ($T'_{эфф}$), с показателями цвета ($U-B$) и ($B-V$) для нормальных (1), пекулярных (2) и металлических (3) звезд.

ТАБЛИЦА 3

Полуширина линии H_γ (в \AA) на разной глубине у нормальных звезд

№ по HD	Название звезды	Глубина линии						Источник
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	
10625	γ Crv	13.0	8.5	6.0	4.0	2.7	1.8	*
17081	π Cet	11.0	7.5	4.5	3.0	3.0	1.0	[6, 9]
25291	—	14.5	9.0	6.0	4.3	3.0	2.0	*
47105	γ Gem	20.0	13.4	10.5	7.7	5.5	3.7	*, [5]
48915	α CMa	22	16	12.5	10	7	5	*
61421	α CMi	13.5	7.0	4.0	2.5	1.5	0.7	[18]
82328	θ UMa	10.0	5.5	2.5	1.5	0.6	0.6	[18]
89021	λ UMa	21	15	11	7	5.5	3.5	*
95418	β UMa	23	14	10	7.5	5.5	3.5	*
103578	95 Leo	19.5	12.0	8.7	5.7	3.7	2.0	[6, 5, 9]
107259	η Vir	20.0	14.0	10.0	7.7	5.0	3.0	[6, 9]
110379	γ Vir	9.0	4.7	2.7	1.8	1.1	0.7	[7]
114330	θ Vir	20.5	14	10	7	5	3.5	*
138764	—	15	10	7	4.5	3	2	*
138917	δ Ser	7.5	4	2.5	1.5	1	0.5	[7]
147394	τ Her	10.3	6.3	4.3	3.4	1.3	0.3	[9, 20]
159975	μ Oph	12	7	5	3.5	2	1	*
160762	ι Her	—	5.6	—	—	—	—	[5]
161868	γ Oph	24	17	13	9	6.5	4	*
172167	α Lyr	20.0	13.5	10.0	7.0	4.5	2.5	[7, 20]
192907	ζ Cep	16	11	8.5	6.5	4.5	3	*
193432	ν Cap	17.5	11.0	8.3	6.3	4.5	2.7	[6, 9]
214994	σ Peg	19	13	9	6	4	2.5	*
222603	λ Psc	24	15	9	6	4	2	[7]

Примечание. Звездочкой отмечены данные авторов статьи.

ТАБЛИЦА 4

Полуширина линии H_γ (в \AA) на разной глубине у пекулярных и металлических звезд

№ по HD	Название звезды	Глубина линии						Источник
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	
Пекулярные звезды								
358	α And	13.0	8.0	5.5	4.0	2.5	0.5	[5]
12767	ν For	10.5	7.0	4.5	3.0	1.4	—	[9]
15144	—	25.8	16.6	12.0	8.0	5.3	3.5	[9]
18296	21 Per	16.0	8.8	6.2	4.2	3.0	1.5	*, [9]
25823	41 Tau	11.8	7.5	4.8	3.0	1.9	1.0	*, [6, 9]
27295	53 Tau	15.5	10.3	7.0	4.5	3.0	1.3	[6, 9]
28929	—	11.3	7.2	5.0	3.0	1.7	—	[9]
34452	—	10.5	6.7	5.0	3.0	1.3	—	[9]
72968	3 Hya	18.5	13.5	9.0	6.5	4.5	3.0	*, [9]
77350	ν Cnc	13.0	9.0	7.0	5.0	3.0	1.5	[9]
78316	ζ Cnc	11.0	6.5	4.5	3.0	1.5	0.5	[9]
79158	36 Lyn	9.5	5.5	4.4	2.0	1.0	—	[9]
90569	45 Leo	14.5	10.5	8.0	6.0	3.5	1.5	[9]
108662	17 Com A	17.0	12.0	8.7	5.7	4.0	2.5	[9, 6]
108945	21 Com	21.5	15.0	11.0	8.7	5.7	3.5	*, [6]
110066	—	22.0	16.0	12.0	8.5	6.0	4.5	*
111133	—	16	11	7	5	4	3	[6]
112413	α^2 CVn	14.3	9.0	6.0	4.5	2.9	2.0	[6, 9]
118022	78 Vir	18.8	13.5	9.7	6.6	4.6	3.0	*, [6, 9]
137909	β CrB	23	14	9	6	4	2	*
140160	χ Ser	21	15	10	7	5	3	[6]

ТАБЛИЦА 4 (продолжение)

№ по HD	Название звезды	Глубина линии						Источник
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	
143807	ι CrB	15.3	10.3	7.3	5.3	3.3	2.3	*, [6, 9]
144206	υ Her	12	8	6	4	2.5	1	[9]
145389	φ Her	12.5	8.5	6.0	4.5	2.5	1.5	[9]
148112	ω Her	15.5	10.7	7.7	6.0	4.0	2.3	[6, 8, 9]
148898	ω Oph	26	17	11	7	4.5	3	[6]
149822	—	13.5	9.0	7.0	5.0	3.0	1.5	[9]
151525	45 Her	16.0	11.5	8.0	6.0	4.0	2.5	[6]
152107	52 Her	22.5	16.2	11.5	8.2	5.0	2.8	[5, 6, 8]
153882	—	19.0	13.5	9.7	7.2	5.2	3.3	*, [6]
157779	ρ Her A	13	9	7	4.5	3	1.5	[9]
173650	—	13.0	8.5	6.5	4.5	3.0	2.0	*, [6]
176232	10 Aql	18.0	11.5	6.5	4.0	3.0	2.0	*
179761	21 Aql	9.0	5.5	3.5	2.5	1.5	—	[9]
183056	4 Cyg	14.0	9.0	6.5	4.0	2.5	1.0	[5, 8]
188041	—	24.0	16.0	11.0	8.0	5.5	3.5	*
201601	γ Equ	22	15	10	6	4	2.5	*
205087	—	14.5	10.0	7.5	5.0	3.4	2.0	[9]
207840	—	13.0	8.5	6.5	4.0	2.0	—	[9]
220825	z Psc	20.7	14.3	10.0	6.7	4.5	2.5	[6, 9]
223640	108 Aqr	11.7	7.8	5.2	3.7	2.0	0.5	[6, 9]

Металлические звезды

27749	63 Tau	12.0	7.5	5.0	3.0	1.5	—	[9]
27962	68 Tau	24	16	12	8	5	3	*

Примечание. Звездочкой отмечены данные авторов статьи.

и Am-звезд спектральные классы HD или системы температур, имеющие ошибки из-за неправильной калибровки спектра звезды α Луг. Мы сравнили контуры водородных линий пекулярных, металлических и нормальных звезд, используя полученную нами сводку эффективных температур (табл. 1 и 2). В связи с этим возник вопрос о классе светимости звезд сравнения. На основании работ [6, 7, 15—18] можно сделать вывод, что пекулярные и металлические звезды на диаграмме Герцшпрунга—Рессела расположены вблизи главной последовательности, возможно несколько выше нее. Поэтому звезды сравнения выбирались IV—V классов светимости. Поскольку мы исследуем водородные линии, то мы сознательно не используем многочисленных результатов измерений по ним ускорений силы тяжести, на основании которых можно было бы составить представление о светимости пекулярных и металлических звезд.

Для исследования особенностей контуров мы выбрали линию H_{γ} . Полуширины линии H_{γ} на глубинах $R_c=0.1-0.6$ измерялись по спектрограммам, полученным В. В. Леушиным в Крымской астрофизической обсерватории на 50-дюймовом рефлексоре с дисперсией 15 Å/мм. Нами использованы также литературные данные, основанные на измерениях спектров с высокой дисперсией [5—9, 19, 20] (следует заметить, что в [9] приводятся усредненные данные для контуров H_{γ} и H_{δ} , но разница между ними обычно меньше ошибок измерений).

В табл. 3 и 4 приведены данные о контурах линии H_{γ} звезд сравнения, пекулярных и металлических звезд. На рис. 2 показаны зависимости полуширин линии на разной глубине R_c от $T'_{эф}$. Разброс точек обусловлен в основном ошибками измерений, о чем можно сделать заключение при сравнении данных для одинаковых звезд, измеренных разными авторами.

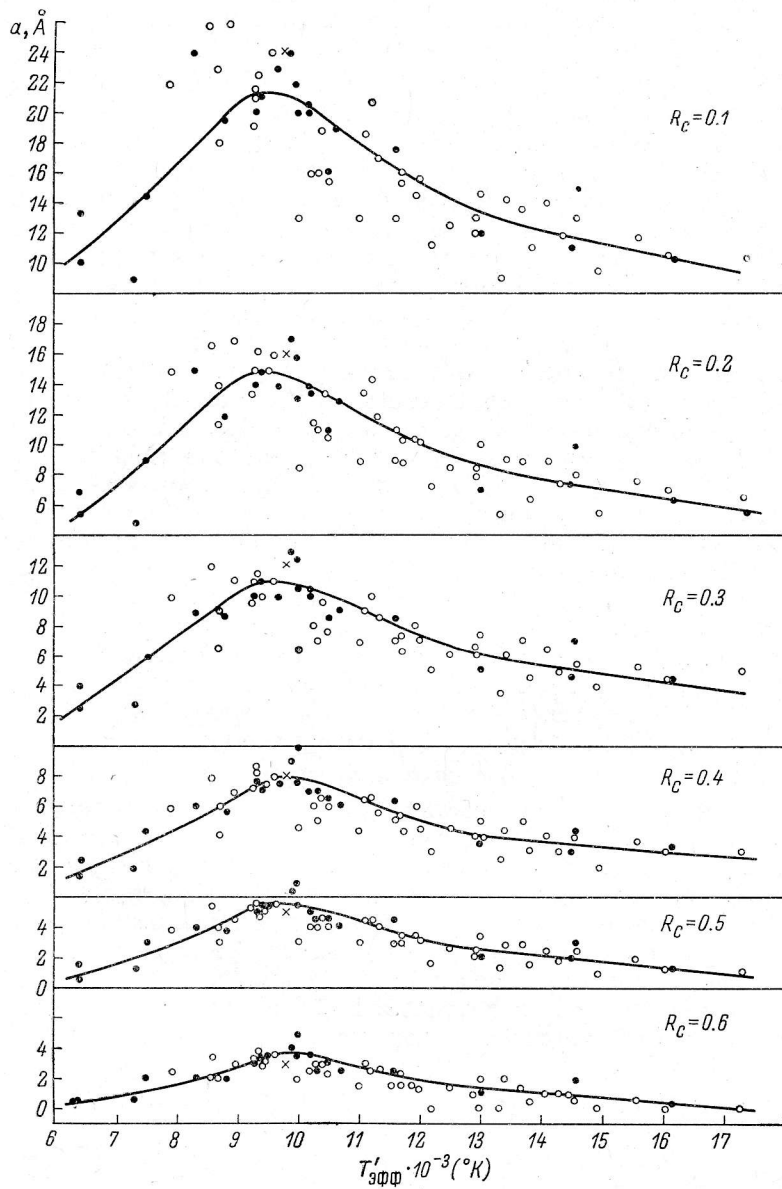


Рис. 2. Зависимости полуширин a (в \AA) линии H_γ на разных глубинах R_c от эффективной температуры $T'_{\text{эфф}}$. Сплошными кривыми показаны средние зависимости для нормальных звезд.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

Кроме ошибок измерений на разброс точек влияют ошибки определения $T'_{эфф}$, эффекты абсолютной величины, а для пекулярных звезд — переменность. Сопоставление контуров линий нормальных, Ар- и Ам-звезд показывает, что в первом приближении они совпадают. Небольшие различия наблюдаются в области высоких температур, где величина a у пекулярных звезд в среднем меньше, чем у нормальных. Расхождение наблюдается и в области низких температур, где крылья линии H_γ у пекулярных и металлических звезд шире, чем у нормальных (на глубине $R_c=0.1, 0.2$ и 0.3). Это расхождение в среднем составляет $2-3 \text{ \AA}$. Вопрос о большой протяженности крыльев водородных линий у пекулярных и металлических звезд позднего спектрального типа в литературе уже обсуждался [21]. Одной из возможных причин может быть повышенное ускорение силы тяжести. Единственным подтверждением этого предположения может служить то, что после исправления показателей цвета за эффект блокировки металлических и некоторые пекулярные звезды на диаграмме Герцшпрунга—Рессела располагаются между исходной и главной последовательностями [7]. Но этот сдвиг в сторону исходной последовательности легко можно также объяснить изменением показателей цвета в результате действия значительного покровного эффекта (см. ниже). Среди других причин наиболее существенной может быть влияние повышенного количества ионов из-за избытка большинства тяжелых химических элементов.

Уменьшение эквивалентных ширин у пекулярных звезд ранних спектральных типов, а стало быть и сужение водородных линий, возможно вызваны дополнительным источником поглощения в их атмосферах. Таким источником является поглощение металлами, содержание которых в значительной степени увеличено в атмосферах этих звезд по сравнению с нормальным. В частности, одним из главных поглощающих агентов может быть кремний [22], содержание которого в некоторых звездах очень велико [23]. Теоретические зависимости эквивалентных ширин линий H_γ и H_δ от $T'_{эфф}$ [24] показывают уменьшение эквивалентных ширин при увеличении содержания кремния в области $T'_{эфф} > 9700^\circ$ ($Sp=A1$). Необходимо также учитывать действие уменьшенного температурного градиента из-за влияния магнитного поля [25], в результате чего уменьшаются интенсивности водородных линий. Механизм расширения крыльев водородных линий у звезд с низкими температурами в таком случае действует сильнее механизма сужения линий из-за уменьшенного температурного градиента. Окончательно этот вопрос может быть решен только путем построения точных моделей магнитных и металлических звезд с учетом всех действующих факторов. В § 6 будет рассмотрена еще одна причина искажений контуров водородных линий — покровный эффект.

§ 4. О ТЕМПЕРАТУРАХ ВОЗБУЖДЕНИЯ И ИОНИЗАЦИИ

В работе [26] для звезд Ар и Ам даны полученные методом кривых роста температуры возбуждения и ионизации (T_v и T_n), проведен их анализ и исследована шкала количественных спектральных классов $Sp(K)$, определявшихся по линиям гелия, железа и титана [27]. Оказалось, что зависимости ($T_v, Sp(MK)$) и ($T_n, Sp(MK)$) для нормальных звезд совпадают с зависимостями ($T_v, Sp(K)$) и ($T_n, Sp(K)$) для звезд Ар и Ам. При дальнейшем анализе мы еще раз покажем это, привлекая большее количество данных. В некоторых случаях разные авторы получали T_v и T_n по одному или двум элементам. В [26] показано, что значения этих температур зависят от того, по какому элементу они определены. Ввиду этого для получения однородных данных температуры приводились к системе [26] с помощью соответствующих соотношений, полученных эмпирически, на-

ТАБЛИЦА 5

Температуры возбуждения и ионизации нормальных звезд

№ по HD	Название звезды	Sp (МК)	T_v (°К)	T_{II} (°К)	Источник
886	γ Peg	B2 IV	—	18100	[29]
7927	φ Cas	F0 Ia	6200	6900	[29]
12301	53 Cas	B8 Ib	15200	—	[30]
14489	9 Per	A2 Ia	7800	7000	[29]
20902	α Per	F5 Ib	5150	6150	[34]
21291	3H Cam	A0 Ia	10300	—	[30]
21389	1H Cam	A0 Ia	10400	—	[30]
23230	ν Per	F5 II	5150	—	[31]
25291	—	F0	6500	7300	[26]
31964	ϵ Aur	F0 Ia	6850	6800	[29]
34085	β Ori	B8 Ia	12100	—	[30]
46300	13 Mon	A0 Ib	9400	—	[30]
47105	γ Gem	A1 IV	7950	7300	[26, 18, 35]
61421	α CMi	F5 IV	6100	5850	[34, 35]
67523	\circ Pup	F6 II	5300	6050	[34]
71297	2 Hya	A7 V	6800	6700	[26]
82446	θ UMa	F6 III	5150	5800	[34]
83808	\circ Leo	F5 III	5150	—	[31]
87737	η Leo	A0 Ib	9800	—	[30]
97633	θ Leo	A2 V	7700	—	[35]
106625	γ Crv	B8.6 IV	9400	7100	[26]
107259	η Vir	A2 V	8400	6800	[26]
128164	σ Boo	F2 V	6300	—	[32, 35]
163506	89 Her	F2 Ia	6800	6650	[29]
164136	ν Her	F2 III	6400	6250	[29]
173667	110 Her	F6 V	7000	—	[35]
195295	41 Cyg	F4 II	5300	—	[33]
197345	α Cyg	A2 Ia	7400	7000	[29]
202850	σ Cyg	B9 Ia	11300	—	[30]
207260	ν Cep	A2 Ia	7200	6900	[29]
215593	4 Lac	B9 Ia	10300	—	[30]
223385	6 Cas	A3 Ia	7500	6800	[29]

ТАБЛИЦА 6

Температуры возбуждения и ионизации и полученные по ним эффективные температуры пекулярных и металлических звезд

№ по HD	Название звезды	Sp (К)	T_v (°К)	T_{II} (°К)	$T_{эфф}(T_v)$	$T_{эфф}(T_{II})$	$T''_{эфф}$	Источник значений T_v, T_{II}
Пекулярные звезды								
358	α And	B9.6	9350	—	10400	—	10400	[36]
15089	ι Cas	A0.9	8700	7500	10200	10000	10100	[26]
18296	21 Per	A0.3	9100	7800	10400	10100	10250	[26]
25823	41 Tau	B9.5	10200	9300	11300	11600	11450	[26]
27295	53 Tau	B9.8	9700	—	11000	—	11000	[37]
65339	53 Cas	A7.9	6900	7700	8000	9300	8650	[26]
89822	—	B9.2	—	9300	—	11300	11300	[38]
112185	ϵ UMa	A0.2	8350	8100	9600	10400	10000	[39]
112413	α^2 CVn	A0.2	8000	8200	9200	10600	9900	[40]
129174	π Boo A	B9.8	9500	—	11900	—	11900	[36]
133029	—	B9.3	8000	8000	8900	10100	9500	[41]
137909	β CrB	F0.0	6400	6500	7200	7800	7600	[26]
143807	ι CrB	B9.3	8950	8000	10000	9900	9700	[26, 42]
174704	—	F2.0	5100	6000	6000	7100	6550	[43]
176232	10 Aql	A1.7	7550	7000	9100	9600	9350	[26, 44]
201601	γ Equ	A7.4	6350	6800	7750	8300	8000	[21]
204441	—	A1.8	8750	—	10700	—	10700	[45]

№ по HD	Название звезды	Sp (K)	T_v (°K)	T_{ii} (°K)	$T'_{эфф} (T_v)$	$T'_{эфф} (T_{ii})$	$T''_{эфф}$	Источник значений T_v, T_{ii}
Металлические звезды								
12869	α Ari	A7.5	6700	6500	8100	8000	8050	[26]
18769	49 Ari	A7.2	6600	6600	8050	8100	8100	[26]
27962	68 Tau	A2.7	7750	6600	9600	8900	9500	[26, 35]
78362	τ UMa	F2.0	5600	—	6600	—	6600	[34]
107768	8 Com	F0.8	6480	—	7650	—	7650	[46]
173648	ζ Lyr A	A7.9	6200	7100	7300	8500	7900	[26]
189849	15 Vul	F0.8	6700	—	7950	—	7950	[35, 46]
197461	δ Del	A7.2	6600	6600	8050	8100	8700	[26]
198749	μ Aqr	F0.4	6600	6000	7850	7100	7500	[26]
221675	14 Psc	F0.1	7500	6000	9000	7250	8100	[26]

пример (\bar{T}_v (Fe), \bar{T}_v) или (T_{ii} (Fe), T_{ii}), где \bar{T}_v и \bar{T}_{ii} — средние температуры по всем элементам. Графики (T_v , Sp) и (T_{ii} , Sp) строились нами с использованием значений температур из работ [18, 21, 26, 28—46] (см. рис. 3).

Для нормальных звезд взяты спектральные классы в системе МК, для пекулярных и металлических — количественные (табл. 5 и 6).

На рис. 3 сплошной линией проведена средняя кривая для нормальных звезд;

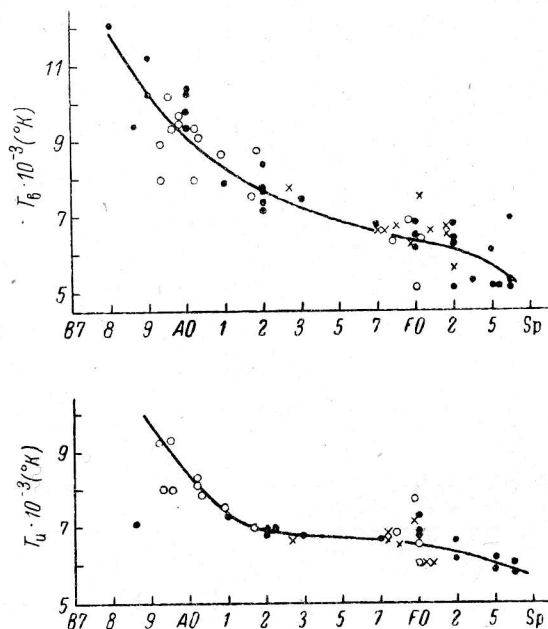


Рис. 3. Зависимости температур возбуждения (T_v) и ионизации (T_{ii}) от спектрального класса (Sp) для нормальных, пекулярных и металлических звезд.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

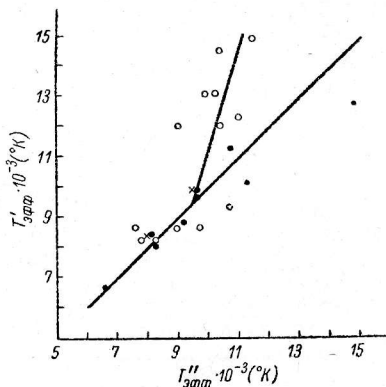


Рис. 4. Сопоставление эффективных температур, полученных по непрерывному спектру ($T'_{эфф}$) и по спектральным линиям методом кривых роста ($T''_{эфф}$) для нормальных, пекулярных и металлических звезд.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

хорошо видно, что пекулярные и металлические звезды также расположены симметрично относительно этой кривой. Это еще раз подтверждает наш вывод о том, что Sp (K) для пекулярных и металлических звезд близки Sp (МК) для нормальных звезд и что соотношения $T_v/T'_{эфф}$ и $T_{ii}/T''_{эфф}$ у них не нарушены. Пользуясь этими соотношениями для нормальных звезд, можно получить эффективные температуры для пекулярных и ме-

таллических звезд еще одним способом и проконтролировать взаимно обе системы. В случае нормальных соотношений $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T'_{эфф}$ и отсутствия аномалий в распределении энергии по непрерывному спектру системы температур, полученных обоими способами, должны совпасть.

ТАБЛИЦА 7
Соотношения $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T'_{эфф}$ для нормальных звезд

Sp	$T_v/T'_{эфф}$	$T_u/T'_{эфф}$	Sp	$T_v/T'_{эфф}$	$T_u/T'_{эфф}$
B8	0.94	0.87	A3	0.81	0.75
B9	0.91	0.82	A5	0.81	0.78
A0	0.88	0.79	A7	0.82	0.81
A1	0.85	0.74	F0	0.83	0.83
A2	0.82	0.73	F2	0.85	0.86

Используя температуры возбуждения и ионизации, мы получили эффективные температуры $T''_{эфф}$ пекулярных и металлических звезд по соотношениям $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T'_{эфф}$ для нормальных звезд (табл. 7). Сопоставление температур $T''_{эфф}$ и $T'_{эфф}$, приведенное на рис. 4 для нормальных и исследуемых звезд, показывает, что эффективные температуры, полученные по непрерывному спектру ($T'_{эфф}$) и по спектральным линиям ($T''_{эфф}$),

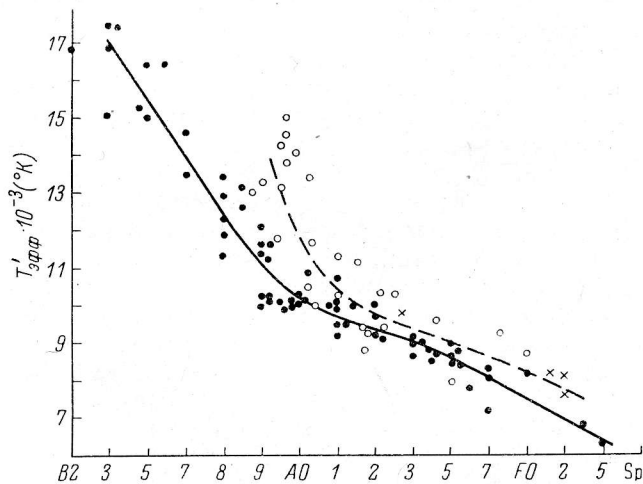


Рис. 5. Сопоставление эффективных температур, полученных по непрерывному спектру ($T'_{эфф}$), со спектральными классами (Sp) для нормальных, пекулярных и металлических звезд.

Обозначения те же, что и на рис. 1.

у пекулярных и металлических звезд не совпадают, причем $T'_{эфф} > T''_{эфф}$. Это различие растет с увеличением температуры. Аналогичный результат получается, если сопоставить $T'_{эфф}$ со спектральными классами (рис. 5, где Sp нормальных звезд взяты в системе МК, а для пекулярных и металлических использованы Sp (K)). Средняя (штриховая) кривая для пекулярных и металлических звезд сдвинута относительно средней (сплошной) кривой для нормальных звезд. Максимальное отклонение наблюдается в области высоких и низких температур. Таким образом, в отличие от

нормальных звезд эффективные температуры пекулярных и металлических звезд, полученные по характеристикам, зависящим в основном от состояния водорода, оказываются более высокими, чем эффективные температуры, полученные по металлическим линиям. Эти различия могут получаться как в результате избыточного содержания Fe, Ti и недостатка He в атмосферах пекулярных и металлических звезд, отчего Sp (K) сдвинется в сторону поздних типов, так и в результате физических различий в атмосферах сравниваемых звезд, о чем будет сказано далее.

§ 5. ЛИНИЯ ГЕЛИЯ

В [26] обсуждался вопрос о влиянии аномального содержания Fe на Sp (K) и было показано, что возможен сдвиг количественных спектральных классов на величину порядка +0.5 подкласса. Имея в своем распоряжении значительное число звезд с известными эффективными температурами, мы исследовали линии гелия с целью изучения также и влияния аномального содержания He на Sp (K). Кроме того, вопрос о соответствии интенсивности линий He эффективной температуре или показателям цвета имеет и самостоятельное значение, так как распределение энергии в непрерывном спектре звезд Ar может быть искажено влиянием аномального химического состава (особенно в отношении Si) и аномальной структуры атмосфер.

Изучению гелиевого спектра посвящено сравнительно небольшое количество работ. В своем общем обзоре результатов исследований Ar-звезд Хак [47, 48] отметила, что хотя в самых горячих из них цветовые температуры и интенсивности водородных линий соответствуют спектральному классу B5, эти звезды были классифицированы как B8—B9 из-за ослабленности линий гелия по сравнению с нормальными звездами того же цвета. Саргент [49], суммируя сведения о химическом составе звезд Ar различных типов, обнаружил у звезд групп $\lambda 4200$ Si II и Si—Eu—Cr большой дефицит He. Разные звезды Mn-группы показывают как нормальное, так и пониженное содержание гелия. В остальных группах температуры слишком низки для того, чтобы в их спектрах имелись линии He, и делать какие-либо выводы о его содержании трудно. Сирл и Саргент [9] изучили поведение линий He I в 31 пекулярной звезде. Оказалось, что линия $\lambda 4471$ у звезд группы $\lambda 4200$ Si II гораздо слабее, чем у нормальных звезд того же цвета. По оценкам авторов содержание гелия в этих звездах понижено в 5—10 раз, а в ряде случаев — в 10—100 раз. Результаты Леушина [27] показывают ослабление гелиевого спектра почти у всех горячих звезд, особенно в группах Si, $\lambda 4200$ Si II и Mn-звездах. Некоторые наблюдательные факты приводят к предположению о пятнистости в распределении гелия по поверхности ряда пекулярных звезд [50, 51], причем имеются звезды, у которых есть области как с нормальным, так и с пониженным в 10 раз содержанием гелия.

Мы построили зависимости эквивалентных ширин наименее блендированных линий гелия $\lambda 4471$ и $\lambda 4026 \text{ \AA}$ от $T'_{\text{эфф}}$ для нормальных и пекулярных звезд (рис. 6) по данным [9, 27]. В тех случаях, когда $T'_{\text{эфф}}$ были неизвестны, мы находили их с помощью рис. 4, используя показатели цвета. Из рассмотрения рис. 6 видно, что линии He ослаблены у пекулярных звезд по сравнению с нормальными звездами той же температуры. Ясно, что использование линий гелия в качестве критерия спектральной классификации дает сдвиг спектральных классов на рис. 5. Но этот эффект может быть результатом не только ослабления линий гелия, но и аномально повышенных $T'_{\text{эфф}}$. Кстати, имеются признаки того, что эти температуры аномально высоки. Так, у четырех звезд с наибольшими

$T'_{эфф}$ — 56 Ari (15 000°), α And (14 550°), 41 Tau (14 300°) и 4 Cyg (14 100°) — температуры соответствуют спектральным классам В5—В7. При этом в спектрах должны появляться линии таких высоко возбужденных ионов, как O II, N II, Si III, а их нет. Линии ионов, представленные

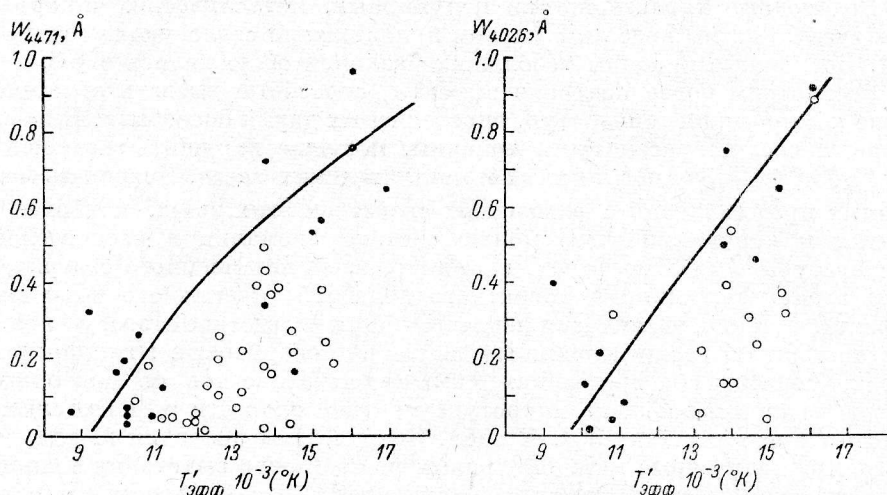


Рис. 6. Зависимости эквивалентных ширин от эффективной температуры ($T'_{эфф}$) для линий He $\lambda\lambda$ 4471 и 4026 Å нормальных и пекулярных звезд. Обозначения те же, что и на рис. 1.

в спектрах этих и других подобных звезд, соответствуют более низким температурам, чем те, которые получают по распределению энергии в непрерывном спектре и по водородным линиям. Аномальное повышение величин $T'_{эфф}$ может быть результатом систематических ошибок как при измерениях, так и при редукции, а также из-за неучета влияния особенностей строения атмосфер, аномалий химического состава и др. (см. § 6).

§ 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

На основании результатов, изложенных в предыдущих параграфах, можно сформулировать следующие основные выводы.

1. Эффективные температуры $T'_{эфф}$ пекулярных и металлических звезд, определенные по распределению энергии в непрерывных спектрах, в среднем хорошо согласуются с показателями цвета в системе UBV , т. е. соотношение между этими величинами такое же, как и у нормальных звезд. Значительные отклонения от нормального соотношения $T'_{эфф}$ и показателей цвета у отдельных звезд могут быть результатом как ошибок измерений, так и особенностей в распределении энергии.

2. Контуры водородных линий звезд Ap, Am и нормальных при одной и той же температуре $T'_{эфф}$ в первом приближении совпадают. Наблюдаются небольшие различия в области высоких температур, где исследуемые звезды имеют в среднем более узкие линии, и в области низких температур, где крылья их шире нормальных.

3. Эффективные температуры $T''_{эфф}$ пекулярных и металлических звезд, полученные по температурам возбуждения $T'_в$ и ионизации $T'_и$ с помощью соотношений $T'_в/T'_{эфф}$ и $T'_и/T'_{эфф}$ для нормальных звезд, не совпадают с $T'_{эфф}$, причем $T'_{эфф} > T''_{эфф}$. Это различие растет с увеличением температуры.

4. Линии гелия ослаблены у пекулярных звезд по сравнению с нормальными звездами той же $T'_{эфф}$, их интенсивности больше соответствуют интенсивностям линий гелия у нормальных звезд той же $T''_{эфф}$, полученной по линиям металлов.

Водородные характеристики пекулярных, металлических и нормальных звезд, как мы видели, в первом приближении согласуются между собой. Возможные причины небольших различий обсуждались в § 3.

Рассмотрим более подробно эффекты, способные вызвать отмеченные выше расхождения температур, определяемых двумя способами. В первую очередь, следует рассмотреть причины, могущие нарушить соотношения $T'_в/T'_{эфф}$ и $T'_н/T'_{эфф}$ у пекулярных и металлических звезд. Исходя из современных представлений о физических свойствах этих звезд, наиболее вероятными причинами этого можно считать аномалии в распределении температуры в их атмосферах, например, из-за повышенного содержания ряда элементов, влияния магнитного поля [25] и сильного покровного эффекта, а также увеличения непрозрачности вследствие этого, и влияния «пятнистости» в распределении элементов по поверхности. Игнорирование неравномерности распределения химических элементов по поверхности звезды ведет к недооценке микротурбулентной скорости v_t , определяемой методом кривых роста [36]. В табл. 8 приведены значения v_t для ряда звезд Ар, полученные методом кривых роста (после вычитания тепловых скоростей по известной формуле). Можно видеть, что скорости микротурбулентности многих Ар-звезд исключительно малы, тогда как нормальные звезды тех же температур имеют $v_t = 2-4$ км/сек. (в среднем разница в смещении кривых роста по вертикальной оси равна 0.1). Одной из причин этого, если не единственной, является, вероятно, «пятнистость».

ТАБЛИЦА 8
Микротурбулентные скорости пекулярных и нормальных звезд

Звезда	v_t	Звезда	v_t	Звезда	v_t	Звезда	v_t
Пекулярные				Нормальные			
21 Per	0	ι CrB	2.0	HD 153882	2.6	γ Crv	3.0
41 Tau	0.4	μ Lep	0.3	63 And	1.6	γ Gem	3.0
ι Cas	1.4	137 Tau	1.2	γ Equ	2.4	η Vir	2.3
10 Aql	2.1	HD 188041	2.4	4 Cug	0	HD 25291	3.9

В [36] делается вывод о том, что соотношение интенсивностей линий при наличии «пятен» не изменится и, следовательно, температуры возбуждения и ионизации при использовании формул Больцмана и Саха будут правильными. Но это справедливо лишь в том случае, если кривые роста строятся по каждому элементу отдельно. Обычно же, из-за недостаточного количества линий, строят средние кривые роста по всем элементам или, в лучшем случае, отдельно по нейтральным и по ионизованным элементам. Наибольший вес при построении кривых роста падает на Fe, так как его линии наиболее многочисленны и силы осцилляторов наиболее точны. Железо, как правило, распределено по поверхности пекулярных звезд равномернее других элементов, и поэтому параметры, полученные по тем элементам, которые располагаются пятнами, будут иметь ошибки. Для оценки влияния этого эффекта на температуры возбуждения мы определили $T'_в$ по средней кривой роста, а также по кривой, сдвинутой по вертикали на величину +0.1 (предполагая отсутствие пятнистости). В первом случае $T'_в = 5700^\circ$, во втором $T'_в = 4600^\circ$. Это, конечно, предельный случай, но он позволяет сделать заключение, что эффект «пятнистости» играет важную роль и заметно влияет на полу-

чаемые результаты. Чем меньшую площадь занимает данный элемент на поверхности звезды, тем меньшие значения T_v будут получаться по этому элементу. На определение температур ионизации «пятнистость», по-видимому, влияет меньше. В [26] приведены кривые зависимости T_v от спектрального класса для ряда элементов, из которых, в частности, видно, что T_v , полученные по Fe, у пекулярных звезд выше, чем у нормальных того же спектрального класса. Многие другие элементы такого различия не дают. Если учесть рассмотренный эффект, то температуры T_v пекулярных звезд увеличатся и на рис. 3 эти звезды окажутся выше нормальных. Соотношения $T_v/T'_{эфф}$ и $T_u/T''_{эфф}$ для нормальных звезд применять без соответствующей коррекции к звездам Ar и Am, может быть, нет оснований. Следует также иметь в виду, что точность определения температур методом кривых роста у звезд более раннего спектрального класса, чем АО, резко уменьшается из-за малого количества линий и их ослабленности. Возможно также, что экстраполяция кривых зависимости T_v и T_u от Sp в сторону ранних спектральных классов для ряда элементов, к которой мы вынуждены были прибегнуть в [26], является лишь грубым приближением. Следовательно, надежны определения средних температур только для звезд более позднего спектрального класса, чем АО. Вероятно, учет влияния «пятнистости» на T_v и T_u также приведет к сдвигу пекулярных звезд относительно нормальных на рис. 3.

Рассмотрим теперь влияние аномалий химического состава. Избыток содержания многих элементов в атмосферах Ar- и Am-звезд приводит к усилению покровного эффекта по сравнению с нормальными звездами той же температуры. Слои атмосферы, в которых образуются спектральные линии, становятся менее прозрачными в частотах этих линий, экранируя выходящий поток энергии. Нижележащие слои вследствие этого перегреваются, а вышележащие охлаждаются. Так как непрерывный спектр и крылья водородных линий образуются в среднем глубже, чем металлический спектр, то должна возникнуть разница между $T'_{эфф}$ и $T''_{эфф}$. Если η — коэффициент блокирования, то

$$T_{эфф1}^4 = (1 - \eta) T_{эфф2}^4,$$

где $T_{эфф2}$ — измеренная по непрерывному спектру температура звезды, имеющей покровной эффект, и $T_{эфф1}$ — температура той же звезды при отсутствии спектральных линий [14]. Блокирование излучения у звезд Ar и Am позднего типа может достигать величины $\eta = 0.15 - 0.20$. Следовательно, у звезды с $T_{эфф2} = 7000^\circ$ величина $T_{эфф1}$ будет составлять 6600° . С другой стороны, температуры, определенные по линиям металлов, будут меньше $T_{эфф1}$ (из-за переохлаждения верхних слоев), поэтому различие между $T'_{эфф}$ и $T''_{эфф}$ увеличится еще больше. Спектральные классы, полученные по интенсивностям линий, также будут более поздними. Таким образом, из-за наличия покровного эффекта $T'_{эфф}$ не будет равна истинному значению эффективной температуры в соответствии с известной формулой

$$\sigma T_{эфф1}^4 = 4\pi \int_0^\infty B_\lambda d\lambda.$$

Всегда $T'_{эфф} > T_{эфф1}$ и $T''_{эфф} < T_{эфф1}$. Температуры $T'_{эфф}$ и $T''_{эфф}$ должны быть близкими у звезд более ранних спектральных классов, чем АО, у которых покровной эффект невелик. Однако сильный избыток кремния и других металлов, а также аномальная структура атмосфер из-за силь-

ного магнитного давления [25] у пекулярных звезд ранних классов могут привести к сохранению неравенства $T'_{эфф}$ и $T''_{эфф}$, так как величина бальмеровского скачка и интенсивность водородных линий уменьшаются в результате дополнительного непрерывного поглощения вследствие первой причины [24] и уменьшенного температурного градиента вследствие второй [25, 52, 53]. Изменение распределения энергии в непрерывном спектре должно фиктивно повышать определяемую температуру. Согласно данным работ [22, 23, 25], уменьшение бальмеровского скачка и интенсивностей

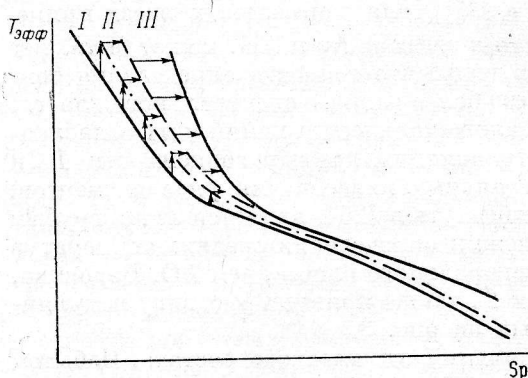


Рис. 7. Схема, показывающая влияние различных факторов на шкалу эффективных температур пекулярных и металлических звезд.

I — влияние перегрева внутренних слоев, избытка кремния и уменьшенного температурного градиента; II — влияние на Sp (K) переохлаждения верхних слоев и избытка Fe; III — влияние дефицита He.

увеличенного покровного эффекта, влияния избытка кремния и других металлов и магнитного поля на распределение энергии в непрерывном спектре.

б) Количественные спектральные классы, определяемые по интенсивностям линий He, Fe и Ti, получаются более поздними, по-видимому, из-за влияния покровного эффекта на температуру внешних слоев, а также из-за аномального содержания гелия.

в) Температуры возбуждения, найденные методом кривых роста, занижены, вероятно, из-за влияния «пятнистости» в распределении химических элементов по поверхности звезды, а также в результате переохлаждения верхних слоев вследствие увеличенного содержания большинства элементов.

На рис. 7 схематически показано влияние рассмотренных выше факторов на шкалу эффективных температур пекулярных и металлических звезд.

Несмотря на отмечавшиеся выше недостатки, количественные спектральные классы и эффективные температуры $T'_{эфф}$ (или показатели цвета в системе *UBV*) наиболее надежно характеризуют истинную температуру пекулярных и металлических звезд.

Литература

1. S. C. Wolf, L. V. Kuhl, D. Hayes, *Astrophys. J.*, 152, 871, 1968.
2. J. B. Oke, *Astrophys. J.*, 140, 689, 1964.
3. D. Mihalas, *Astrophys. J. Suppl.*, 13, I, 1966.
4. S. E. Strom, E. H. Arvett, *Astrophys. J. Suppl.*, 12, I, 1965.
5. I. Jugaku, W. L. Sargent, *Astrophys. J.*, 151, 259, 1968.
6. S. C. Wolf, *Astrophys. J.*, 15, 21, 1967.

7. V. Baschek, J. B. Oke, *Astrophys. J.*, **141**, 1404, 1965.
8. C. I. Durrant, *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, **147**, No. 1, 59, 1970.
9. L. Searle, W. L. Sargent, *Astrophys. J.*, **139**, 793, 1964.
10. R. C. Bless, *Astrophys. J.*, **132**, 532, 1960.
11. D. Mihalas, J. Henshaw, *Astrophys. J.*, **144**, 25, 1966.
12. C. Megessier, *Astron. Astrophys.*, **10**, No. 3, 332, 1971.
13. K. Osawa, *Ann. Tokyo Astron. Obs.*, **9**, No. 3, 123, 1965.
14. R. L. Wildey et al., *Astrophys. J.*, **135**, 94, 1962.
15. M. Jaschek, C. Jaschek, *Z. Astrophys.*, **45**, 35, 1958.
16. O. J. Eggen, in: *The Magnetic and Related Stars*. Mono Book Corp., Baltimore, 1967, p. 141.
17. И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **23**, 148, 1960.
18. P. A. Strittmatter, W. L. Sargent, *Astrophys. J.*, **145**, 130, 1966.
19. Д. Л. Гринштейн, в кн. «Звездные атмосферы» ИЛ, М., 1963, стр. 283.
20. I. R. W. Heintze, *Bull. Astron. Inst. Neth.*, **20**, No. 1, 1, 1968.
21. M. Hack, *Mem. Soc. Astron. Ital.*, **31**, No. 2/3, 279, 1960.
22. S. E. Strom, K. M. Strom, *Astrophys. J.*, **155**, 17, 1969.
23. M. Hack, O. Struve. *Stellar spectroscopy. Peculiar Stars*. Published by Oss. Astron. di Trieste, 1970, p. 227.
24. D. M. Peterson, *Astrophys. J.*, **161**, 685, 1970.
25. J. D. Trasco, *Astrophys. J.*, **161**, 633, 1970.
26. Ю. В. Глаголевский и др., *Астрон. ж.*, **48**, вып. 5, 958, 1971.
27. В. В. Леушин. Кандидатская диссертация, 1970.
28. J. Jugaku, W. L. Sargent, *Astrophys. J.*, **134**, 783, 1961.
29. Т. С. Галкина, И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **28**, 35, 1962.
30. Э. А. Витриченко, И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **27**, 241, 1962.
31. М. Е. Боярчук, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **28**, 94, 1962.
32. М. А. Киппер, Т. А. Киппер, *Астрофизика*, **4**, вып. 2, 303, 1968.
33. Т. А. Киппер, *Астрофизика*, **3**, вып. 3, 398, 1967.
34. I. L. Greenstein, *Astrophys. J.*, **107**, 151, 1948.
35. K. O. Wright, in: *The Magnetic and Related Stars*. Mono Book Corp., Baltimore, 1967, p. 413.
36. В. Л. Хохлова, С. Алиев, В. М. Руденко, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **40**, 65, 1969.
37. V. N. G. Guthrie, *Publ. Roy. Obs. Edinburgh*, **5**, 181, 1966.
38. V. N. G. Guthrie, *Publ. Roy. Obs. Edinburgh*, **6**, 1, 1966.
39. В. В. Леушин, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **34**, 151, 1965.
40. G. R. Burbidge, E. M. Burbidge, *Astrophys. J. Suppl.*, **1**, 431, 1966.
41. E. M. Burbidge, G. R. Burbidge, *Astrophys. J.*, **122**, 396, 1955.
42. M. Hack, *Pubbl. Oss. Astron. Trieste*, No. 367, 1, 1967.
43. G. W. Preston, *Astrophys. J.*, **134**, 797, 1961.
44. L. Auer, *Astrophys. J.*, **139**, 1148, 1964.
45. W. L. Sargent, K. M. Strom, S. E. Strom, *Astrophys. J.*, **157**, 1265, 1969.
46. G. Michalica et al. *Astrophys. J.*, **124**, 134, 1956.
47. M. Hack, *Sky Telesc.*, **36**, No. 1, 1968.
48. M. Hack, *Sky Telesc.*, **36**, No. 2, 1968.
49. L. Sargent, *Ann. Rev. Astron. Astrophys.*, **2**, 279, 1964.
50. V. Peterson, *Astrophys. J.*, **145**, 735, 1966.
51. В. Л. Хохлова, *Астрон. ж.*, **47**, 132, 1970.
52. Ю. В. Глаголевский, *Астрон. ж.*, **43**, 73, 1966.
53. В. М. Лябин, *Астрон. ж.*, **44**, 1224, 1967.

Ноябрь 1971 г.