

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АТМОСФЕР В- И А-ЗВЕЗД МЕТОДОМ БАЛЬМЕРОВСКИХ ИНДЕКСОВ

С. А. Гуляев, В. Е. Панчук, С. Г. Пяткес

На телескопах БТА и Цейс-600 получены спектры (28 Å/мм) и выполнена спектрофотометрия 57 ярких звезд спектральных классов В и А. При помощи нового метода бальмеровских индексов определены эффективные температуры T_e и ускорения силы тяжести g в атмосферах этих звезд. Внутренняя точность метода высока ($\Delta T_e = \pm 200$ К, $\Delta \lg g = \pm 0.1$), определения эффективной температуры соответствуют калибровке Копылова. Выявлено систематическое расхождение $\lg g$, определенных методом бальмеровских индексов (по виду непрерывного спектра в области бальмеровского скачка) и по эквивалентным ширинам начальных членов серии Бальмера. Обсуждаются возможные причины этого расхождения.

Spectra (28 Å/mm) have been obtained with the telescopes BTA and Zeiss-600 and spectrophotometry has been performed for 57 bright stars of B and A spectral classes. With the help of a new method of Balmer indices effective temperatures T_e and gravities g in the atmospheres of these stars have been determined. The internal accuracy of the method is high, the effective temperature determinations agree with the calibration by Kopylov. Systematic discrepancy in $\lg g$ found by the method of Balmer indices (from the features of the continuous spectrum in the region of the Balmer jump), and from the equivalent widths of the first members of the Balmer series is revealed. Possible reasons for this discrepancy is discussed.

При количественном анализе звездных спектров задачей первостепенной важности считается определение на основе наблюдательных данных эффективной температуры T_e и ускорения силы тяжести на поверхности звезды g — параметров, являющихся входными при расчетах моделей звездных атмосфер. К настоящему времени разработана совокупность фотометрических и спектроскопических методов определения этих параметров. Существует две разновидности ошибок определения T_e и g : систематические различия, связанные с невозможностью согласованного описания различных спектральных и фотометрических критериев одной моделью атмосферы, и случайные, связанные с точностью и степенью теоретического описания применяемого метода. При анализе химического состава звездных атмосфер нежелательно использовать для определения T_e и g критерии, чувствительные к химическому составу. Число свободных от влияния химического состава критериев невелико, что в значительной степени определяет недостаточную для решения большинства задач точность определения параметров T_e и g ($\Delta T_e = 1000 \div 2000$ К, $\Delta \lg g = 0.3 \div 0.5$). Например, при ошибке определения $\Delta T_e = 2000$ К (скажем, 18 000 вместо 20 000 К) неопределенность в координате точки поворота горячих звезд от главной последовательности влечет за собой большую ошибку в определении возраста скопления (в данном примере 18 вместо 9 млн. лет) [1]. Для пекулярных звезд типов A_p и A_m ошибки могут быть еще больше, что связано как с особенностями химического состава атмосфер этих звезд, так и с применением неадекватных моделей атмосфер (при решении уравнения переноса не учитывается химическая неоднородность атмосферы и влияние магнитных полей на уширение линий, в том числе и водородных).

В работе [2] был предложен новый метод определения T_e и g для горячих звезд по виду спектра вблизи бальмеровского скачка. Метод назван методом «бальмеровских индексов» (БИ), потому что из значений потоков в трех точках непрерывного спектра (3687, 3812, 3862 Å), по-разному чувствительных к T_e и g , составляются комбинации (бальмеровские индексы):

$$K = [H(3812) + H(3687)]/H(3862); \quad M = \frac{H(3862) - H(3687)}{H(3862) + H(3687)};$$

$$L = \frac{H(3812) - H(3687)}{H(3812) + H(3687)}; \quad N = [H(3862) - H(3812)]/H(3687).$$

Они достаточно устойчивы к изменению химического состава. Так, например, неучет десятикратного дефицита гелия в атмосфере звезды приводит к ошибке в определении T_e порядка 200—300 К, а в $\lg g$ — 0.1 dex. Получая бальмеровские индексы из наблюдений и нанося их на диаграмму $T_e - \lg g$, можно определить T_e и g звездной атмосферы.

В работе [2] были определены бальмеровские индексы, а затем T_e и g для 73 ярких звезд. Для получения теоретических зависимостей бальмеровских индексов от T_e и g в [2] были использованы спектры, рассчитанные в [3].

В настоящей работе для определения T_e и g методом БИ использованы более точные теоретические спектры [4], при расчете которых в программе SAM Куруча было сделано следующее изменение. Вместо критерия Инглиса—Теллера

$$n_{lim} = 1100N_e^{-2/15}, \quad (1)$$

который ошибочно применяется в [3] для определения самого высокого связанного состояния атома водорода n_{lim} , в [4] использована формула Колесова [5]

$$n_{lim} = 3800N_e^{-1/15}, \quad (2)$$

где N_e — электронная концентрация плазмы. Действительно, критерий Инглиса—Теллера — это лишь спектральный критерий, позволяющий определить номер последней линии серии, еще различимой на спектрограмме. Более высокие члены серии [предельный определяется формулой (2)] сливаются в бленду и вносят существенный вклад в коэффициент поглощения вблизи бальмеровского предела. В [3] этот вклад не учитывается.

В данной работе с использованием результатов [4] определены T_e и g для 57 горячих звезд. Кроме метода БИ для этих же звезд T_e и g определены при помощи других спектроскопических методов: по эквивалентным ширинам линий бальмеровской серии (H_γ и H_δ), по форме профиля этих линий (ширине $\Delta\lambda$ на разных уровнях интенсивности), по величине бальмеровского скачка. Проведено сравнение результатов, полученных разными методами.

Наблюдения и обработка. Наблюдательный материал был получен при помощи универсального астрономического дифракционного спектрографа UAGS, установленного на телескопе Цейс-600 в САО АН СССР. Использовалась камера с фокусным расстоянием 175 мм, дифракционная решетка 625 штр/мм с углом блеска $25^\circ 9'$, рабочий угол $48^\circ 5'$. Спектрограммы получены в третьем порядке с обратной дисперсией 29 Å/мм; фотоэмульсии Kodak 103aO и Kodak ПаО. Были также использованы спектрограммы, полученные на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа (камера № 2 с фокусным расстоянием 600 мм, дифракционная решетка 600 штр/мм с углом блеска $8^\circ 5'$, рабочий угол $0^\circ 5'$, первый порядок, дисперсия 28 Å/мм, фотоэмульсия Kodak ПаО.)

В данной работе использовано 118 спектрограмм 57 звезд. Спектрограммы обработаны на двухлучевом саморегистрирующем микрофотометре ИФО-451. После перевода плотностей в интенсивности и редукции потоков за атмосферу для каждой звезды были вычислены бальмеровские индексы K , L , M , N , измерена величина бальмеровского скачка и определены эквивалентные ширины и полуширины на заданном уровне остаточной интенсивности линий H_γ и H_δ . Процедура редукции потоков за атмосферу описана в [2].

Данные измерений сведены в табл. 1. В колонке 1 — номер звезды по каталогу HD, 2 — спектральный класс по классификации Копылова [6, 7] или МКК [8]. В колонках 3—6 — значения бальмеровских индексов K , L , M , N соответственно. Эти значения несколько отличаются от приведенных в [2], так как здесь мы более корректно выполнили процедуру определения потоков на границе атмосферы Земли. В колонке 7 приведена эквивалентная ширина линии H_γ в Å, 8 — полуширины $\Delta\lambda$ этой линии на уровне остаточной интен-

ТАБЛИЦА 1
Спектральные характеристики звезд программы

HD	Sp	Бальмеровские индексы				H _γ		H _δ		D	Число спектрограмм
		K	L	M	N	W	Δλ _{0.8}	W	Δλ _{0.8}		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
886	B2.50I	1.76	0.08	0.11	0.06	4.3	3.2	3.8	3.4	0.13	4
3360	B2.40	1.83	0.06	0.08	0.03	3.7	2.2	3.3	3.0	0.14	2
6811	B7.20	1.44	0.33	0.35	0.08	7.0	6.0	7.3	6.0	0.30	1
11415	B2.90I	1.67	0.16	0.18	0.03	4.8	3.0	5.0	4.8	0.21	1
11636	A3.40	1.13	0.40	0.49	0.63	10.6	11.1	12.1	15.0	0.44	4
13161	A5III	1.10	0.44	0.49	0.60	14.3	13.6	15.2	13.3	0.45	3
16970	A2.70	1.19	0.40	0.48	0.46	13.3	16.1	12.6	16.0	0.50	1
17573	B8.00	1.33	0.21	0.31	0.37	10.2	9.0	10.3	10.0	0.34	1
20365	B5	1.55	0.18	0.23	0.13			5.5	5.0	0.12	2
21278	B3	1.53	0.17	0.22	0.17	5.4	5.2	5.5	4.4	0.16	1
21428	B5.00	1.69	0.14	0.16	0.06	7.1	3.2	7.5	4.0	0.13	1
21551	B8I	1.43	0.30	0.36	0.28	8.0		10.3		0.40	2
23288	B7.00IV	1.27	0.34	0.41	0.36					0.33	1
23408	B6.00III	1.41	0.33	0.36	0.14					0.29	1
24760	B0.50V	1.80	0.05	0.08	0.07					0.04	6
27962	A2.00IV	1.21	0.35	0.44	0.47					0.51	1
137422	A3.00III	1.24	0.50	0.56	0.24	7.8	6.8	7.2	6.6	0.55	3
139006	A0.00	1.09	0.55	0.60	0.64	12.0	12.5	12.4	11.8	0.52	3
141003	A2.40I	1.07	0.50	0.58	0.73	12.7	13.8	12.2	11.8	0.54	3
147394	B3.85I	1.64	0.18	0.18	0.04	6.5	5.4	6.2	5.5	0.24	1
148857	A1	1.10	0.51	0.57	0.60	13.2	13.9	14.3	13.7	0.63	3
149630	B9	1.35	0.41	0.43	0.13			9.9	10.0	0.41	1
153808	A0	1.24	0.47	0.52	0.27	9.1	14.0	11.3	9.0	0.46	1
156164	A3.1I	1.07	0.45	0.54	0.74	12.8	12.6	13.2	14.0	0.56	2
159561	A5.1III	1.10	0.52	0.57	0.50	13.6	13.5	14.4	11.9	0.45	2
160762	B2.85	1.75	0.15	0.16	0.01	5.1	4.4	5.2	4.8	0.19	1
161868	A0.30	1.13	0.40	0.49	0.62	14.3	13.6	16.6	12.0	0.56	2
164353	B5	1.52	0.28	0.03	0.06	2.9	2.9	3.3	3.2		1
166182	B2.00	1.71	0.14	0.15	0.02	3.3	3.6	4.0	3.4	0.13	1
172167	B9.70	1.18	0.44	0.50	0.45	12.4	11.8	13.9	12.0	0.48	13
176437	B9.10III	1.24	0.52	0.55	0.17			7.2	5.3	0.40	2
177724	B9.00	1.23	0.36	0.44	0.37					0.49	1
177756	B9	1.19	0.04	0.48	0.05	10.4	8.5	10.8	10.3	0.43	2
186882	B9.40III	1.27	0.43	0.47	0.25	9.5	7.9	10.3	10.2	0.35	1
191692	B9.00	1.24	0.48	0.52	0.33	9.1	8.0	9.1	7.8	0.46	1
195810	B6.05III	1.38	0.26	0.33	0.27	9.2	9.0			0.25	2
196867	B8.80	1.27	0.38	0.43	0.33	10.3	10.0	10.3	9.1	0.41	2
202850	B9Iab	1.27	0.45	0.48	0.22	9.7	7.2	8.5	7.8	0.26	1
207330	B2.80III	1.79	0.09	0.10	0.02	3.3	2.7	3.7	3.7	0.15	1
210418	A2.00	1.14	0.38	0.48	0.60	17.0	14.0	19.7	14.0	0.58	1
213998	B8	1.44	0.32	0.35	0.11	9.0	5.0	9.6	9.3	0.48	3
214923	B8.50	1.33	0.42	0.44	0.25	8.8	8.0	10.6	7.0	0.38	2
217765	B6p	1.56	0.20	0.23	0.06	6.5		7.5		0.24	1
218045	B9.50III	1.23	0.38	0.45	0.41	11.7	10.3	13.3	10.0	0.45	1
222173	B8.20	1.41	0.27	0.32	0.20	8.8	6.2	8.5	6.6	0.38	3

сивности $r=0.8$. В колонках 9 и 10 приведены соответственно эти же величины, определенные для линии H_{δ} ; все измерения W и $\Delta\lambda$ даны в ангстремах. В колонке 11 приведена величина бальмеровского скачка в долях звездной величины, 12 — число спектрограмм, по которым проводилось усреднение всех данных, приведенных в колонках 3—11.

На рис. 1 по данным табл. 1 построены диаграммы $T_e - \lg g$ для каждой звезды программы. Предварительно на основании теоретических спектров [3] определены функциональные зависимости $W(T_e, g)$, $\Delta\lambda_{0.8}(T_e, g)$ и $D(T_e, g)$. Зависимость бальмеровских индексов от T_e и g заимствована из [4].

Результаты. В табл. 2 приведены значения T_e , определенные для программных звезд методом БИ (колонка 2) и по величине бальмеровского скачка (колонка 3). В колонке 4 даны значения $\lg g$, полученные методом БИ, в колон-

ках 5 и 6 — $\lg g$, определенные по наблюдаемым эквивалентным ширинам линий H_γ и H_δ . В этом случае для определения $\lg g$ использована функциональная зависимость $W(T_e, g)$, построенная по данным работы [3], в которую мы входим с наблюдаемыми W и с эффективной температурой, определенной методом БИ.

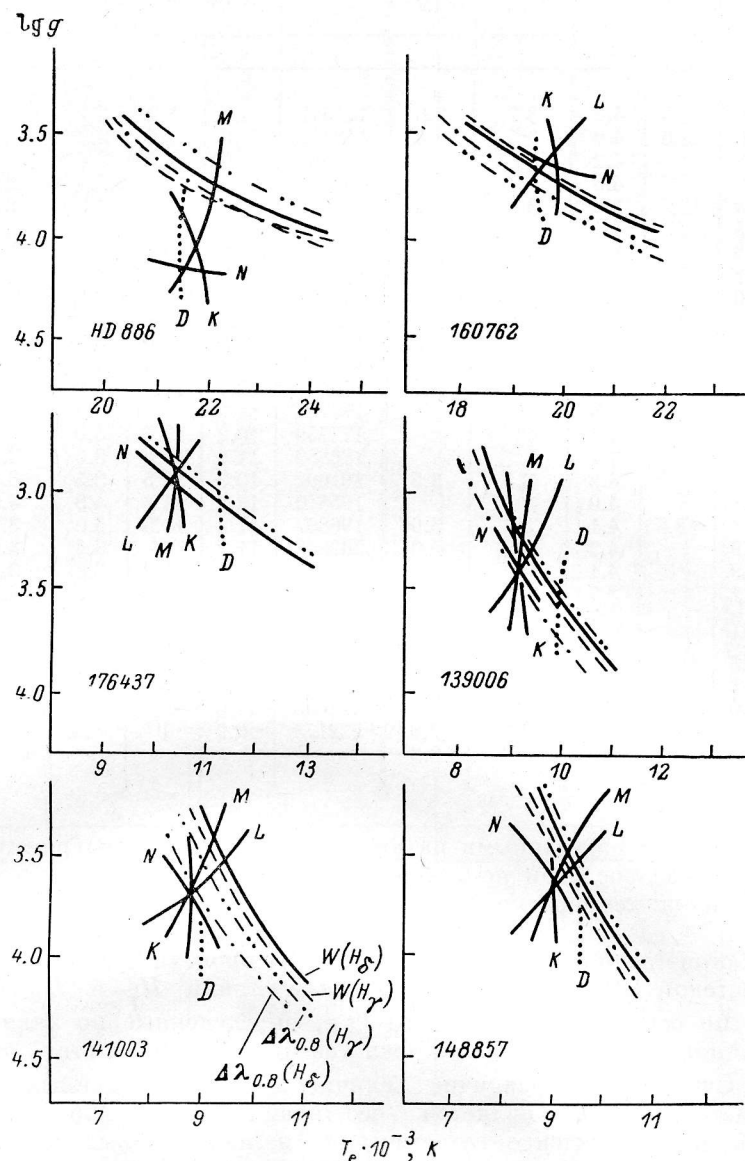


Рис. 1. Диаграммы T_e — $\lg g$ для избранных звезд программы.

Как видно из рис. 2, где проведено сравнение T_e , определенных методом БИ и по калибровке Копылова [9], метод БИ находится в хорошем согласии с калибровкой [9]. Этот результат может быть представлен также в виде диаграммы T_e — Sp (рис. 3). Сравнение рис. 3 с аналогичной диаграммой из работы [2] показывает, что после исправлений [4], внесенных в алгоритм Куруча, метод БИ позволяет уверенно определять эффективные температуры горячих звезд.

Бальмеровский скачок определяется по спектрограммам весьма неуверенно ($\Delta D = \pm 0.03$), что приводит к заметным ошибкам определения T_e по величине бальмеровского скачка ($\Delta T_e = 1000 \div 2000$ К). Поэтому определенные этим

ТАБЛИЦА 2

Определение T_e и $\lg g$ программных звезд различными методами

HD	$T_e, 10^3 \text{ K}$		$\lg g$			HD	$T_e, 10^3 \text{ K}$		$\lg g$		
	По БИ	По D	По БИ	По $W(H_\gamma)$	По $W(H_\delta)$		По БИ	По D	По БИ	По $W(H_\gamma)$	По $W(H_\delta)$
1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
886	21.9	21.5	4.2	3.7	3.6	147547	8.9	8.2	3.7		
3360	22.2	22.0	4.0	3.5	3.4	148857	9.0	9.5	3.7	3.3	3.1
4180	18.6		4.2			149630	12.0	11.5	3.4		3.6
4727	19.0		4.3			153808	10.5	10.5	3.4	3.4	3.4
6811	13.9	13.5	3.5	3.6	3.5	156164	9.0	8.5	3.9	3.2	3.0
7902	17.5		4.4			159561	9.2	10.0	3.4	3.4	3.3
8538	9.8		3.3			160762	20.0	19.5	3.6	3.7	3.7
11415	18.5	18.0	3.8	3.4	3.6	161868	10.1	9.5	3.9	3.9	3.9
11636	10.0	10.5	4.1	3.4	3.4	164353	15.0		3.5	2.5	2.6
13161	9.8	10.0	3.9	3.9	3.7	165777	9.1	9.0	3.6	3.5	3.4
16970	10.0	10.2	3.8	4.1	3.9	166182	19.8	22.0	3.9	3.2	3.4
17573	13.6	13.0	4.3	4.3	4.1	172167	10.1	10.5	3.8	3.8	3.6
20365	16.1		4.2		3.4	176437	10.2	11.5	3.0		2.6
20418	18.2		3.8			177724	11.0		3.9		
20809	17.8		4.1			177756	10.2	10.5	4.0	3.4	3.3
21071	17.9		4.1			186882	11.0	10.0	3.6	3.6	3.5
21278	17.0	18.0	4.3	3.5	3.5	191692	10.3	10.5	3.5	3.2	3.1
21362	15.1		4.0			195810	13.5	14.2	4.3	4.1	
21428	18.8	18.8	4.1	3.6	3.6	196867	11.2	11.5	4.0	3.7	3.4
21551	12.9		4.2	3.6	4.0	202850	11.1		3.4	3.5	3.1
23288	11.9		4.1			207330	21.6	21.0	3.8	3.4	3.4
23408	13.2		3.7			210418	9.7	9.0	4.0	4.1	4.1
23432	10.3		3.7			212061	11.1		3.9		
24760	24.5		4.3			213998	13.8	12.5	3.6	4.3	3.9
137422	9.8	10.0	3.3	2.8	2.5	214923	11.9	12.5	3.5	3.7	3.9
139006	9.1	10.0	3.3	3.1	3.0	217675	16.1	16.0	3.8	3.7	3.8
140436	10.0	9.0	3.2	3.2	2.9	218045	11.0	10.5	3.9	3.9	3.9
141003	9.0	9.0	3.8	3.2	2.9	222173	13.9		4.2		
147394	18.0	17.0	3.8	3.9	3.8						

методом T_e , будучи нанесенными на аналогичную рис. 2 диаграмму, показывают большой разброс. Тем не менее не обнаружено какого-либо систематического различия температур, определенных по бальмеровскому скачку и методом БИ.

Иначе обстоит дело с определением $\lg g$. Мы провели сравнение $\lg g$, определенных методом БИ и по характеристикам линий H_γ и H_δ (W и $\Delta\lambda$). На рис. 4. по оси ординат отложены $\lg g$, определенные по эквивалентным ширинам линий H_γ и H_δ , а по оси абсцисс — результат применения метода БИ. Существенное различие величин $\lg g$, определенных двумя различными методами, не является неожиданным. В работе [11] уже указывалось на расхождение теоретических и наблюдаемых эквивалентных ширин линий H_γ и H_δ для В-звезд. На рис. 5 для звезд программы сравниваются наблюдаемые и теоретические [т. е. определенные по зависимостям $W(T_e, g)$ из [3] при T_e и g , найденным с помощью метода БИ] эквивалентные ширины линий H_γ и H_δ . Аналогично построен рис. 6, где сравниваются наблюдаемые и теоретические полуширины $\Delta\lambda$ линий H_γ и H_δ . Приведенные на рис. 5 и 6 сравнения эквивалентны по смыслу рис. 4, а расхождение теоретических и наблюдаемых W и $\Delta\lambda_{0.8}$ является следствием разногласия в значениях $\lg g$, определенных по участку непрерывного спектра и по спектральным линиям.

Отмеченное разногласие в определении $\lg g$ различными методами может быть устранено «в среднем» введением поправки $\Delta \lg g = 0.3$. Однако непонятно, какую систему определений g необходимо принять за эталонную. Кроме этого, разброс точек на рис. 5 и 6 нельзя считать удовлетворительным.

Обсуждение. В данной работе для определения T_e и g звезд спектральных классов B и A использован метод бальмеровских индексов, предложенный в [2]. В [2] было установлено, что эффективные температуры звезд, определенные методом БИ, оказываются завышенными в среднем на 1500—2000 К

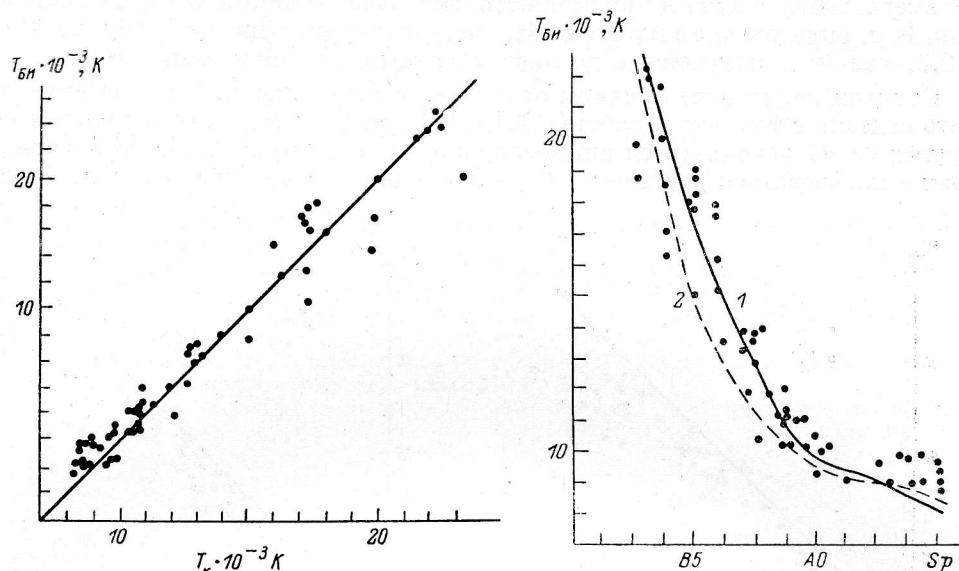


Рис. 2. Сравнение эффективных температур, определенных по бальмеровским индексам из моделей [4] (ось ординат) и на основании калибровки [9] (ось абсцисс).

Рис. 3. Зависимость эффективной температуры, определенной по индексам из сетки моделей [4], от спектрального класса.

1 — шкала [9]; 2 — шкала [10].

относительно шкалы эффективных температур, предложенной Копыловым [9]. В настоящей работе при определении бальмеровских индексов мы в отличие от [2] опирались не на спектры, рассчитанные Куручем [3], а на более точные спектры [4]. Показано, что с учетом этого изменения метод БИ дает значения

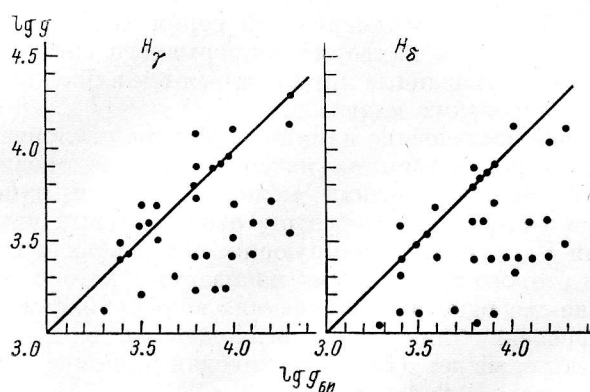


Рис. 4. Сравнение $\lg g$, определенных по бальмеровским индексам из моделей [4] (ось абсцисс), и по эквивалентным ширинам линий H_γ и H_δ (ось ординат).

T_e , хорошо согласующиеся со шкалой эффективных температур [9]. Метод обладает высокой внутренней точностью ($\Delta T_e = \pm 200$ К и $\Delta \lg g = \pm 0.3 \div 0.5$), превосходящей точность определения этих параметров с использованием величины бальмеровского скачка. В отличие от метода количественной спектральной классификации, основанного на использовании линий различных химических элементов, метод БИ свободен от эффектов пекулярного химического состава. В тех случаях, когда степень межзвездного покраснения определить

трудно, метод может оказаться конкурентоспособным с фотометрическими способами определения T_e .

Вместе с тем обнаружено, что в спектрах, рассчитанных в [4] (а тем более в [3]), имеет место несоответствие между видом непрерывного спектра в области бальмеровского скачка и характеристиками начальных линий серии Бальмера. Так, $\lg g$, определенные методом БИ, систематически выше на величину $\Delta \lg g = 0.3$, чем $\lg g$, полученные по эквивалентным ширинам линий H_γ и H_δ .

Обсудим возможные причины отмеченного разногласия. Одна из них может быть связана с тем, что в работах [3] и [4] при расчетах высоких членов водородных серий используется аппроксимационная формула [12]. Этой формулой можно пользоваться для линий $H_{20}-H_{25}$, однако в пределе серии необходимо

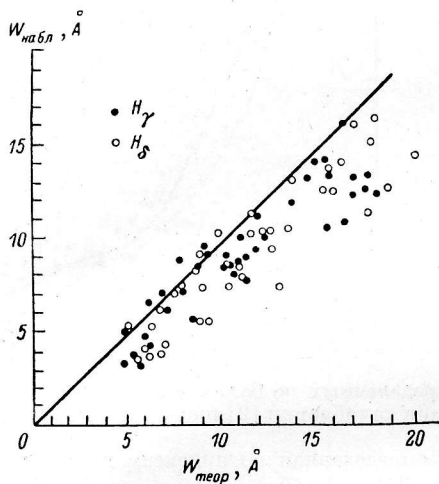


Рис. 5. Сравнение теоретических (ось абсцисс) и наблюдаемых (ось ординат) эквивалентных ширин линий H_γ и H_δ .

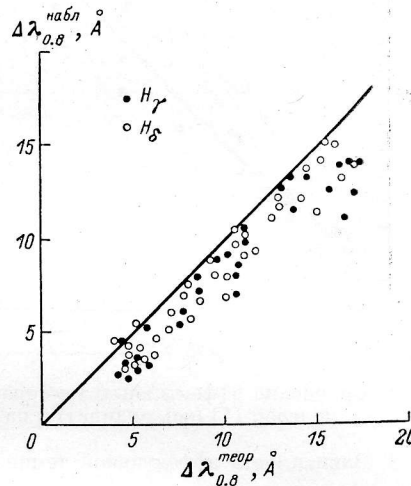


Рис. 6. Сравнение теоретических (ось абсцисс) и наблюдаемых (ось ординат) полуширин линий H_γ и H_δ , измеренных на уровне остаточной интенсивности $r=0.8$.

учитывать линии вплоть до $H_{50}-H_{70}$. Использование же аппроксимации [12] для столь высоких членов бальмеровской серии весьма проблематично. Эта неточность может сказаться на форме непрерывного спектра в области бальмеровского скачка, где указанные линии сливаются в бленду, и, как следствие, на значениях бальмеровских индексов.

Недостаточно еще исследовано влияние эффектов отклонения от локального термодинамического равновесия на интенсивность водородных линий и вид бальмеровского скачка. Последний может оказаться чувствительным как к изменению (при учете NLTE-эффектов) относительных интенсивностей высших членов серии Бальмера, блендирующих поток вблизи предела серии, так и к населенности второго уровня, темп ионизации с которого определяет коэффициент связанно-свободного поглощения вблизи бальмеровского скачка.

Метод бальмеровских индексов, предложенный в [2] и разработанный в [4] и данной статье, может быть рекомендован для определения T_e и g звезд спектральных классов В и А.

Авторы благодарны К. А. Бархатовой за внимание к работе, И. М. Копылову и В. Г. Ключковой за полезные замечания.

Литература

1. Paczynski В. Evolution of single stars. I. Stellar evolution from main sequence to white dwarf or carbon ignition // Acta Astron. 1970. 20. P. 47—58.
2. Определение физических параметров В- и А-звезд по участку спектра вблизи бальмеровского скачка / С. А. Гуляев, В. Е. Панчук, В. В. Плешаков, С. Г. Пяткес // Астрофиз. исслед. (Изв. САО). 1985. 22. С. 3—12.

3. K u g i e z R. L. Model atmospheres for G, F, A, B and O stars // *Astrophys. J., Suppl. Ser.* 1979. 40. P. 1—340.
4. Гуляев С. А., Патимова О. Г., Плешаков В. В. Формирование спектров горячих звезд в области бальмеровского скачка // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1986. 25. С. 55—59.
5. Колесов А. К. О непрерывных спектрах белых карликов // *Астрон. журн.* 1964. 41. С. 240—250.
6. Копылов И. М. Двумерная количественная спектральная классификация 238 звезд спектральных классов O5—B7 и построение диаграммы спектр—абсолютная звездная величина // *Изв. КрАО*. 1958. 20. С. 156—207.
7. Копылов И. М. Двумерная количественная спектральная классификация звезд спектральных классов B8—F2 // *Изв. КрАО*. 1960. 23. С. 148—173.
8. Johnson H. L., Morgan W. W. Fundamental stellar photometry for standards of spectral type on the revised system of the Yerkes spectral atlas // *Astrophys. J.* 1953. 117. P. 313—352.
9. Копылов И. М. О шкале эффективных температур звезд // *Изв. КрАО*. 1963. 30. С. 69—89.
10. Страйжис В. Л. Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Моклас, 1977. 196 с.
11. Ключкова В. Г., Копылов И. М., Панчук В. Е. К вопросу о применении моделей атмосфер для определения параметров горячих звезд // *Астрон. журн.* 1983. 60. С. 1114—1119.
12. Edmonds F. N., Schluter H., Wells D. C. Hydrogen-line Stark broadening functions // *Mem. Roy. Astron. Soc.* 1967. 71. P. 271—344.

Поступило в Редакцию
27 февраля 1986 г.