Дж. Б. ОГАНЕСЯН

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД

1. Введенне

Спектральные снимки звезд в области неба вокруг Капеллы (а Aur) оказались в числе наилучших. полученных с помощью обсерватории «Орион-2» [1]. На трех кадрах этой области, сфотографированных с использованием. кварцевого менискового телескопа и объективной призмы с экспозициями 15 сек (кадр F 19), 1.5 мин (F 20) и 18 мин (F 21), выявились спектрограммы большого числа горячих звезд, коротковолновая граница которых достигает иногда 2000 А. Спектрофотометрическому изучению в диапазоне длин волн 2000—3800 А группы из 26 таких звезд, принадлежащих спектральному классу. ВЗ—А5, и посвящена настоящая работа.

Список исследованных звезд представлен в табл. 1. В первых двух столбцах даны номера звезд по каталогам HD и SAO, в третьем и четвертом столбцах — фотовизуальная звездная величина и спектральный тип звезды по HD и SAO, а в последующих трех столбцах — фотовизуальная звездная величина V, показатели цвета В—V и U—В по новейшим измерениям [2].

Микрофотометрические записи спектрограмм получены на саморегистрирующих микрофотометрах МФ-4 и ИФО-451 с 37 и 50× увеличением. Переход от плотности почернения к интенсивности осуществлен с помощью общей характеристической кривой для всего спектрального интервала 2000-4000 А, найденной в результате совмещения четырех характеристических кривых с практически одинаковым наклоном в пределах ошибок измерений и соответствующих спектральным интервалам 2300—2500, 2500-3200, 3200-3500 и 3500-4000 А. При этом были использованы лабораторные спектрограммы, полученные с помощью кварцевого спектрографа ИСП-30 и ртутной лампы ПРК-4 через 9-ступенчатый кварцевый ослабитель. Важно отметить, что фотографирование стандартных спектрограмм было осуществлено на кусках штатной фотопленки Кодак 103-O-UV, побывавшей в космосе и оставшейся неиспользованной в штатной кассетс «Ориона-2». Эти куски проявлялись в проявителе D-19 в общей кювете одновременно с летной фотопленкой (T=20°C, t=6 мин). До проведения обычной процедуры проявки фотопленка была выкупана в изопропиловом спирте (~2 мин) по методике фирмы Кодак с целью удаления слоя сенси-

HD	SAO	v	Спектр	v	BV	U—B
32446 33459	040009 1648**	8,4 7.49	B3 B8	8.41 7.54	-0.17 -0.06	+0.26
33542 33601	040128	7.6	B8 B8	7.05	-0.05	-0.25 -0.28
33460	040112	8.7	B9 B9	8.88	_0.07	-0.16
34806	040281	9.1	B9 BJ	9.09	+0.04	-0.12
34131	(140194	9.0	AO	9.26	-0.08	-0.04
34788	040255 040280	7.52	AO	8.73 7.40	-0.09	+0.08
332 7 34299	040092	8.0	A0 A0	7.9	-0.01 - 0.01	-0.05 +0.02
34380 34399	040231	8.7 8.5	A0 A0	8.17	0.10 +-0.09	+0.12 - 0.01
34920	040295	8.9 9.2	A ⁽⁾ A0	9.07	-0.08	0.02
35548	040369	8.8	Að A2	9.26	-	-
33332	010095	8.1	A2	7.54	-0.10	+0.13
35170	040216	8.2	A2 A2	8.01	0.14	+0.23
35252 32619	040323 040025	8.3	A2 A4V*	8.6 7.48*	-+-0.20 0.16*	+0.15
32358	039997	8.8	A5	9.2	+0.04	-0.40

Данные об исследованных звездах

* Взято из [32].

По синску [20].

билизатора А-3177 с поверхности фотопленки. На рис. 1 представлены характеристические кривые фотопленки Кодак 103-О-UV при работе с микрофотометрами МФ-4 и ИФО-451.

2. Спектральная чувствительность аппаратуры

В период подготовки обсерватории «Орион-2» к натурному эксперименту ее менисковый телескоп с объективной призмой был откалиброван внергетически на синхротронной установке электронного ускорителя Ереванского физического института [3]. При этом спектрограммы синхротронного излучения были получены на отечественной фотопленке УФШ-4, чувствительной в ближней ультрафиолетовой области. В результате обработки втих спектрограмм была построена кривая относительной спектральной чувствительности или просто редукционная кривая нашего телескопа при его работе с фотопленкой УФШ-4.

Однако нагурный эксперимент с телескопом был проведен, без предварительной энергетической калибровки. на фотопленке Кодак 103-O-UV, чувствительность которой оказалась в несколько раз выше чувствительно-

69

Таблица 1





Рис. 1. Характеристические кривые для обработки спектрограмм, полученных с помощью менискозого телескопа обсерватории «Орион-2» при их микрофотометрировании на ИФО-451 (шкала слева) и МФ-4 (шкала справа).

сти фотопленки УФШІ-4 в интересующей нас области спектра — 2000 — 3000 А. Позднее, после завершения натурного эксперимента с «Орионом-2», был осуществлен переход редукционной кривой от фотопленки УФШ-4 к Кодак 103-О-UV в лабораторных условиях. К сожалению, большое число фотометрических переходов, неизбежных в подобных ситуациях, не обеспечили достаточной точности конечных результатов.

Более надежным в данном случае оказалось построение редукционной кривой с помощью звезд класса A0. спектрограммы которых были получены тем же менисковым телескопом «Орион-2» во внеатмосферных условиях.

Уже имеется ряд экспериментальных подтверждений, что в области длин волн 2000—3000 А разброс в относительных интенсивностях между нормальными и гигантами класса АО не более 0.25 и что эти интенсивности хорошо согласуются с теоретическими моделями их атмосфер [4-7]. Этот факт был принят за основу при построении редукционной кривой нашего телескопа путем измерения «орноновских» спектрограмм звезд класса АО и их сопоставления с теоретически предвычисленными спектрами. Для этого на «орионовских» снимках области неба вокруг Капеллы мы отобрали несколько относительно ярких звезд спектрального класса АО и, что особо важно, почти с нулевыми показателями цвета — признак того. что непрерывные спектры этих звезд искажены межэвездным селективным поглощением света в наименьшей степени. Эти звезды следующие: HD 34788 (V=7.52), HD 34680 (V=8.6) HD 34131 (V=9.0).

70

Описанный способ построения редукционной кривой с помощью непрерывных спектров звезд удобен еще тем, что он автоматически учитывает эффект контаминации — возможного загрязнения оптики парами и остатками ракетного топлива, испарением различных химических соединений от тела самого космического корабля и просто пылью после вывода обсерватории на орбиту.

Таким образом, располагая усредненной кривой наблюдаемого распрелеления энергии в непрерывном спектре $\int_{\lambda_{1}} (me6_{1})$ для трех упомянутых звезд класса A0, а также теоретическим распределением $\int_{\lambda_{1} (reop)}$, соответствующим той или иной модели фотосферы звезды класса A0, мы можем найти коэффициент редукции c_{1} , то есть относительную спектральную чувствительность нашего телескопа при его работе с фотопленкой Кодак 103-O-UV из следующего соотношения:

$$b_{\perp} = \frac{\int_{\lambda} (\text{reop})}{\int_{\lambda} (\text{react})}$$

При вычислениях нами была использована в качестве фотосферы звезды класса A0 теоретическая модель Веги ($T_{siph} = 9650^{\circ}$ K и log g = 4.05), предложенная Шильдом и др. [5]; впрочем, распределение внергии в непрерывном спектре для этой модели почти не отличается от модели Михаласа [8], по крайней мере в диапазоне волн 2000—3800 A.

Числовые величины коэффициента редукции δ , найденные описанным выше способом для различных длин волн, нанесены на рис. 2 (точки), величины δ , нормированы к длине волны 3200 *A*, то есть принято $\delta_{3200} = 1$.

Мы располагаем по меньшей мере одной благоприятной возможностью убедиться в правильности найденных нами величин о для «Ориона-2». Дело в том, что для одной звезам класса B3V в Тельцах - HD 35708 (V=4.86) было получено более двух десятков отличных ультрафиолетосых спектрограмм с помощью «Ориона-2», а еще раньше, с помощью орбитальной обсерватории ОАО-2 [9] была проведена широкополосная фотометрия этой звезды на нескольких эффективных длинах воли (1913, 2386. 2462, 2945, 2985, 3317 А). Пользуясь этими данными, был построен график распределения энергии в непрерывном спектре в области 2000—3000 А. Приняв последний за $\int_{I_{\rm (rcop)}}$ и определяя $\int_{I_{\rm (HaGA)}}$ путем измерений «орионовских» спектрограмм, мы можем найти из (1) числовые величины совершенно независимым путем. Это было сделано С. Рустамбековой [10] по результатам измерений 21 «орноновской» спектрограммы эвезды HD 35708 (кадры F 3, F 4, F5, F 22, F 24). Сопоставляя графически найденные таким путем значения 3 (кружки на рис. 2) с тем, что было найдено нами выше методом «трех звезд класса A0» (точки на рис. 2). видим, что они почти не отличаются друг от друга, во всяком случае в пределах ошибок порядка, по-видимому, 10-20% в области длин воли короче 3200 А и до-2250 А. В области длиннее 3200 А совпадение между значениями.

(1)

и, найденными обоими способами, полное, поэтому эти данные не приводятся на рис. 2.



Рис. 2. Кривая относительной спектральной чувствительности (редукционная кривая) 3 для Ориона-2», построенная с использованием трех звезд класса АО (точки) и звезды HD 35708 (кружки).

Числовые величины коэффициента редукции, приведенные в табл. 2, получены в результате усреднения значений в найденных обоими методами (сплошная линия на рис. 2), и приняты в качестве рабочих при обработке и расшифровке всех спектральных снимков, полученных на «Орноне-2». В частности, для нахождения истинных потоков излучения F_{2} , исправленных за спектральную чувствительность менискового телескопа и использованной фотопленки, имеем

$$F_{\lambda} = F_{\lambda} (u_{2}\delta_{\lambda}) \cdot \delta_{\lambda}, \tag{2}$$

где $F_{\lambda (11051)}$ — наблюдаемый поток. найденный непосредственно из измерений спектрограмм.

В дальнейшем результаты измерений потоков будут представлены в звездных величинах Δm_{λ} и относительно потока на $\lambda = 3000~A$, то есть

$$\Delta m_{\lambda} = -2.5 \log \left(F_{\lambda} / F_{3000} \right) = 2.5 \log \frac{F_{\lambda} (ma6.1)}{F_{3000}} - 2.5 \log \frac{\delta_{\lambda}}{\delta_{3000}}$$
(3)

Зависимость Δm_{λ} от λ очевидно даст нам наблюдаемое распределение энергии в непрерывном спектре рассматриваемой звезды. Чтобы перейти затем к истинному распределению энергии Δm_{λ} , необходимо ввести поправку за влияние межзвездного селективного поглощения света сле-(дующим образом:

$$\Delta m_{\lambda} = \Delta m_{\lambda} - (a_{\lambda} - a_{30,0}) r, \qquad (4)$$

де r — расстояние звезды в килопарсеках, a_{λ} — коэффициент межэвездното поглощения в звездных величинах на данной волне и на 1 кпс. Из-за отсутствия данных о межэвездном поглощении в ультрафиолете для интересующей нас области неба (созвездие Возничего) мы в дальнейшем будем пользоваться численными величинами a_{λ} , приведенными в [11] для диапавона 'длин волн 2000—4000 A; эти данные выведены из среднесглаженной кривой межзвездного поглощения в направлении звезды α Саш, построенной Блессом и Саваджем [12] по результатам наблюдений ОАО-2.

Таблица 2

73

Числовые величины ковффициента редукции д, для различных длин волн (менисковыё телескоп "Орнона-2° с фотопленкой Кодак 103-О-UV)

	1	
log õ _λ	λ	log õ _λ
0.30 0.20 0.12 0.08 0.03 0.03 0.03 0.03 0.02 0.06 	2650 2600 2550 2500 2450 2450 2400 2350 2350 2300 2250 2200 2150 2100	0.64 0.74 0.84 0.96 1.06 1.13. 1.30 1.43 1.57 1.73 1.87 2.01
0.52	2050	2.15
	$\begin{array}{c} -0.30 \\ -0.20 \\ -0.12 \\ -0.08 \\ -0.03 \\ 0.00 \\ 0.02 \\ 0.06 \\ 0.12 \\ 0.17 \\ 0.32 \\ 0.44 \\ 0.52 \\ 0.57 \end{array}$	$\begin{array}{c c c c c c c c c c c c c c c c c c c $

3. Распределение энергии в ультрафиолетовом спектре звезд

Эдесь и в последующих разделах будут проанализированы полученные нами результаты по распределению энергии в непрерывном спектре, в диапазоне 2000—3800 A всех 23 звезд, вошедших в наш список исследованных объектов (то есть за исключением трех звезд класса A0 табл. 1, использованных для построения редукционной кривой δ_{λ}). Попутно этя результаты будут сравнены с теорией, главным образом с моделями звездных атмосфер Михаласа [8], соответствующих относительному содержанию гелия N(He)/N(H) = 0.15. ускорению силы тяжести $g = 10^4$ см/сек и эффективной температуре звезды данного спектрального класса. Напомним, что в моделях Михаласа учитывается только непрерывное поглощение излучения, обусловленное водородными и гелиевыми атомами, то есть не лучения обусловленное водородными и гелиевыми атомами, то есть не лучения. обусловленное водородными и гелиевыми атомами, то есть не лучения. Обусловленное водородными и гелиевыми атомами, то есть не лучения. Обусловленное водородными и гелиевыми атомами, то есть не лучения. Для отдельных звезд в последующих разделах будет проведено сравнение также с моделями, построенными с учетом эффекта блокировки спектральными линиями.

В дальнейшем все наши результаты наблюдений будут представлены в табл. 3 и 4 в шкале относительных интенсивностей, нормированные к единице на $\lambda = 3000 \ A$. В табл. 3 приведены наблюдаемые F_{λ} и исправленные за вффект межзвездного поглощения F_{λ} интенсивности излучения в непрерывном спектре удаленных звезд, а в табл. 4 — наблюдаемые интенсивности F_{λ} для близлежащих звезд, не нуждающиеся в исправлении за межзвездное поглощение. Сравнение наших результатов наблюдений с теорией будет проведено графически — в виде зависимости Δm от λ и нормированные на длине волны 3000.4.

Начнем с рассмотрения звезд класса В. На рис. З представлены результаты наших измерений для четырех таких звезд, а именно, наиденные и исправленные за эффект межзвездного поглощения величины наблюдаемых потоков излучения Δm_{λ} на данной длине волны в диапазоне 2000—3800 A (здесь и на последующих рисунках величины Δm_{λ} , найденные по обработке материалов «Ориона-2», обозначены: наблюдаемые кружками, исправленные за эффект межзвездного поглощения — точками) На этих же рисунках сплошными линиями нанесены теоретические кривые зависимости Δm_{λ} от λ по Михаласу [8], соответствующие той или иной эффективной температуре звезды данного спектрального класса (в настоящей работе мы исходим из шкалы эффективных температур WKH [13]).

Первое, что обращает на себя внимание на рис. 3, это резкое отклонение — в сторону меньших значений — наблюдений от теории, в особенности в области далекого ультрафиолета. Остановимся на этих звездах в отдельности.

HD 33459. Звезда спектрального класса B8. Наблюдаемые величины Δm_{λ} в области длин волн 2300 A и короче находятся ниже теоретической кривой почти на целую звездную величину. Исправленные с помощью (4) величины Δm_{λ} оказались в хорошем согласии с теоретической кривой $T_{spp} = 12600^{\circ}$ К, если принять расстояние до звезды равным 600 nc (точки на рис. 3). Тогда абсолютная светимость звезды на таком расстоянии получается равной $M_v = -1.4$ (согласно выражению для модуля расстояния $M_v = m + 5 - 5\log r - A_v$, при $A_v = 0$). Вместе с тем заметна слабая депрессия в ходе непрерывного спектра на 2400 A.

НD 33460. Эта эвезда (В9) несколько слабее предыдущей (V=8.7), а, стало быть, находится еще дальше нее. Отклонение Δm_{λ} от теории, например, на 2500 А, оказалось больше, чем в предыдущем случае. При этом наблюдается хорошее согласие с теорией во всем спектральном диапазоне

Таблица З

1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	HI 324	D 146	HI 334	59	HI 336	01	HI 334	50	HD 348	05	HI 349	D 185	HI 350	99	151	8*
λ (A)	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	F_{λ}	F_{λ}°	Fλ	F_{λ}°
2100 2200 2300 2400 2500 2600 2700 2800 2900 3100 3200 3300 3300 3400 3500 3600 3700 3800	$\begin{array}{c} -\\ 0.77\\ 0.81\\ 0.96\\ 1.01\\ 1.0\\ 1.04\\ 1.01\\ 0.91\\ 0.9\\ 0.89\\ 0.86\\ 0.79\\ 0.73\\ 0.77\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} - \\ 2.23 \\ 1.63 \\ 1.53 \\ 1.41 \\ 1.26 \\ 1.19 \\ 1.08 \\ 0.88 \\ 0.84 \\ 0.79 \\ 0.75 \\ 0.7 \\ 0.63 \\ 0.56 \\ 0.57 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.67\\ 0.73\\ 0.71\\ 0.82\\ 0.98\\ 1.06\\ 1.09\\ 1.2\\ 1.10\\ 0.98\\ 0.96\\ 0.94\\ 0.90\\ 0.94\\ 1.13\\ 1.56\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} 1.39\\ 1.63\\ 1.34\\ 1.29\\ 1.29\\ 1.29\\ 1.24\\ 1.31\\ 1.14\\ 0.97\\ 0.93\\ 0.9\\ 0.85\\ 0.79\\ 0.82\\ 0.96\\ 1.32 \end{array}$	$\begin{array}{c}\\ 0.78\\ 0.71\\ 0.66\\ 0.81\\ 0.85\\ 0.93\\ 0.96\\ 1.1\\ 0.96\\ 0.96\\ 0.92\\ 0.96\\ 0.98\\ 1.07\\ 1.12\\ 1.61\\ \end{array}$	2.55 2.04 1.32 1.29 1.19 1.19 1.1 1.17 0.91 0.87 0.8 0.8 0.8 0.85 0.85 1.2						$\begin{array}{c} - \\ - \\ 1.31 \\ 1.22 \\ 1.18 \\ 1.18 \\ 1.28 \\ 1.11 \\ 0.95 \\ 0.88 \\ 0.95 \\ 0.82 \\ 0.77 \\ 0.72 \\ 0.69 \\ 0.86 \\ 1.25 \end{array}$				
			1111111111	And the second s		and the second s		No. of Street, or Stre	and the second second	1. 1. 2. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1. 1.			Contraction Description			Carlo and Lovel

Наблюдаемые и исправленные относительные интенсивности излучения в единица х F (3000) = 1 в ультрафиолете изученных звез

 F_{λ}° для HD 33601 приведены при r = 1000 *пс*.

* По списку [20].

5

					- 4					1 (2000) -	— г н улбт	рациолете	. Изучениь	AT SDOUL	
λ (A)	HD 33542	HD 33853	HD 33297	HD 34299	HD 34380	HD 34399	HD 34920	HD 35848	HD 32296	HD 33332	HD 34268	HD 35170	HD 35252	HD	HD 32358
2000 2100 2200 2300 2400 2500 2500 2700 2800 2900 3100 3200 3300 3400 3500 3500 3500 3600 3700 3800		$\begin{array}{c} 2.03 \\ 1.94 \\ 1.66 \\ 1.49 \\ 1.38 \\ 1.41 \\ 1.33 \\ 1.24 \\ 1.14 \\ 1.06 \\ 0.92 \\ 0.92 \\ 0.88 \\ 0.86 \\ 0.82 \\ 0.77 \\ 1.01 \\ \end{array}$					1.0 1.2 1.15 1.15 1.07 0.94 0.88 0.78 0.78 0.76 0.78 0.96 1.24					0.77 0.79 0.84 0.88 0.99 1.01 0.99 0.96 0.96 0.99 1.11 1.8 2.54	0.92 0.9 0.79 0.79 1.01 0.99 0.99 0.93 0.92 0.98 1.16 1.82 2.97	1.05 0.72 0.6 0.76 0.86 0.86 0.78 0.91 1.02 0.97 0.95 0.94 0.93 0.89 0.82 1.15	0.69 0.83 0.96 1.05 0.96 0.99 0.99 0.98 0.97 0.97 0.97 0.94 0.99 1.16

Наблюдаемые относительные интенсивности излучения в единицах F (3000) = 1 в ультрафиолете изученных засал

Таблици 4

Дж. Б. ОГАНЕСЯН



1 1 ----

Рис. 3. Графическая зависимость наблюдаемых (кружки) и исправленных за эффект межзвездного поглощения (точки) потоков излучения Δm_{λ} от лаким волны λ для четырех звезд класса В по данным .Ориона-2°. Сплошные кривые – тоорстическая зависимость Δm_{λ} от λ , соответствующая эффективной темнературе данной звезды [8].



Рпс. 4. Распределение энергии в спектре звезды HD 33601 класса B8 по данным «Ориона-2» для двух вариантов исправлений за эффект межзвездного поглощения $(r = 1000 \ \pi c \ H \ r = 600 \ nc).$

2500—3800 A величин Δm_1 , исправленных за эффект межзвездного поглощения на расстоянии r = 1000 nc. Абсолютная светимость звезды на таком расстоянии получается $M_n = -1.1$.

HD 34985. Исправленные величины Δm_{λ} хорошо ложатся на теоретическую кривую, соответствующую $T_{s \uparrow \uparrow} = 12600$ °К (класс В9), если считать расстояние этой звезды r = 500 пс. С другой стороны, если принять, что рассматриваемая нами звезда принадлежит главной последовательности, то выражение для модуля расстояния дает величину r порядка 500 пс.

HD 34806. Как и в предыдущих трех случаях, у этой звезды также наблюдается хорошее согласие исправленных величин Δm_{λ} с теорией (при i=800 nc).

Рассмотренные выше примеры дают достаточно правильное представление во всех гех случаях, когда речь идет о сопоставлении наблюдений с теорией, о правомерности теории и т. д. Вместе с тем они характеризуют точность наших измерений; она, в частности, недостаточно высокая для того, чтобы можно было бы отличить звезду В8 от В9 только по относительному распределению внергии в непрерывном спектре в ближнем ультрафиолете.

НД 33607. Это — звезда спектрального класса В8. У нее наблюдаемое распределение анергии в ультрафиолете короче 2800 А оказалось значи-

ательно ниже теоретической кривой при $T_{max} = 12600^{\circ}$ К (рис. 4). На перный взгляд оно очень похоже на распределение энергии в спектре звезды HD 33459 класса B8 (рис. 3) и той же визуальной величины. Однако экспратленные за эффект межзвездного поглощения величины Δm , соогиспратленные r = 600 nc, не дают такого же хорошего согласия с теорией при $T_{max} = 12600^{\circ}$ К, как это имело место в случае HD 33459. Кстати, это пока единственная звезда из коллекции «Ориона-2», которая показывает сакую мощную депрессию в ближнем ультрафиолете.

Однако при введении поправки на межзвездное поглощение, соответствующее r = 1000 nc, хорошее согласие наблюдений с теорией у звезды . ПD 33601 становится возможным на большом участке спектра — от 3500 по 2400 A (рис. 4). Но в этом случае появляется резко выраженный излишск излучения в области короче 2400 A. Подобное явление было замечено у нескольких эмиссионных звезд и вызвано, по-видимому, блендированием ультрафиолетовых эмиссионных линии [33].

Таким образом, представленное на рис. 4 распределение, соответствующее r = 1000 nc, в принципе объяснимо, если сделать допущение, что HD 33601 есть звезда эмиссионная либо она стала таковой в период наших наблюдений. Конечно, чтобы делать такое рискованное предположение, необходимо располагать дополнительными данными. Вместе с тем создается впечатление, что эмиссионную природу звезды при всех прочих равных условиях легче выявить по ее коротковолновому спектру.

На рис. 5 рассматривается группа звезд спектрального класса А.

HD 33297. Звезда класса A0 сравнительно яркая (V=8.0), стало быть, относительно близкая (r = 240 nc при $M_{*} = +1.1$), поэтому следовало бы ожидать хорошее согласие наблюдений с теорией даже без внесения поправки в Δm_{*} за эффект межзвездного поглощения. Так и есть на самом деле (рис. 5): наблюдаемые величины Δm_{*} хорошо ложатся на теоретическую кривую при $T_{\rm вфф} = 10000^{\circ}$ К (точнее 10080°К). Вместе с тем четко выделяется довольно широкая депрессия в непрерывном спектре на 2350 A.

HD 35099. Звезда класса A0, более слабая (V=9.2), чем предыдущая. Хорошее согласие наблюдений с теорией получается лишь при r=800 nc, что приводит к несколько большей светимости ($M \sim 0$), чем следовало ожидать, если бы она принадлежала главной последовательности (M_{r} = +1.1). Из-за отсутствия данных наблюдений в области короче 2500 A, начего нельзя сказать о наличии или отсутствии депрессии на 2350 A.

HD 32358. Если считать, что эта звезда спектрального класса A5 принадлежит главной последовательности ($M_c = + 2.1$), то расстояние до нее получается равным 230 *пс.* Поэтому в данном случае мы имеем практически неискаженную — из-за межзвездного поглощения — картину истинного распределения энергии в ее непрерывном спектре. Она оказалась довольно интересной: полное согласие наблюдений с теорией при $T_{\rm stat} = 8400^{\circ}$ К от 3800 до 2750 A и падение интенсивности в сторону коротких волн. Ка-



эственно этот результат совпадает с тем. что было получено ранее Андерилл [14] по результатам наблюдений ОАО-2 для звезд спектрального. ласса А5.

HD 34920. Эта звезда V = 8.9 величины представляет интерес с друой точки зрения. Дело в том, что в каталоге HD она классифицирована как ввезда класса A0, между тем результаты наших наблюдений даже без соправки за эффект межзвездного поглощения уже лежат на теоретической фивой, соответствующей $T_{\rm hop} = 12600^{\circ}$ К, то есть звезды класса B8—B9. ^и читывая, что поглощение у этой звезды невелико (B—V=+0.08, —B=+0.02 [2]), следует думать, что найденный спектральный класса птой звезды недалек от действительности, хотя и он будет характеризовать ишь коротковолновую область ее спектра. С другой стороны, если считать, по найденный по данным длинноволновой (оптической) области спектральый класс этой звезды точно установлен (в данном случае A0), то мы неоольно окажемся перед непривычной ситуацией: два разных спектральных ласса одной и той же звезды для двух разных областей спектра. Так ли тто? Без дополнительных данных, очевидно, нельзя ответить на этот вопрос.

На рассмотренных в настоящем разделе примерах были выявлены позможности ультрафиолетовых спектрофотометрических наблюдений звезл при решении некоторых задач, представляющих практический интерес. 8 частности, с помощью таких наблюдений можно найти в одних случаях масстояние, то есть абсолютную светимость звезды (HD 35099, HD 33459), других — спектральный класс звезды, соответствующий распределению нергии в коротковолновой области ее спектра (HD 34920) и т. д.

4. Сравнение с другими наблюдениями

Ни одна звезда из нашего списка (табл. 1) не была раньше наблюдена во внеатмосферных условиях и поэтому мы лишены возможности провести сравнение результатов наших коротковолновых спектрофотометрипеских наблюдений с другими аналогичными наблюдениями, относящимии к одной и той же звезде. Поэтому в настоящем разделе мы ограничимся попоставлением и сравнением наших результатов с результатами других наблюдений, привлекая в каждом отдельном случае хотя и две разные звезды, но принадлежащие к одному и тому же спектральному классу.

При сравнении наших результатов с результатами других наблюдений возникает еще одна трудность; она вызвана неоднородностью сопоставляемых величин, что неизбежно, когда эксперименты проводятся существенно соазными методэми и с применением аппаратур, действующих на крайне огличных друг ог друга принципах. Поэтому такое сопоставление должно носить в какой-то степени качественный характер.

Наиболее надежные результаты по распределению энергии в непрерывном спектре в ультрафиолете горячих звезд были получены Стэчером [15], Садбэри [16], Боттемиллери [17], Дохерти [18], с которыми мы и проведем наши сравнения. Данные [17] и [18] получены с помощью широр-144 кополосных фотометров на ОАО-2 со средней шириной полосы пропускания порядка 300—400 А и на эффективных длинах волн 2040, 2390, 2980 и 3320 А. Наблюдения [16] соответствуют эффективным длинам волн 1850. 2000. 2200 и 2500 А. а в [15] представлены абсолютные потоки через каждые 100 А в области длин волн короче 3000 А.

Для сравнения с упомянутыми наблюдательными данными мы выбрали семь звезд из нашего списка (табл. 1), принадлежащих спектральным классам ВЗ—А4. Попутно мы продолжим начатый в предыдущем разделе анализ ультрафиолетовых спектров звезд по данным материалов «Орнона-2».

HD 32446. Наши измерения непрерывного спектра звезды спектрального класса B3, самого раннего среди звезд нашего списка, охватывают интервал длин волн 2250—3800 А. Наблюдения. как в длинноволновой части длиннее 3000 А, так и особенно в ультрафиолете, существенно расходятся с теоретически ожидаемым распределением, соответствующим $T_{-44} = 20000^{\circ}$ К (рис. 6). Однако после внесения поправки за эффект межзвездного поглощения соответственно расстоянию r = 1000 nc ($M_{e} = = -1.6$) согласие с теорией получилось полное.



Рис. 6. Распределение энсргии в спектре звезды HD 32446, класса ВЗ, по данным «Ориона-2» (кружки и точки). Для сравнения нанесены также результаты наблюдений следующих звезд класса ВЗV: HD 129116 по [17]; HD 125823 по [17]; HR 6588 по [16] и у UMa по [15].

На рис. 6 мы нанесли также данные, полученные другими наблюдателями для ряда звезд того же класса B3V, в частности, звезд HD 129116. 11D 125823 [17], HR 6588 [16], а также η UMa [15]; все эти звезды очень оркие (3÷5^m); и непокрасненные, поэтому полученные для них величины оотоков излучения не нуждаются в поправке за эффект межзвездного поплощения.

Хорошее согласие найденного нами распределения энергии в ультраюнолете звезды HD 32446 с данными для других звезд класса B3V указыыает на ее принадлежность к главной последовательности, то есть к классу вветимости V. Кстати, величина B - V = -0ⁿ 17, найденняя для этой звезпы [2], в равной мере характерна как для нормальной звезды класса B3. вак и сверхгиганта того же класса. Но в последнем случае ее расстоянис казалось бы порядка 6000 *nc*, что вероятно привело бы к полному исчезповению ультрафиолетового конца ее спектра из-за чрезвычайно сильного иежзвездного поглощения.

Характерным для ультрафиолетового спектра рассматриваемой звезды ивляется спокойный ход кривой без всяких депрессий.

На рис. 7 приведены найденные нами результаты еще для трех звезд класса В8—В9

HD 33542. Эта звезда класса B8 очень яркая (V=7.3), поэтому найценные непосредственно из наблюдений величины Δm_{\perp} оказались в полном согласии с теорией (при $T_{\mu\phi\phi} = 12600^{\circ}$ К) без внесения поправки за эффект межзвездного поглощения. На этом же рисунке нанесены также цанные широкополосной фотометрии с ОАО-2 для звезды 41 Егі спектрального класса B8.5V [17], расхождение которых от теоретического распределения и, в равной мере от HD 33452, по-видимому, находится в пределах ошибок измерений ОАО-2.

HD 33853. Наши наблюдения этой довольно яркой (V=7.7) звезды класса В9. охватывающие диапазон длин волн 2000—3800 *А*, оказались в очень хорошем согласии с теоретической моделью фотосферы, соответствующей $T_{s\psi\phi} = 12600^{\circ}$ К. Это согласие подтверждается также результатами наблюдений звезд 14 СVп и HD 4622, обе класса B9V [17]. Принадлежность звезды HD 33853 к главной последовательности не вызывает сомнения, а расстояние до нее будет меньше или равно 350 пс ($M_{ep} = +0.5$).

Два примера звезд класса A2—A4 с сопоставлением результатов наблюдений «Ориона-2» с другими данными рассматриваются на рис. 8.

HD 32296 Распределение энергии, практически неискаженное межзвездным поглощением, в спектре этой яркой звезды (V=6.5) хорошо согласуется с моделью при $T_{s\phi\phi} = 9150$ К в области 3000—3800 А. В области короче 3000 А наблюдается падение интенсивности с резко выраженным минимумом на 2400 А. Такой ход кривой непрерывного спектра в ультрафиолетс, пожалуй, следует считать наиболее характерным для звезд класса А. По-видимому, нашим результатам не противоречат данные, полученные на ОАО-2 для звезд σ Scl A2V и i UMa A7V [18]. Кроме этого, распределение энергии в спектре β АUT [14] имеет ту же качественную структуру, что и исследуемая звезда. Дж. Б. ОГАНЕСЯН



Рис. 7. Распределение энергии в спектре звезд HD 33542 и 33853 классов В8—В9 по давным «Орисна-2» (точки и кружки). Проводится также сравнение с результатами наблюдений других звезд тех же классов по [17, 16].

HD 32619. Кривая распределения энергии в спектре этой звезды очень похожа на аналогичную кривую предыдущей звезды. Однако депрессия в районе 2400 *A* более мощная, кроме того, имеется дополнительная локальная депрессия в районе 2800 *A*. Наши результаты оказались в хорошем согласии как с теоретической моделью при T_{see} = 8400°K, так и с наблюдениями ОАО-2 [19] для звезды δ Cas (A5V).

Что касается различия между теорией и наблюдениями в ближнем ультрафиолете, которое наблюдается почти у всех рассмотренных нами звезд спектрального класса A, то на нем мы остановимся более подробно в одном из последующих разделов.



Рис. 8. Распределение внергни в спектре звезд HD 32296 (A2) и HD 32619 (A4V) по данным «Орнона-2» (точки). Для сравнения приведены также результаты наблюдений ОАО-2 для звезд ⁵ Scl (A2V) и i UMa (A7V) и ⁶ Cas (A5V) [18].

В заключение этого раздела остановимся на звезде № 1518 (по нуменации [20]) неизвестного спектрального класса, результаты измерений когорой, полученные на основе «орионовского» наблюдательного материала, приведены на рис. 9. Уже найденные из прямых измерений величины Δm_{λ} , не исправленные за эффект межзвездного поглощения, указывают на принадлежность эгой явезды к классу ранее А0 ($T_{\mu\phi\phi} = 10000^{\circ}$ K). На это чказывают также наблюдаемые величины показателей цвета, равные $B_V = +0.04$, $U_B = -0.40$ [2]. Наконец, относительная слабость звезды V=9.5) говорит о неизбежности искажений в наблюдаемом спектре из-за



Рис. 9. Распределение внергии в спектре звезды 1518 [20] неизвестного спектрального класса по данным «Орнона-2» (кружки — наблюдения, точки — исправленные за вффект межзвездного поглощения). Кривая относится к теоретической модели $T_{3\phi\phi} = 15700^{\circ}$ K [8]. Нанесены также результаты наблюдений звезд у Gru и у And (BSV) по [15, 17].

межэвездного поглощения. Поступая методом проб или последовательного приближения, мы приходим к выводу, что наиболее вероятный класс этой звезды B5V и вероятное расстояние r = 600 nc ($M_v = -0.7$); в этом случае мы добиваемся лучшего согласия данных наблюдений с теоретической моделью при $T_{squp} = 15700$ °K, а также с результатами наблюдений α Gru и v And (обе класса B5V) [15, 17].

5. О постоянстве макроструктуры непрерывных спектров звезд в ультрафиолете

У нас есть основание полагать, что макроструктура непрерывных спектров изученных нами звезд в ультрафиолете непостоянна и может меняться уже в пределах данного спектрального класса, при переходе от звезды к звезде. Это предположение мы хотим проверить на примере пяти звезд класса A2, структура непрерывного спектра которых в ультрафиолете воспроизведена на рис. 10 в определенной последовательности, а именно, с ослабевающей депрессией непрерывного спектра. За исключением коротковолновой границы измерений, которая оказалась неодинаковой для спектрограмм атих пяти звезд (что вызвано, главным образом, наложением спектрограмм соседних звезд), выбранная группа оказалась во всех отношениях предельно однородной (мы имеем в виду не только идентичность ус-

ловий получения этих спектральных снимков, взятых из одного и того же кадра, но и их микрофотометрирования). Одинаковыми или почти одинаковыми оказались также видимые фотовизуальные величины всех членоз выбранной группы, а именно $V=8^m0-8^n2$. Поэтому даже одно сравнение найденных кривых зависимости Δm_{λ} от λ , без внесения каких-нибудпоправок у отдельных представителей этой группы за эффект межзвездного поглощения, позволит прийти к выводам, достаточно убедительным, касающимся степени «устойчивости» или постоянства макроструктуры непрерывных спектров в ультрафиолете для звезд одного и того же спектрального класса.

Такое сравнение показывает (рис. 10), что по крайней мере в рассматриваемом случае макроструктура непрерывного спектра в области длин волн короче 3000 А непостоянна и, скорее всего, меняется при переходе от одной звезды к другой внутри одного и того же спектрального класса.

Это заключение, однако, сделано пока лишь в отношении звезд класса A2, к тому же число использованных звезд невелико. Для более уверенных выводов необходимо располагать дополнительными данными.

В настоящее время не вызывает сомнения, что учет эффекта блокировки спектральными линиями в теории переноса лучистой энергии в фотосферах звезд приводит к результатам, в количественном и качественном отношениях существенно отличным от тех, что мы имеем в случае обычных теорий, не учитывающих этот эффект. Эффект блокировки очень большим числом линий поглощения, принадлежащих главным образом нейтральным и понизованным металлам (титан, хром, железо, кобальт, никель и т. п.), искажает общий вид непрерывного спектра в области длин волн корочс 3000 А до неузнаваемости (по отношению к нормальному уровню непрерывного спектра «неблокированной» модели). Почти десять лет гому назад Элст [21] предсказал эффект блокировки непрерывного спектра в ближнем ультрафиолете многочисленными слабыми линиями поглощения у горячих звезд. Дальнейшие внеатмосферные наблюдения на ОАО-2 [14] и ОАО-3 [22] показали реальное существование депрессии в ультрафиолете, разной для звезд разных спектральных классов и обусловленной, по всей вероятности, блокироькой непрерывного спектра линиями поглощения нейтральных и ионизованных металлов. Согласно [14], депрессия в области 2000-3000 А очень слабая, почти незаметная у звезд ВО—ВЗ и очень сильная у звезд А5-А6 : максимумом депрессии на 2400 А.

Таким образом, мы с достаточной уверенностью можем утверждать. что депрессия у рассматриваемой нами группы звезд класса A2 вызвана олокировкой линиями поглощения. Весь вопрос заключается в том, что согласно полученным нами данным сам эффект блокировки по каким-то причинам срабатывает с неодинаковой силой у звезд строго одного и того же спектрального класса или одной и той же эффективной температуры. В частности, эгот эффект почти отсутствует или слаб у звезды HD 34268 и достаточно сильный у HD 33332.



Рис. 10. Последовательность ультрафиолетовых спектров звезд класса A2 с меняющейся макроструктурой — разные мощности депрессии на 2400 А и 2800 А по данным «Орнона-2» (точки).

В настоящее время существует несколько попыток построения теория звездных фотосфер с учетом эффекта блокировки линиями поглощения. Наиболее значительной из них является попытка Кырукз и др. [23], учитывающих в своих вычислениях влияние 1760000 спектральных линий. Для одного частного случая — для модели Сириуса — звезды класса A1V ($T_{44} = 9700$ °K log g = 4.26) подобные вычисления были осуществлены Фоулером [24]. На рис. 10, на графике звезды HD 33332, результаты Фоулера нанесены пунктирной линией, согласие с нашими наблюдениями (точки) для звезды класса A2, как видим, достаточно хорошее. Кстати, для Сырнуса имеются и коротковолновые наблюдения [25] (они нанесены на графике звезды HD 32296, рис. 10), которые также оказались в хорошем согласии как с теорией, так и с нашими наблюдениями.

6. О структуре ультрафиолетового спектра звезд класса АО

• Нечто подобное тому, что мы имели в случае звезд класса A2 в предыдущем разделе, наблюдается и в отношении звезд класса A0, может быть. даже в более резкой форме.

Нам удалось подобрать четыре звезды класса A0, почти одного и того же блеска (V=8.0—8.8), структура непрерывного спектра которых оказалась существенно отличающейся в области длин волн короче 3000 A и до 2300 A. Графики зависимости Δm , от λ для этих четырех звезд, построенные по данным «Ориона-2», приведены на рис. 11. Так, например, если и случае звезды HD 34380 распределение энергии в ее непрерывном спектре по данным «Ориона-2» почти с абсолютной точностью следует теоретической кривой модели Фоулера для Сириуса [24], в частности, с максимумом депрессии на 2400 A, то у следующих звезд наблюдается постепенное увеличение отклонения от этой «идеальной» модсли. Обращает на себя внимание хотя и глубокая, но исключительно узкая депрессия на 2400 A в спектре звезд HD34399 (рис. 11).

Мы здесь не ставим вопроса о причинах такого резкого разброса з макроструктуре ультрафиолетовых непрерывных спектров звезд класса A0. Отметим лишь, что этот разброс по крайней мере не может быть следствием межзвездного поглощения, во-первых, потому, что все эти звезды находятся одинаково близко от нас, на расстоянии порядка 300 пс, и, во-вторых. найденные по результатам наземных наблюдений показатели цвета B - V и U - B оказались близкими к нулю (табл. 1). Учитывая высокую однородность выбранной группы звезд, трудно усмотреть также причину указанного разброса в экспериментальных тонкостях или в методике обработки спектрограмм. Несмотря на все это, необходимо располагать дополнительными данными, прежде чем делать какие-то окончательные выводы о реальном расхождении в макроструктуре ультрафиолетовых спектров этого класса звезд.

Из всего того, что было сказано в этом и предыдущем разделах, следует, что существующая спектральная классификация звезд (по крайней



Рис. 11. Макроструктура ультрафиолстовых спектров группы из четырех звезд класса А0 по данным «Ориона-2» (точки). Представлены звезды как с предельно мощной депрессией на 2800 и 2400 А (НD 34380), так и почти без звметных признаков указанной депрессии (НD 35848).

90

мере класса A) недостаточна для описания их непрерывных спектров з ультрафиолете. Если в дальнейшем подтвердится реальность разнообразия в макроструктуре спектров в ультрафиолете, то их спектральная классификация очевидно потребует введения нового параметра (к обычному обозначению подкласса), учитывающего ту или иную особенность в микроструктуре спектра в ультрафиолете (2000—3000 A).

7. Уточнение характеристик горячих звезд по данным их ультрафиолетовых спектров

Мы почти завершили более или менее подробный анализ ультрафиолетовых спектров горячих звезд, входящих в наш список (табл. 1), на основс материалов «Ориона-2». Одно из следствий, к которому привел этот анализ, связано с пересмотром или уточнением некоторых параметров исследуемых звезд — спектрального класса, класса светимости, эффективной температуры, расстояния и т. д. В других случаях речь идет даже о нахождении ранее неизвестного параметра той или иной звезды, основываясь на данных ее ультрафиолегового спектра. Поэтому будет небезынтересным собрать и представить все эти пересмотренные, уточненные или просто впервые найденные параметры исследованных нами звезд отдельно в табл. 5. В эту таб-

Таблица 5

HD	Сцектр	r, nc	Mr	Спектр	Tadıqı	₩ (2800) A	∆m(2800)
32446	B3	1000	-1.6	B3V	20000	_	0
33459	B8	600	-1.4	B8III	12600	-	-0.17
33542	B 8	200	0.0	B8V	12600	9	-0.04
33601	B 8	1000	-2.4	B8III	12600	5.0	0
34920	A0	300	+1.6	B 8	12600	6.0	0
33460	B9	1000	-1.0	B9III	12600	6	0
33853	B9	300	+0.5	B9V	12600	6.4	0
34806	B9	800	-0.5	B9IV	12600	-	-0.06
34985	B 9	500	+0.7	B9V	12600	-	-0.14
34131	A0	400	+1.1	A0V	10000	5.4	-
34680	A0	300	+ 1.1	A0V	10000	8.0	
34788	A0	200	+1.1	A0V	10000	8.6	
33297	AO	240	+1.1	A0V	10000	7.2	0.07
34299	A0	250	+1.1	A0V	10000	_	0.17
34380	A0	300	+1.0	A0V	10000	8.5	0.24
34399	.40	300	-1.0	A0V	10000	5.2	0.13
35099	i A0	800	+0	A0III	10000	6.5	-0.05
35848	A0	300	+1.4	A0V	10000		-0.08
32296	A2	100	1.6	A2V	9150	30	0.24
33332	A2	100	+1.6	A2V	9150	20	0.39
34268	A2	250	-1.6	A2V	9150	14.6	0.0
35170	A2	200	+2.1	A2V	9150	10	0.18
35252	A2	250	+1.6	A2V	9150	14	0.29
32619	A4	100	+2.0	A4V	8400	14	0.28
32358	A5	230	+2.1	A5V	8400	5	0
1518		600	-0.7	B5V	15700	—	

Расстояние, абсолютная светимость, спектральный класс, эквивалентная ширина линии поглощения 2800 MgII и величина депрессии это (2800) по данным «Ориона-2» лицу включены также звезды, новое определение спектрального класса которых по данным их ультрафиолетовых спектров (столбец 5) подтверждает ранее известную классификацию (столбец 2). Эначения эффективных температур (столбец 6) приведены по результатам сопоставления наблюдаемых непрерывных спектров с моделями Михаласа [8], а в одном случае звезда HD 34380 — моделью Фоулера [24]. В третьем и четвертом столоцах приведены верхний предел расстояния до звезды и ее абсолютная светимость, определенная также на основе ультрафиолетовых спектров звезд, полученных с помощью «Ориона-2».

8. Депрессия непрерывного спектра на 2800 Å

Одной из примечательных особенностей непрерывного спектра звезд типа А является резкое различие между наблюдаемыми и расчетными величинами интенсивностей излучения в области спектра короче 3000 А. Как уже говорилось выше, депрессия излучения у втих звезд обусловлена тем, что в используемых нами моделях Михаласа [8] не был учтен эффект блокировки непрерывного спектра спектральными линиями поглощения. Это явление ранее было обнаружено Андерхилл [14] у ряда звезд поздних В и ранних А классов. Согласно же Питерману [34] эффект блокирования спектральными линиями может иметь место даже у ранних В звезд, тем самым затрудняются наблюдения истинного континуума их спектров. На рис. 10 и 11 вто наглядно продемонстрировано: приводятся две модели — небланкетинг Михаласа ($T_{style} = 9150^{\circ}$ K [8]) и бланкетинг Фоулера для Сириуса [24], в которой учтено влияние 28748 линий металлов. При сравнении со второй моделью депрессии как таковой не существует.

Однако обращает на себя внимание тот факт, что иногда наряду с оснозной депрессией — непрерывной и плавной — с максимумом на 2400 A, наблюдается также локальная депрессия в районе 2800 A. Сама депрессия довольно общирная, начинается примерно с 2900 A и простирается до 2700 A, то есть имеет ширину порядка 200 A, почти независящую от спектрального класса. Однако глубина депрессии или ее мощность меняется по мере передвижения в сторону поздних спектральных классов. Это наглядно видно из рис. 12, где представлена последовательность фрагментов микрофотометрических записей спектров пяти звезд, охватывающих классы от B3 до A4. Для сравнения приведена также микрофотометрическая запись спектра одной звезды класса F0; этот класс как бы находится на «пути» дальнейшего роста депрессии, достигающей максимальной величины, согласно [26], у звезд класса F5—G0.

Величину или мощность депрессии в максимуме, то есть на 2800 A, очевидно можно представить численно, в эвездных величинах $\Delta m(2800)$; она характеризует глубину самой депрессии, до ее самой наинизшей точки. считая от уровня теоретического непрерывного спектра.

Величины Δm (2800) для рассмотренных нами звезд, полученные в результате обработки их «орионовских» спектрограмм, представлены в по-



Рис. 12. Последовательность фрагментов микрофотометрических записей спектров звезд В3—F0, иллюстрирующая зависимость депрессии непрерывного спектра на 2800 А от спектрального класса звезды. Все спектрограммы получены с помощью «Ориона-2» и принадлежат следующим звездам: В3—HD 32446, B8—HD 33542, A0—HD 34380, A2—HD 33332, A4—HD 32619, F0—HD 34331.

следнем столбце табл. 5. Заметно существование довольно четко выраженной корреляции между величиной $\Delta m(2800)$ и спектральным классом; в численном виде эта корреляция представлена во втором столбце табл. 6 (усредненные величины), в скобках дано число звезд, использованных для получения средней величины. Аналогичные измерения, проведенныс А. С. Акопяном [27] для звезд спектрального класса A0 и A2, дают те жс величины для $\Delta m(2800) - 0^m 1$ для A0 и $0^m 23$ для A2.

Дж. Б. ОГАНЕСЯН

Обращает на себя внимание небольшая по величине, но отрицательная по знаку депрессия у звезд спектрального типа В. В данном случае она нереальна, поскольку небольшие депрессии у использованных нами звезд класса А0 для построения редукционной кривой телескопа были игнорнкласса А0 для строения редукционной кривой телескопа были игнорнкласса А0 для строения редукционной кривой телескопа были игнорнкласса А0 для строения величины Ами (2800) табл. Э

В табл. б. в третьем столбце, приведены также величины Δm (2800), найденные по материалам ОАО-2 [14] для ряда звезд спектральных классов ВЗ—А5; каждая величина получена по измерениям одной звезды. Как видим. согласие между результатами «Ориона-2» и ОАО-2 достаточно хорошее.

Таблица б

Зависимость относительной мощности депрессии

на 2800 А от спектрального класса звезды по данным "Ориона-2" и ОАО-2

Спектральн. класс	"Орион-2"	OAO-2
B3	0‴0 (1)	071
B8	-0.05 (4)	0.14
B9	-0.05 (4)	-
A0	0.08 .(6)	0.1
A2	0.23 (5)	0.23
A4	0.28 (1)	0.27
		1

Что касается природы самой депрессии, то она ясна — слияние большого числа линий поглощения, принадлежащих главным образом нейтральным и однажды понизованным металлам. Однако не подлежит сомнению исключительная роль однажды ионизованного магния в образовании указанной депрессии у звезд ранних классов, а также нейтрального магния у поздних.

9. Об одной аномальной звезде класса А2

Звезда HD 32296 класса A2, входящая в наш список (табл. 1), по структуре непрерывного спектра как будто не отличается от обычных звезд этого класса. В частности, в ее спектре наблюдаются обычные депрессии, глубокие и достаточно широкие, на 2400 и 2800 А.

Однако в одном отношении эта звезда резко отличается от обычных звезд класса А2. Мы имеем в виду наличие в ее спектре исключительна мощной линии поглощения 2800 MgII. На рис. 13, где представлены микрофотометрические записи двух спектрограмм, полученных с помощью «Ориона-2» с экспозициями 1,5 мин (кадр F 20) и 18 мин (F 21), эта линия. точнее, сумма четырех близлежащих линий, принадлежащих ионизованному магнию, выделяется весьма четко и уверенно. Величина эквивалентной ширины этой линии, найденная по обеим спектрограммам, оказе-



Рис. 13. Микрофотомстрические записи друх спектрограмм аномальной звезды HD 32296 класса A2, полученных с экспозициями 1,5 мин (F 20) и 18 мин (F 21). Видна аномально сильная линия ионизованного магния на 2800 A и нейтрального магния на 2852 A.

лась почти одинаковой и равной 30 A (1). Это ло крайней мере в три раза больше, чем мы имеем у обычных звезд класса A2. у которых, согласно [26, 28], эквивалентная ширина линии 2800 Mgll в среднем равна 8—10 A. Более того, найденная величина W(2800) = 30 A обычно характерна для звезд класса F0 и позднее. Усомниться в правильности классификации рассматриваемой звезды вряд ли есть основание; во всяком случае на ее принадлежность классу A2, вернее, ранним подклассам A указывает не только найденное нами распределение непрерывного спектра (рис. 8), но даже простое сопоставление микрофогометрических записей ультрафиолетовых «орионовских» спектров звезд разных классов, в том числе F0 (разумеется, путем подбора одинаковых по плотности почернения снимков).

В отмеченной особенности — исключительно большая мощность линич 2800 MgII — и заключается аномальность звезды HD 32296. Такие звезды, по-видимому, не составляют большой редкости. Во всяком случае, еще одна звезда из табл. 1, HD 33332, класса A2, имеет сильную линию поглощения ионизованного магния W (2800) = 20 A.

Две звезды класса A2 с аномально сильной линией 2800 MgII, — конечно, не мало, чтобы можно было пройти мимо такого примечательного

факта. Но вместе с тем этого пока недостаточно. чтобы делать из этого да. леко идущие выводы. Что касается причин указанной аномальности, то наиболее очевидное допущение — аномально высокое содержание магния » фотосферах указанных звезд приведет к тому, что полное количество ноноз. магния N у них должно быть. по крайней мере. в десять раз больше, чем у обычных звезд класса А2 (для сильных линий N~W²). Так ли это? Трудно ответить на этот вопрос, не располагая дополнительными данными. В. всяком случае, мы не должны исключить и другие возможные причины указанной аномальности. связанные, в частности, со структурой и физическим состоянием самой фотосферы, специфическими условиями переноса лучистой энергии. отличающимися от тех. что лежат в основе существующих теорий звездных фотосфер. Формально указанную аномальность можно объяснить, сделав допущение о принадлежности рассмотренной звезды к группе сверхгигантов: тогда, в силу ее большой удаленности, можно иметь сколь угодно большую силу линии 2800 MgII за счет межзвездного поглощения. Но в этом случае должно быть r ~ 6000 пс и M ~ -- 6 или -- 7^m, что мало вероятно. Кроме того, ультрафиолетовый конец спектра рассмотренной звезды, должен быть сильно подавлен межэвездным поглощением, чего не наблюдается (см. рис. 8). Поэтому причину указанной аномальности следует искать скорее всего в самой фотосфере звезды.

На спектрограмме звезды HD 32296. полученной с экспозицией 15 мин (F 20), достаточно уверенно выделяется также линия 2852 MgI; по нашим измерениям ее эквивалентная ширина равна 8 *A*, то есть тоже аномально высокая. Уверенно выделяются также две группы линий, принадлежащие однажды ионизованному железу: 2755 FeII и 2712 FeII; эти линии впервые были обнаружены в спектре Канопуса [29] и Веги [30], а позднее в спектре Сириуса [31]. На длинноволновой части спектра удалось отождествить линию 3080 TiII, которая. согласно [26], является постоянным спутником линии 2800 MgII в звездных спектрах. Реальное количество линий поглощения, которые можно выделить достаточно уверенно путем сравнения спектрограмм с обоих фотоснимков (F 20 и F 21), значительно больше.

10. Эквивалентная ширина линин 2800 Mg II

Линия 2800 MgII выделяется на наших спектрограммах не всегда четко и уверенно, особенно у звезд класса В. Поэтому найденные нами величины эквивалентной ширины этой линии носят оценочный харақтер; они приведены в последнем столбце табл. 5. По порядку величины эти результаты находятся в хорошем согласии с тем, что было известно ранее [26, 28].

Следует еще раз напомнить, что величины W (2800), полученные на материале «Ориона-2» [26, 28], представляют заниженную оценку, поскольку в районс 2800 А наблюдается депрессия излучения, затрудняющая проведение точного уровня непрерывного спектра. Даже использование

уровня непрерывного спектра на 2700 или 2900 А в качестве истинного не гарантирует нас от избежания ошибок по крайней мере в случае звезд класса А, поскольку и у них уровень непрерывного спектра на 2700 А занижен.

Выводы

Результаты обработки ультрафиолетовых спектрограмм, полученных в побласти длин волн короче 3000 *А* и до 2000 *А* с помощью космической робсерватории «Орион-2» для 26 горячих звезд спектрального класса IB3—А5, позволяют сделать следующие выводы.

1. Существуют звезды класса В, для которых наблюдаемое распределение энергии в ультрафиолете находится в согласии с теоретически предвычисленным распределением для ЛТР моделей, без учета влияния линий поглощения, при известной для данной звезды эффективной температуре и абсолютной светимости. В одном случае (HD 34920) согласие между паоблюдениями и теорией может иметь место при значениях эффективной температуры, отличных от известных для этой звезды величин.

2 У звезд класса А0—А2 наблюдаемое распределение энергии в ультрафиолете (2000—3000 А) резко отличается от теоретической модели, и которой не учтен эффект блокирования линиями поглощения (сетка моделей Михаласа), и находится в хорошем согласии с моделью, где этот эффект учитывается («бланкетинг» модель Фоулера).

3. Показано, что макроструктура непрерывного спектра у разных звезд класса A2 в области длин волн 3000—2000 А может существенно отличаться друг от друга (рис. 10). Такая же картина наблюдается и у звезд класса A0 (рис. 11).При этом у одних звезд может иметь место одна крайность, то есть хорошее согласие наблюдений с «бланкетинг» моделью (HD 34380, 32296, 33332), у других — хорошее согласие с «небланкетинг» моделью (HD 35848).

4. Разнообразие в макроструктуре ультрафиолетовых спектров (2000-3000 А) горячих звезд велико и оно не может быть представлено существующей классификацией звездных спектров. По-видимому, в будущем, по мере накопления новых, более надежных данных, станст необходимым введение нового параметра, учитывающего различие в макроструктуре ультрафиолетовых спектров звезд одного и того же подкласса.

5. Установлено, в согласии с Андерхилл [14], существование депрессии в непрерывном спектре горячих звезд на 2400 *A*, едва заметной у звезд класса В3 и достаточно мощной у классов А2—А4. Сама депрессии вызвана эффектом блокировки непрерывного спектра линиями поглощечия, принадлежащими нейтральным и понизованным металлам.

6. Установлено существование депрессии в непрерывном спектре на 2800 А, вызванной в основном дублетом 2800 MgII, а также 2852 MgI и группой линий ионизованного железа и никеля. Эта депрессия наименьшая 7—144 у звезд ВЗ и достигает значительной мощи как по протяженности (200-300 А), так и по глубине (~0#4) уже у первых подклассов А.

300 А), так и по глубине (~0. ч) настраных звезд типа А2 с необычай-7. Установлено существование аномальных звезд типа А2 с необычайно мощной линией 2800 MgII (HD 32296, рис. 13). Причина подобной аномальности не совсем ясна. Если, например, она связана с относительным мальности не совсем ясна. Если, например, она связана с относительным содержанием самого магния, то оно у этих аномальных звезд должно быть в десять раз больше, чем у обычных звезд этого подкласса.

8. Результаты ультрафиолетовых спектрофотометрических наблюдений горячих звезд позволяют в принципе внести уточнения в основные характеристики исследованных звезд (табл. 2). Эти результаты указывают вместе с тем на недостаточность и неполноту существующих теорий звездных фотосфер для объяснения всего разнообразия наблюдаемых фактов, относящихся к ультрафиолетовой области спектра.

Չ. Բ. _ՈՎ:ԱՆՆԻՍՅԱՆ

ՋԵՐՄ ԱՍՏՂԵՐԻ ՈՒԼՏՐԱՄԱՆՈՒՇԱԿԱԳՈՒՅՆ ՍՊԵԿՏՐԱԼՈՒՍԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆ

Ամփոփում

Բերված են «Օրիոն-2» աստղադիտարանի օգնունյամբ ստացված B3—A5 սպեկտրալ դասի 26 աստղերի ՝ամար սպեկտրալուսաչափական արդյունքները, սպեկտրի ուլտրամանուշակագույն մասում՝ 3000 Å-ից մինչև 2000 A ալիջային երկարունյան տիրույնում։

Դիտումներից ստացված B դասի աստղերի անընդՏատ սպեկտրներում էներգիայի բաշխումները 3800—2000 Հ ալիքային երկարությունների տիրույթում լավ են Տամընկնում տեսության Տետւ

A դասի աստղերից մեծ մասի մոտ դիտված էներգիաների բաշխումները մոտիկ ուլտրամանուշակագույնում խիստ են տարբերվում՝ կլանման գծերի ազդեցությունը Տաշվի չառած տեսական մողելներից։

A0--A2 սպեկտրալ դասի աստղերի անընդՏատ սպեկտրների մակրոկառուցվածքում նկատված է ուժեղ ցրվածություն՝ սպեկտրի 3000-2000 A տիրույթում։

Ջերմ աստղերի անընտրքատ սպեկտրներում նկատված է լայն դեպրեսիա, որը մաջսիմումի է քասնում 2400 . Հալիջային երկարունյան վրա։ Այդ դեպրեսիան քազիվ նկատելի է B3 դասի աստղերում և բավական ուժեղ է A2—A4 տիպերում։ Այդ երևույնը քետևանց է խոնացված և չեզոց մետաղների կլանման գծերի.

2800 A ալիթային երկարունյան վրա նույնպես նկատված է դեպրեսիայի առկայունյուն, որը նույլ է B3 տիպի աստղերում և հասնում է մեծ հզորունյան վաղ տիպի աստղերում ինչպես սպեկտրի խորունյամբ (--0^m4) այնպես էլ ձգվածունյամբ (200-300 A)։

Հայտնաբերված է, որ λ2800MgII և λ2852MgI կլանման գծերը ունեն անոմալ հղորություն A2 դասի 2 աստղերի (HD 32296, 33332) ապեկտրներում, ԵԹե այդ անոմալուԹյունը հետևանք է այդ աստղերի լուսոլորտներում մագնեղիումի բաղադրուԹյամբ, ապա մագնեզիումի առատուԹյունը նրանց մոտ կարող է 10 անգամ մեծ լինել, ջան այդ նույն ենԹադասի սովորական աստղերի մոտ է։

Ճշտված և որոշված է ուսումնասիրվող աստղերում նրանց ուլտրամանուշակագույն Տարաբերական սպեկտրալուսաչափական արդյունջներով մի բանի պարամետրեր՝ Տեռավորությունը, սպեկտրալ լուսավորությունը, էֆեկտիվ ջերմաստիճանը և այլն։

Ջերմ աստղերի անընդՀատ սպեկտրների ուլտրամանուշակագույն մասի (2000—3000 A) կառուցվածքը և առանձնահատկությունները, ցույց են տալիս գոյություն ունեցող աստղային լուսոլորտների մոդելների ոչ լիարժեքությունը բոլոր դիտողական փաստերի տարատեսակությունները բացատրելու համար։

J. B. OHANESYAN

ULTRAVIOLET SPECTROPHOTOMETRES OF HOT STARS

Summary

The results of the ultraviolet spectrophotometric measurements for 26 hot stars of B3 - A5 spectral types in the wavelength region shorter than 3000 A and up to 2000 A. The shortwave spectrograms of those stars were obtained with the help of the space observatory "Orion-2".

The observed relative energy distributions in the continuous spectra of B class in the wavelength interval 2800-2000 A turned out to be in good terms with the theory.

The observed energy distributions for the most A class stars in the near ultraviolet strongly differ from the theoretical model, in which the blocking effect by absorption lines is not taking into account.

A strong scatter in the macrostructure of the continuous spectra A0 and A2 spectral class in the wavelength 3000-2000 A is discovered.

The existence of a wide depression in the continuous spectra of hot stars with the maximum on 2400 A, hardly visible in the B3 class stars and powerful enough in the A2—A4 class stars, is fixed. The depression is caused by line absorption of the neutral and ionized metals.

The intensity and the power of the depression is offered to be use as a parameter for the spectral classification of stars.

Two anomalous A2 class stars (HD 32296, 33332) with the extraordinary powerful magnesium lines 2800 MgII and 2852 MgI are discovered. If this anomaly is evoked by the magnesium absorption in photosphere, the abudance of Mg should be 10 times as much as in the normal stars of this subclass.

Some parameters of the observed stars (distance, effective temp rature, luminosity class) are specsified, corrected and determined the results of their relative ultraviolet spectrophotometer.

The obtained results conserned with the structure and peculariti of the continuous spectras of hot stars in the ultraviolet (2000-3000 A indicate to the inadequacy of the existed star photosphere models f the explaining of all variety of the observed facts.

ΛΗΤΕΡΑΤΥΡΑ

- 1. Гурвалян Г. А., Кашин А. Л., Крмоян М. Н., Отанесян Дж. Б. Астрофизика, 1 177, 1974.
- 2. Озанесян О. В. Сообщ. БАО, 48, 14, 1976.
- 3. Гурзалян Г. А., Оганесян Дж. Б. Астр. ж., 48, 1289, 1971.
- 4. Malaise D., Gros M., Macau D. Intern. Rep. ROF 72. COSPAR. Konstanz, F.R.(1973.
- 5. Schild R., Peterson D. M., Oke J. B. Ap. J., 166, 95, 1971_
- 6. Гурзалян Г. А., Отанссян Дж. Б. Астрофизика, 9, 197, 1973.
- 7. Underhill A. B. Astron. Astrophys., 25, 175, 1973.
- 8. Mihalas D. Ap. J. Suppl. Ser. 9, No 92, 321, 1965.
- 9. Bernacca P. L., Molnar M. R. Ap. J., 178, 189, 1972.
- 10. Рустамбекова С .С. Сообщ. БАО, 48, 101, 1976.
- 11. Гурзалян Г. А., Оганесян Р. Х. Астрофизика, 11, 397, 1975.
- 12. Bless R. C., Savage B. D. Ap. J., 171, 293, 1972.
- 13. Wolf S. G., Kuhi L. V., Hayes D. Ap. J., 152, 871, 1968.
- 14. Underhill A. B. The Scientific Results from the OAO-2, ed. Code (NASA SP-310) p. 367, 1972.
- 15. Stecher T. P. A. J., 74, 96, 1969.
- 16. Sudbury G. C. M.N.R.A.S., 153, 241, 1971.
- 17. Bottemiller R. L. The Scientific Results from the OAO-2. et. Code (NASA SP-310), p. 505, 1972.
- 18. Doherty L. R. Ap. J., 178, 727, 1972.
- 19. Humphries C. M., Nandy K., Kantizas E. Ap. J., 195, 111, 1975. 20. Гургалян Г. А. Сообщ. БАО, 48, 5, 1976.
- 21. Elst E. W. Bull. Astron. Inst. Neth., 19, 50, 1966.
- 22. Underhill A. B. Ap. J. Suppl. Ser., 27. No 249, 359, 1974.
- 23. Kuruzz R. L., Peytremann E., Avertt E. N. SAO Reprint 209-101, 1972 (KPA).
- 24. Fowler J. A. Ap. J., 188, 295, 1974.
- 25. Evans D. C. The Scientific Results from the OAO-2, ed. Gode, (NASA SP-310), p. 321, 1972.
- 26. Гурзалян Г. А. РАЗР. 87, 289, 1975.
- 27. Аколян А. С. Сообщ. БАО, 48, 177, 1976.
- 28. Асатрян Р. С. Сообщ. БАО, 48, 187, 1976.
- 29. Kondo Y., Henize K. G., Kotila C. L. Ap. J., 159, 927, 1970.
- 30. Gurzadyan G. A., Ohanesyan J. B. Astron. Astrophys., 20, 321, 1972.
- 31. Spear G. G., Kondo Y., Hentze K. G. Ap. J., 192, 615, 1974.
- 32. Blanco V. M., Demers S., Danglass G., Fitzgerald M. Publ. of the US Naval Obs. Sec. Ser., 21, 1968.
- 33. Gurzadyan G. A. Space Sci. rev., 18, 95, 1975.
- 34. Peytremann E. Astron. Astrophys., 39, 393, 1975.