

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 11

АВГУСТ, 1975

ВЫПУСК 3

УЛЬТРАФИОЛЕТОВАЯ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ ГРУППЫ ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД В ПАРУСАХ

Г. А. ГУРЗАДЯН, Р. Х. ОГАНЕСЯН

Поступила 10 ноября 1974

Пересмотрена 22 января 1975

Приведены результаты измерений 62 ультрафиолетовых спектрограмм, полученных с помощью «Ориона-2» для группы из 12-и горячих звезд класса В в Парусах. Найденные из наблюдений и исправленные за эффект межзвездного седьмого поглощения распределения энергии в непрерывных спектрах этих звезд в интервале длин волн 3700—2200 Å хорошо согласуются с теорией.

Представлены наблюдаемые, а также исправленные за влияние межзвездного монохроматического магния величины эквивалентных ширины ультрафиолетового дублета 2480 Мж II для исследуемых звезд.

1. Наблюдения. В период проведения внеатмосферных наблюдений с помощью космической обсерватории «Орион-2» [1] были получены ультрафиолетовые спектрограммы, в области длин волн короче 3000 Å, для группы горячих звезд класса В, находящейся на южной полушере неба, в созвездии Парусов, в окрестностях звезды λ Vel. Список 12-и из этой группы звезд, изученных в первую очередь, приведен в табл. 1 с указанием, в частности, количества обработанных спектрограмм II. Спектры получены на фотопленке Кодак 103-0-1V с помощью менискового телескопа и объективной призмы, с экспозицией около 15 сек.

Здесь следует сделать следующее замечание. Во время программной работы «Ориона-2» на некоторых витках орбиты имели место случайные расстройтва следящей системы по одной из трех осей, к счастью, чаще всего по оси, перпендикулярной дисперсии. Обычно режим «расстройтва» сохранялся в течение данного витка орбиты и мог исчезнуть на следующем витке. Само расстройство заключалось в скачкообразном и ритмичном изменении положения оси стабилизации и кратковременной, но вполне устой-

чивой остановке всей системы в этом положении в течение 10—15 сек. В результате для одной и той же звезды мы имели на кадре большое количество узких, шириною около 0,1 мм, спектрограмм, расположенных строго параллельно друг другу и на одинаковых расстояниях друг от друга. Эффек-

Таблица 1

СПИСОК ИЗУЧЕННЫХ ЗВЕЗД

Звезда	α_{1950}	δ_{1950}	V	Спектр	r (лс)	n
HD 76838	$8^h 55^m 3$	-43 54	7.31	B3 V	430	3
76898	8 55.7	-44 05	7.39	B5 V(B3)	500	7
77320	8 58.5	-42 59	6.08	B2-3 Ve	290	4
77475	8 59.4	-41 40	5.54	B5 V	190	15
78616	9 05.9	-44 26	6.78	B1	700	4
79186	9 09.2	-44 39	5.00	B3 Ia	1400	7
79416	9 10.5	-43 38	5.56	B8 V	200	4
79694	9 12.2	-43 56	5.84	B6 IV	190	2
79735	9 12.4	-43 01	5.24	B4 V	180	7
79900	9 13.4	-45 20	6.24	A0	140	5
80205	9 15.1	-44 48	6.73	A0	140	1
SAO 221041	9 16.2	-45 26	7.2	B8	260	3

тивная экспозиция в таких случаях определялась нами, как правило, по известной полной продолжительности фотографирования данного кадра и полному количеству спектрограмм, зафиксированных для одной (яркой) звезды на этом кадре. В числе областей неба, экспонированных в таких условиях, оказалась и интересующая нас область вокруг λ Vel; для нее получены четыре кадра (F 53, F 54, F 55, F 56) с изображением многих сотен спектрограмм, часть которых и была использована в настоящей работе. На рис. 1 приведены образцы микрофотометрических записей этих спектров для двух из изученных звезд, по две записи на каждую звезду.

Денситометрические записи спектров сняты на микрофотометре МФ-4. Сама обработка спектрограмм произведена обычным способом. Остальные подробности, касающиеся, в частности, калибровки аппаратуры и стандартизации фотопленки, приведены в [2, 3].

2. *Распределение энергии в непрерывном спектре.* Для указанных в табл. 1 звезд всего были обработаны 62 спектрограммы. Измерения их непрерывных спектров с коротковолновой стороны были доведены до 2400 Å, иногда до 2200 Å. Результатом спектрофотометрических измерений явилось нахождение наблюдаемого распределения энергии, то есть величины относительной интенсивности, выраженной в звездных величинах Δm , на дан-

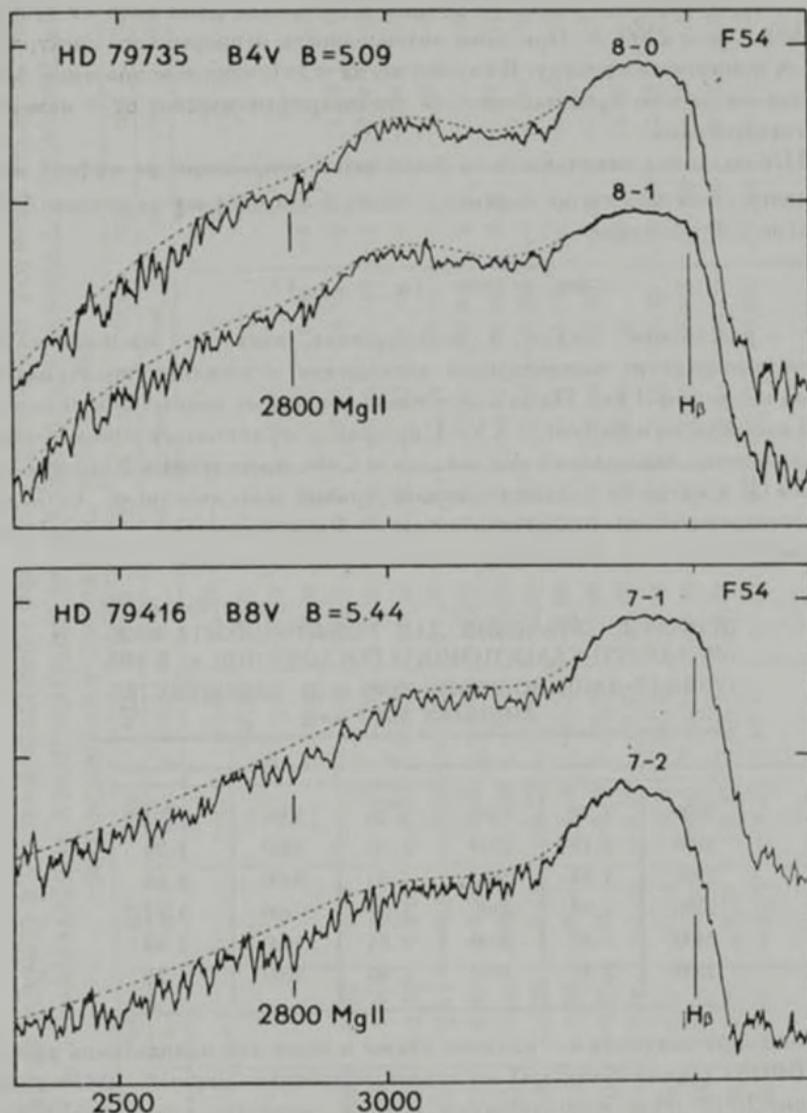


Рис. 1. Образцы микрофотометрических записей ультрафиолетовых спектров звезд HD 79735 и HD 79416, по два спектральных снимка для каждой звезды, полученных с помощью «Орiona-2».

ной волне непрерывного спектра звезды в интервале длин волн от 3700 Å до 2400 Å или 2200 Å. При этом интенсивность непрерывного спектра на 3200 Å принята за единицу. В случае, когда $n > 1$, числовое значение Δm_λ для данной звезды представлено как среднеарифметическое от n измеренных спектрограмм.

Наблюдаемые величины Δm_λ были затем исправлены за эффект межзвездного селективного поглощения, то есть были найдены величины Δm_λ^* согласно соотношению:

$$\Delta m_\lambda^* = \Delta m_\lambda - (a_\lambda - a_{3200}) r, \quad (1)$$

где r — расстояние звезды в килопарсеках взято в основном из [4].

a_λ — коэффициент межзвездного поглощения в звездных величинах на данной волне и на 1 кпс. Из-за отсутствия конкретных данных для интересующей нас области неба (около λ Vel), пришлось ограничиться использованием результатов наблюдений над звездой α Cen, проведенных Блесом и Саваджем [5]. Снятые из среднесглаженной кривой зависимости a_λ от λ для этой звезды величины a_λ , рассчитанные на 1 кпс, приведены в табл. 2. Эти данные были использованы нами при нахождении величины Δm_λ^* .

Таблица 2
ПРИНЯТЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ КОЭФФИЦИЕНТА МЕЖЗВЕЗДНОГО СЕЛЕКТИВНОГО ПОГЛОЩЕНИЯ a_λ В ИНТЕРВАЛЕ ДЛИН ВОЛН 3700—2000 Å (В ЗВЕЗДНЫХ ВЕЛИЧИНАХ НА 1 кпс)

λ , Å	a_λ	λ , Å	a_λ	λ , Å	a_λ
2000	2 ^m 80	2600	2 ^m 20	3200	1 ^m 75
2100	3.15	2700	2.10	3300	1.70
2200	3.24	2800	2.00	3400	1.66
2300	3.00	2900	1.92	3500	1.62
2400	2.60	3000	2.85	3600	1.60
2500	2.35	3100	1.80	3700	1.56

Числовые значения a_λ найдены также и нами для направления звезды SAO 040183 (около Капеллы) на основе обработки данных наблюдений «Ориона-2» [6]. При этом значения a_λ для интервала длин волн 3700—2500 Å оказались совпадающими со значениями a_λ , данными Блесом и Саваджем. Более того, найденные в обоих случаях зависимости a_λ от λ хорошо представляются законом вида $a_\lambda \sim \lambda^{-1}$ в указанном выше интервале длин волн. Отсюда мы можем сделать заключение, что, во-первых, закон межзвездного поглощения в ультрафиолете по крайней мере в двух направлениях — Возничего и α Cen и до расстояний 1000 парсек один и тот

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ В УЛЬТРАФИОЛЕТОВОЙ ОБЛАСТИ СПЕКТРА 12-И ГОРЯЧИХ ЗВЕЗД В ПАРУ-САХ: Δm , И Δm_1^* — НАБЛЮДАЕМЫЕ И ИСПРАВЛЕННЫЕ ЗА МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ (ПРИНЯТА Δm (3200 Å) = 0)

λ	HD 76838		HD 76898		HD 77320		HD 77475		HD 79186		HD 79416	
	Δm	Δm_1^*										
2200	—	—	—	—	-0.70	-1.15	—	—	—	—	—	—
2250	—	—	—	—	-0.68	-1.10	—	—	—	—	—	—
2300	—	—	—	—	-0.65	-1.02	-0.40	-0.65	—	—	—	—
2350	—	—	—	—	-0.65	-0.96	-0.35	-0.56	+0.50	-0.96	—	—
2400	-0.60	-0.96	-0.70	-1.12	-0.68	-0.92	-0.43	-0.60	+0.31	-0.87	-0.55	-0.72
2450	-0.60	-0.91	-0.70	-1.06	-0.73	-0.93	-0.50	-0.64	+0.15	-0.85	-0.70	-0.83
2500	-0.52	-0.78	-0.67	-0.97	-0.73	-0.90	-0.55	-0.67	+0.10	-0.73	-0.63	-0.72
2600	-0.45	-0.64	-0.53	-0.75	-0.63	-0.75	-0.50	-0.59	-0.04	-0.67	-0.48	-0.54
2700	-0.35	-0.50	-0.50	-0.67	-0.48	-0.58	-0.35	-0.42	-0.075	-0.56	-0.40	-0.45
2800	-0.25	-0.36	-0.30	-0.43	-0.23	-0.30	-0.25	-0.30	-0.050	-0.38	-0.25	-0.28
2900	-0.10	-0.17	-0.18	-0.26	-0.10	-0.15	-0.10	-0.13	-0.050	-0.29	-0.13	-0.16
3000	-0.04	-0.08	-0.11	-0.16	-0.05	-0.08	-0.10	-0.12	-0.035	-0.17	-0.11	-0.12
3100	-0.03	-0.05	0	-0.03	-0.03	-0.04	-0.03	-0.04	-0.010	-0.08	-0.04	-0.06
3300	+0.06	+0.08	+0.06	+0.09	+0.05	+0.07	+0.08	+0.09	0	+0.10	+0.09	+0.10
3400	+0.14	+0.18	+0.14	+0.19	+0.11	+0.14	+0.17	+0.18	-0.03	+0.155	+0.18	+0.21
3500	+0.24	+0.29	+0.24	+0.30	+0.19	+0.24	+0.29	+0.32	+0.065	+0.245	+0.23	+0.25
3600	+0.40	+0.46	+0.35	+0.42	+0.28	+0.33	+0.41	+0.44	+0.055	+0.260	+0.20	+0.23
3700	+0.42	+0.50	+0.25	+0.34	+0.25	+0.32	+0.49	+0.52	+0.050	+0.310	+0.07	+0.11

Таблица 3 (продолжение)

λ A	HD 78616		HD 79694		HD 79735		HD 79900		HD 80205		SAO 221041	
	Δm_1	Δm_2										
2250	—	—	—	—	-0.75	-0.98	—	—	—	—	—	—
2300	-0.40	-1.28	—	—	-0.72	-0.94	—	—	—	—	—	—
2350	-0.43	-1.16	-0.62	-0.83	-0.75	-0.97	—	—	—	—	—	—
2400	-0.48	-1.07	-0.65	-0.82	-0.75	-0.96	-0.33	-0.45	—	—	—	—
2450	-0.57	-1.08	-0.61	-0.75	-0.72	-0.94	-0.41	-0.51	—	—	—	—
2500	-0.62	-1.03	-0.62	-0.74	-0.68	-0.78	-0.37	-0.45	-0.01	-0.11	-0.40	-0.56
2600	-0.53	-0.94	-0.50	-0.59	-0.60	-0.68	-0.24	-0.30	-0.01	-0.07	-0.29	-0.41
2700	-0.35	-0.60	-0.42	-0.49	-0.45	-0.51	-0.23	-0.28	-0.03	-0.08	-0.22	-0.31
2800	-0.21	-0.39	-0.35	-0.40	-0.33	-0.37	-0.25	-0.28	-0.035	-0.07	-0.19	-0.26
2900	-0.04	-0.16	-0.24	-0.27	-0.23	-0.26	-0.24	-0.26	-0.040	-0.07	-0.14	-0.18
3000	-0.05	-0.12	-0.18	-0.20	-0.14	-0.16	-0.10	-0.12	-0.025	-0.04	-0.06	-0.09
3100	-0.03	-0.06	-0.07	-0.08	-0.09	-0.11	-0.06	-0.07	-0.06	-0.07	-0.01	-0.03
3300	+0.05	+0.09	+0.10	+0.11	+0.12	+0.13	+0.07	+0.08	+0.025	+0.04	+0.06	+0.07
3400	+0.16	+0.23	+0.17	+0.19	+0.23	+0.15	+0.06	+0.08	+0.040	+0.06	+0.12	+0.14
3500	+0.25	+0.34	+0.19	+0.22	+0.32	+0.35	-0.03	0.00	+0.055	+0.08	+0.20	+0.24
3600	+0.42	+0.52	—	—	+0.41	+0.44	-0.21	-0.18	+0.00	+0.03	+0.25	+0.30
3700	+0.60	+0.70	+0.27	+0.32	+0.43	+0.46	—	—	—	—	—	—

же и, во-вторых, этот закон до 2500 Å не отличается от того, что мы имели в случае обычного оптического диапазона.

С использованием данных табл. 2 и известных расстояний изучаемых нами звезд найдены величины Δm_1^* , которые приведены, наряду с Δm_1 , в табл. 3 в зависимости от длины волны и для каждой звезды в отдельности. Были рассчитаны также среднеквадратичные ошибки для одного определения Δm_1 : она оказалась равной $0^m 10$ —(≈ 15 или порядка 10—15% на разных участках длин волн от 2300 Å до 3300 Å).

С целью сравнения результатов наших наблюдений с теорией, найденные величины Δm_1 и Δm_1^* нанесены на рис. 2 и 3 наряду с теоретическими кривыми распределения непрерывного спектра, построенными по данным Михаласа [7] при заданной эффективной температуре фотосферического излучения исследуемой звезды и при $\lg g = 4.0$.

Представленные на рис. 2 и 3 результаты и их сопоставление с теорией позволяют сделать ряд интересных выводов.

Прежде всего, найденные непосредственно из наблюдений распределения энергии в непрерывных спектрах исследуемых звезд (кружки) существенно отличаются от теоретически ожидаемых распределений. При этом расхождение между наблюдениями и теорией тем значительнее, чем больше расстояние звезды от нас, и оно исчезает почти полностью, когда звезда расположена совсем недалеко от нас. Примером первого случая может служить звезда HD 76616 ($r = 700$ лс) и в особенности HD 79186 ($r = 1400$ лс), примером второго — HD 79416, HD 79694 или HD 80205, расстояние которых порядка 100—200 лс.

Однако картина резко меняется, когда принимается во внимание действие межзвездного селективного поглощения. С учетом этого эффекта найденное из наблюдений распределение энергии в непрерывном спектре изученных нами звезд уже находится в согласии с теорией, по крайней мере до 2400—2200 Å. Особенно примечательна в этом отношении уже упоминавшаяся звезда HD 79186, для которой все точки ложатся на теоретической кривой почти без отклонений. Также обстоит дело и в случаях звезд HD 79735, 79694, 80205 и т. д.

Хорошее согласие наблюдений с теорией позволяет устранить некоторые разногласия, существующие в оценках спектрального класса или расстояний той или иной звезды. Например, по одним определениям звезда HD 79186 принадлежит к спектральному классу B5 Ia при расстоянии 1600 лс [4], а по другим определениям она должна быть типа B3 Ia, а расстояние — 1400 лс [8, 9]. Наши измерения лучше согласуются со вторым определением. Также обстоит дело и со звездой HD 76898; по одним оценкам ее спектр должен быть B5, по другим — B3 [12], а по нашим данным хорошее согласие наблюдений с теорией получается, если принять ее спектр B3.

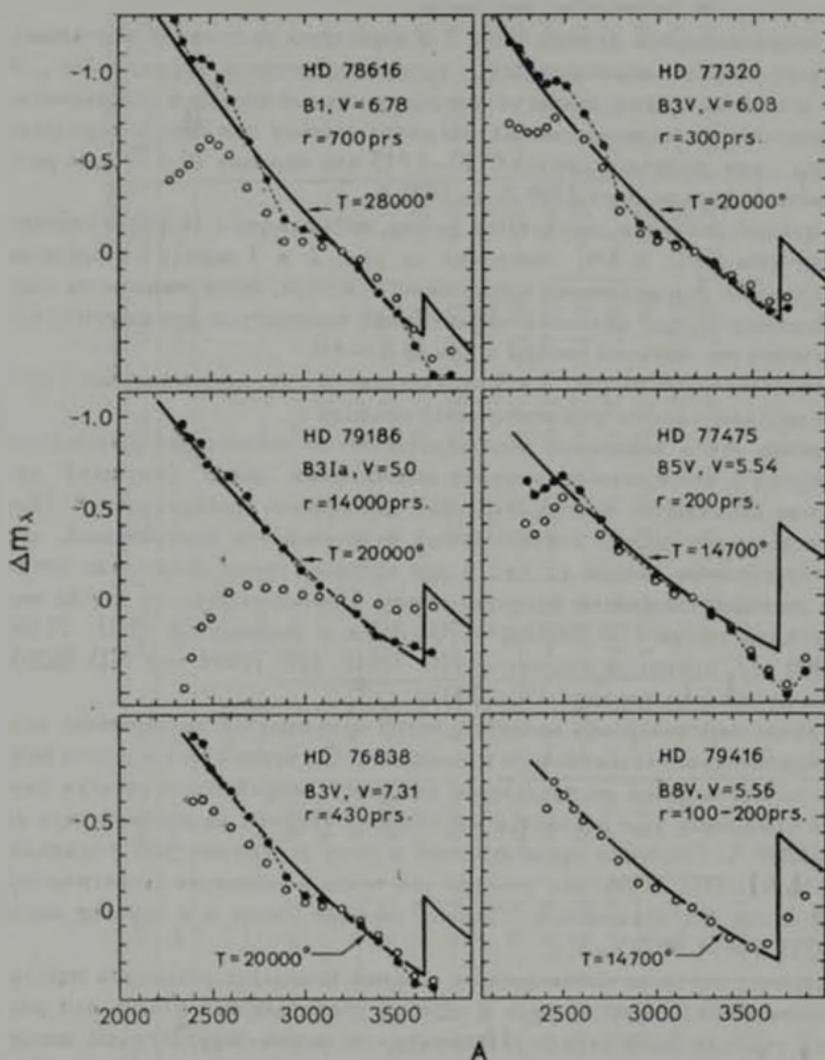
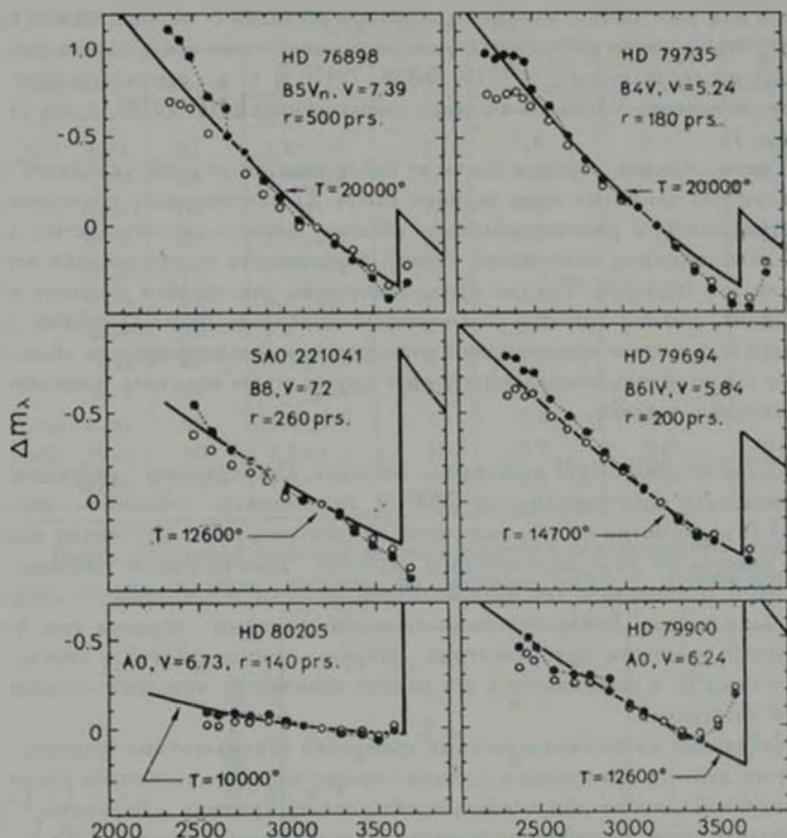


Рис. 2. Наблюдаемые (кружки) и исправленные (точки) за эффект межзвездного селективного поглощения распределения энергии в спектрах шести В звезд в Парусах. Сплошные кривые — теория.

Еще один пример. В каталогах есть указание о принадлежности звезды HD 79900 к спектральному классу A0. Между тем, найденное нами распределение энергии в ультрафиолете этой звезды указывает скорее всего на ее принадлежность к классу B8 с эффективной температурой 12600 К. Кста-

ти, класс B8 лучше соответствует также известным цветовым характеристикам этой звезды ($B-V = -0.08$, $U-B = -0.26$) [12].



A

Рис. 3. Наблюдаемые (кружки) и исправленные (точки) распределения энергии в спектрах четырех В и двух А0 звезд в Парусах. Сплошные линии — теория.

По-видимому, подлежит уточнению также расстояние звезды HD 76898; вероятно, оно должно быть не более 300 пс (взамен 500 пс), и при этом согласие наблюдений с теорией будет полное, если считать, что существующее оно должно быть, вероятно, не более 300 пс (взамен 500 пс), и при этом согласие наблюдений с теорией будет полное, если считать, что существующее $r = 500$ пс при условии, что спектр звезды есть B1 ($T_{\text{eff}} = 28000^\circ\text{K}$).

Мы пришли к заключению, что для нормальных звезд, какими являются рассмотренные в настоящей статье объекты, наблюдаемое распределение энергии в их спектрах, с учетом возможных уточнений спектральных классов или расстояний, находится в полном согласии с теорией. Важно отметить, что согласие наблюдений с теорией имеет место как в случае звезд главной последовательности (HD 76838, 79416 и т. д., принадлежащие к классу светимости V), так и в случае сверхгигантов (HD 79186, класс светимости I).

Таким образом, хорошее согласие наблюдений с теорией указывает на правильность принятых нами величин (табл. 2) межзвездного поглощения в ультрафиолете в рассматриваемой области неба — обстоятельство, отнюдь немаловажное, если иметь в виду возможность использования этих величин и в будущем. Трудно представить себе, что ошибки в наших наблюдениях, с одной стороны, и возможные ошибки по части принятых допущений о характере межзвездного поглощения в рассматриваемой области неба — с другой, так компенсируют друг друга, чтобы получить совпадение наблюдений с теорией.

3. Дублет 2800 MgII в звездных спектрах. Спектральное разрешение «рионовских» спектрограмм на 2800 \AA сравнительно невысоко — около $20\text{--}24 \text{ \AA}$ и, несмотря на это, выделение на спектрограммах изучаемых нами звезд известного ультрафиолетового дублета ионизованного магния — 2800 MgII и измерение его эквивалентной ширины в некоторых случаях стало возможным. Трудности были вызваны главным образом тем, что ожидаемые величины эквивалентных ширин самого дублета в спектрах звезд класса В, в особенности в его ранних подклассах, невелики — порядка одного ангстрема.

Найденные из непосредственных измерений эквивалентные ширины W для этого дублета приведены в третьем столбце табл. 4 с указанием среднеквадратичной ошибки при n измеренных спектрограммах. Величины W исправлены затем за эффект межзвездного ионизованного магния, W_0 , следующим образом:

$$W_0 = W - W_0 = W - 0.14 \frac{r}{100}, \quad (2)$$

где r — расстояние звезды в парсеках, 0.14 \AA — эквивалентная ширина дублета 2800 MgII , соответствующая одному прохождению непрерывного излучения звезды через облако ионизованного магния размером в 100 pc в диаметре [10]. Величины как самих W , так и исправленных эквивалентных ширин W_0 приведены в двух предпоследних столбцах табл. 4. Наконец, в последнем столбце приведены величины теоретически ожидаемых эквива-

лентных шири, W_t , для звезд разных спектральных классов (разных эффективных температур) по данным [10, 11].

Таблица 4
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ДУБЛЕТА 2800 MgII У ЗВЕЗД СПЕКТРАЛЬНЫХ КЛАССОВ В1—А0

Звезда	Спектр	W^* (А) наблюдаем.	n	W_0 (А) мгзв.	W^* (А) исправл.	W_t (А) теоретич.
HD 78616	B1	3.2±0.8	4	1.0	2.2	0.544
77320	B2	2.7±0.4	4	0.4	2.3	0.651
76838	B3	4	1	0.6	—	0.767
79186	B3	3.5±0.7	3	2.0	1.5	0.767
79735	B4	2.1±0.4	8	0.2	1.9	1.4
77475	B5	4.5±0.7	3	0.3	4.2	1.8
76896	B5	5.4	1	0.7	4.7	1.8
7694	B6	4.7±1.3	2	0.3	4.4	2.1
79416	B8	5.6±1.6	2	0.3	5.3	3.8
SAO 221041	B8	3.8±0	2	0.4	3.4	3.8
HD 79500	A0	7.0±1.5	4	0.2	6.8	5.4
80205	A0	4.0	1	0.2	3.8	5.4

Ввиду невысокой точности наших измерений эквивалентных шири, делать далеко идущие выводы из данных табл. 4 преждевременно.

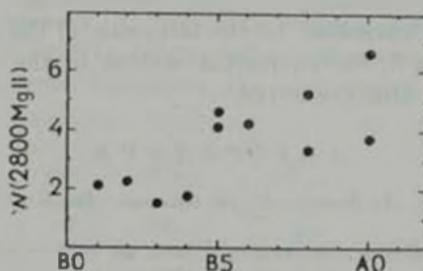


Рис. 4. Зависимость величин эквивалентных шири ультрафиолетового дублета ионизованного магния 2800 Mg II от спектрального класса в интервале классов В0—А0.

Это относится, в частности, к расхождениям, которые обнаруживаются между наблюдаемыми величинами W^* (2800 MgII) для звезд ранних подклассов В и их теоретически ожидаемыми величинами, хотя подобные расхождения были обнаружены и раньше [10]. В одном случае, однако,— мы имеем в виду звезду HD 79735, класса В4,— согласие наблюдаемой величины W^* (2800) с теоретической вполне хорошее, и в этом случае

мы имеем как раз наибольшее число измеренных спектрограмм ($n=8$). Вместе с тем, заметна тенденция увеличения эквивалентных ширины 2800 MgII с переходом от ранних спектральных классов к поздним даже в пределах одного спектрального подкласса B0—A0 (рис. 4). Для звезд класса B8—A0 наблюдаемые величины $W_{\lambda}(2800)$ оказались в согласии с теоретически ожидаемыми.

В заключение авторы выражают глубокую благодарность академику В. А. Амбарцумяну за интересное и разностороннее обсуждение настоящей работы, а также А. С. Акопяну за помощь, оказанную при измерениях спектрограмм.

Гарнийская лаборатория
космической астрономии

ULTRAVIOLET SPECTROPHOTOMETRY OF A GROUP OF HOT STARS IN VELA

G. A. GURZADYAN, R. KH. OHANESSYAN

The results of the measurements of the 62 ultraviolet spectrograms, obtained by means of „Orion-2“, for 12 B-type hot stars in Vela are given. The observed and corrected to the effect of interstellar selective absorption distributions of the energy in the continuous spectrum of the stars under examination are in good accordance with theory in the wavelength region 3700-2200 Å.

Observed and corrected to the influence of the interstellar ionized magnesium 2800 Mg II, the equivalent widths of the ultraviolet doublet, for these stars are also presented.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Г. А. Гурзадян, А. Л. Кашин, М. Н. Кривош, Д. Б. Оганесян, *Астрофизика*, 10, № 2, 1974.
2. Д. Б. Оганесян. *Сообщ. Бюраканской обс.*, 48, 1975 (в печати).
3. Г. А. Гурзадян, *Астрофизика*, 10, 379, 1974.
4. T. R. Leish, *Astron. Astrophys., Suppl.*, 5, 129, 1972.
5. R. C. Bless, B. D. Savage, *Ap. J.*, 176, 293, 1972.
6. Г. А. Гурзадян, *Astron. Astrophys.*, 1975.
7. D. Mihalas, *Ap. J., Suppl.*, 9, 321, 1965.
8. R. M. Humphreys, *A. J.*, 75, 602, 1970.
9. C. B. Stephenson, N. Sanduleak, *Publ. Warner and Swasey Obs.*, 1, No. 1, 1971.
10. H. J. Lamers, K. A. van der Hucht, M. A. Sijders, N. Sahhbulin, *Astron. Astrophys.*, 25, 105, 1973.
11. D. Mihalas, *Ap. J.*, 177, 115, 1972.
12. A. W. J. Cousins, R. H. Stoy, *Roy. Obs. Bull. No. 64*, 103, 1963.