

УДК: 524.3—355:520.84

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЯ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД. I

Р. Х. ОГАНЕСЯН, С. Е. НЕРСИСЯН, М. Ш. КАРАПЕТЯН

Поступила 27 декабря 1984

Принята к печати 10 марта 1985

Приведены результаты спектрофотометрического исследования 56 углеродных звезд в спектральном диапазоне от 4000 до 6800 Å с разрешением 3 Å. Определены наблюдаемые распределения энергии указанных звезд относительно потока на длине волны $\lambda_0 = 5556$ Å, представленные в виде графиков. Распределение энергии для 35 звезд получено впервые. Обнаружено изменение в линии Ba II 4554 Å в спектрах ST Сат., UU Аиг и RV Моп (рис. 6). В спектрах RT UMa и SS Vir произошла большая изменение (рис. 3, 4). Замечено, что в спектрах углеродных звезд существует депрессия, которая находится в разных спектральных областях для отдельных групп звезд.

1. *Введение.* Характерными деталями спектров углеродных звезд являются молекулярные полосы углеродных соединений C_2 , CN и CH. Часть углеродных звезд обладает сильной ультрафиолетовой депрессией, возникновение которой приписывают поглощению излучения молекулами C, и Si C.

Изучению молекулярных полос поглощения и атомных линий в спектрах углеродных звезд посвящено большое количество работ [1—12], которые выполнены на основе спектрограмм, полученных с большой и умеренной дисперсиями как в видимом, так и в инфракрасном диапазоне.

Изучение же непрерывного спектра этих звезд связано с большими трудностями, вызванными нахождением участков континуума, свободных от влияния многочисленных полос поглощения. Поэтому в настоящее время распределение энергии в спектрах углеродных звезд, особенно в видимом диапазоне, изучено очень мало. Имеется лишь несколько работ, посвященных изучению наблюдаемого распределения энергии в спектрах углеродных звезд и выполненных с помощью сканирующих фотоэлектрических спектрометров [11—17]. Работы Фея с соавторами [11, 13] посвящены изучению абсолютного распределения энергии в спектрах 37 углеродных звезд с разрешением около 20 Å в диапазоне от 5000 до 7000 Å. Только три из них исследовались [13] в диапазоне от 3400 до 11000 Å с разрешением 40 Å. Брегмены [14] сканировали спектры восьми типич-

ных углеродных звезд в диапазоне от 3200 до 6800 Å с шириной щели 32 Å с целью выявления фиолетовой депрессии и различий в распределении излучения. Абсолютные спектрофотометрические наблюдения углеродных звезд выполнены Бурнашевым [15] с разрешением 30 Å в спектральном интервале 4400—7550 Å. Он наблюдал восемь звезд, пять из которых входят в список [11]. Распределение энергии трех углеродных звезд в диапазоне от 4600 до 10200 Å с разрешением 20 Å приведено в спектрофотометрическом каталоге Кохрана [16]. Все три звезды входят в список [11]. Распределение энергии в спектрах углеродных звезд AW Cug и WZ Cas приведено в спектрофотометрическом атласе Гунна и Струкера [17]. Одна из них также входит в список [11]. Таким образом, до сих пор получено распределение энергии в видимом диапазоне в спектрах только 43 углеродных звезд. При таких условиях приведенные в настоящей работе наблюдаемые распределения энергии в спектрах 56 углеродных звезд, полученных фотографическим методом в диапазоне от 4000 до 6800 Å с разрешением 3 Å, могут представлять определенный интерес. При этом распределения энергии в спектрах 35 углеродных звезд приводятся впервые.

Совокупность углеродных звезд неоднородна: в их состав входят звезды как постоянного, так и переменного блеска. Среди переменных, классифицированных как углеродные звезды, встречаются Мириды, полуправильные (SR_a, SR_b, SR), неправильные (L_b, L) и переменные типов RT Tau, R CrB, RR Lyr, цефеиды типа CW и новоподобная (V 605 Aql). Это обстоятельство несколько усложняет, но делает еще интереснее изучение этих объектов.

2. *Наблюдения, калибровка и стандартизация.* В 1981—1983 гг. с помощью спектрографа UAGS, установленного в фокусе Ньсмита 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории, производились наблюдения 56 углеродных звезд. Спектрограммы получены с расширением на фотопластинках Kodak 103-aF в спектральном диапазоне от 4000 до 6800 Å. Дисперсия спектрографа составляет 136 Å/мм. Калибровочные снимки получены на лабораторном трубчатом фотометре Бюраканской обсерватории и были проявлены вместе со спектрограммами исследуемых и стандартных звезд, полученными той же ночью. В качестве абсолютных стандартов были использованы звезды 24 UMa, 83 UMa, δ Ari i Boo, β CVn, 15 Cug, τ Aug, распределение энергии в спектрах которых взято из сводного спектрофотометрического каталога звезд Харитоновой с соавторами [18]. Для исследуемых 56 звезд и 7 звезд сравнения были получены 174 и 55 спектрограмм соответственно.

Обработка всех спектрограмм проводилась на микроденситометре PDS Бюраканской обсерватории в сочетании с вычислительной машиной CM-4.

Список исследуемых звезд, выбранных из каталога Стивенсона [19], приведен в табл. 1, где по порядку даны название звезды, спектральный класс по [5, 6], тип переменности для углеродных звезд из ОКПЗ [20], количество использованных спектрограмм для каждой звезды.

СПИСОК ИССЛЕДОВАННЫХ ЗВЕЗД

Таблица 1

Звезда HD или BD	Спектр	Тип перем.	n	Звезда HD или BD	Спектр	Тип перем.	n
Z Psc	N0, C7, 2	SR _b	1	BD+75-348	R0, C3, 0	—	3
V Ari	R8, C4, 4	SR _b	1	X Cnc	N3, C5, 4	SR _b	5
HD 19557	R5, C4, 5	—	1	HD 76396	R2, C1p, 2	—	10
HD 19881	N0, C7, 4	—	1	T Cnc	R6, (N3), C5, 5	SR _a	1
U Cam	N5, C5, 4	SR _b	4	HD 76846	R1, C3, 2	—	1
BD+51°762	N, C5, 5	—	4	HD 79319	R4, C4, 4	—	3
UV Cam	R8, C5, 4	SR?	5	RT UMa	N5, C4, 4	L _b	5
ST Cam	N5, C5, 4	SR _b	3	HD 85066	R3, C2, 3	—	2
HD 30443	R4, C3, 3	—	1	VY UMa	N0, C6, 3	L _b	6
TT Tau	N3, C7, 4	SR _b	2	BD+16 2188	R0, C1, 1	—	1
W Ori	N5, C5, 4	SR _b	2	BD+42°2173	R2, C3, 2	—	2
RT Ori	N, C6, 4	SR _b	1	BD+71°600	R2, C2, 3	—	1
S Cam	R8, (Np), C7, 3e	SR _a	1	SS Vir	№, C6, 3e	M	6
FU Aur	N0, C7, 2	L _b ?	1	Y CVn	N3, C5, 5	SR _b	7
TU Gem	N3, C6, 4	SR _b	3	RY Dra	N4, C4, 5	SR _b	6
BL Ori	N0, C6, 3	L _b	6	TT CVn	R6, C3, 5	L _b	3
RV Aur	N, C4, 5	SR _b	1	BD+33°2399	R2, C4, 2	—	1
CR Gem	R8, C8, 3e	L _b	1	BD+83°442	R0, C2, 0	—	1
UU Aur	N3, C6, 4	SR _b	6	BD+05°1055	R5, C4, 4	—	1
VW Gem	N, (R8), C4, 5	L _b	4	V CrB	N2, C6, 2	M	3
RV Mon	N, C4, 5	SR _b	7	RR Her	N4, C8, 1e	SR _b	5
R CMi	C7, 1e	M	3	BD+19°3109	R2, C0, 1	—	1
RU Cam	K0—R2, C0, 1	CW	11	BD 156074	R1, C2, 1	—	3
HD 58337	R3, C2, 3	—	2	T Lyr	R6, (Np), C6, 5	L _b	3
HD 58364	R3, C2, 3	—	2	UX Dra	N0, C7, 3	SR _a	2
HD 59643	R9, C6, 2	—	6	HD 187216	R2, C3, 3	—	2
HD 60826	R8, (N), C5, 5	—	6	DG Cep	N, C7, 4	L _b	1
W CMi	R6, C7, 2	L _b	1	WZ Cas	N1p, C9, 1	SR _a	2

Целью нашего исследования является изучение наблюдаемого распределения энергии в спектрах углеродных звезд, нахождение величин монохроматических потоков в относительных единицах, определение цветовых

температур для тех звезд, у которых известны величины межзвездного поглощения.

3. *Распределение энергии в спектре.* Все измерения спектрограмм нами проводились для удобства относительно потока на длине волны $\lambda_0 = 5556 \text{ \AA}$. Относительные распределения энергии определялись по следующей общеизвестной формуле:

$$\lg F_\lambda / F_{\lambda_0} = \lg F_\lambda(z) / F_{\lambda_0}(z) - M(z) \lg P_\lambda / P_{\lambda_0} + \lg \delta_\lambda / \delta_{\lambda_0},$$

где $F_\lambda / F_{\lambda_0}$ и $F_\lambda(z) / F_{\lambda_0}(z)$ — относительные монохроматические потоки исследуемых звезд вне атмосферы и на наблюдаемом зенитном расстоянии соответственно, $M(z)$ — величины воздушных масс для исследуемых звезд, P_λ и P_{λ_0} — коэффициенты прозрачности атмосферы, а $\lg \delta_\lambda / \delta_{\lambda_0}$ относительная редуцирующая кривая. Причем, $\lg \delta_\lambda$ представляет разность логарифмов истинных и наблюдаемых монохроматических потоков звезды сравнения.

$$\lg \delta_\lambda = \lg F_\lambda^c - [\lg F_{\lambda_0}^c(z_c) - M(z) \cdot \lg P_\lambda].$$

Учет атмосферной экстинкции производился по средним значениям величин P_λ для Бюракана, определенных Мирзояном [21] и Аракелянном [22].

Для тех звезд постоянного блеска, у которых количество спектрограмм больше одной, окончательные результаты усреднялись. Максимальное среднеквадратическое отклонение $\lg F_\lambda / F_{\lambda_0}$, которое относится к коротковолновой части спектра, составляет ± 0.075 (т. е. 10%) в единицах логарифма относительного потока. А для переменных углеродных звезд с количеством спектрограмм больше одной приведена кривая распределения энергии только одного наблюдения. Это сделано по той причине, что форма кривых почти не менялась, а лишь изменялись отдельные детали в спектре (молекулярные полосы, атомные линии). В случае же SS Vir и RT UMa изменения в спектрах оказались более заметными, что хорошо видно на кривых распределения энергии, полученных в разные даты наблюдений (см. рис. 3 и 4).

Для некоторых звезд обнаружены реальные изменения интенсивности в отдельных линиях. Например, линия Ba II 4554 \AA претерпела изменения в спектрах ST Cam, UU Aur и RV Mon (рис. 6), а эмиссионные линии водорода H₂, H₃, H₇ — в спектрах SS Vir (рис. 3) и RR Her (рис. 6).

Внимательный просмотр кривых распределения энергии приведенных на рис. 1—5, показывает, что у звезд BD + 71°600, BD + 65°1055, HD 19557 (рис. 1), HD 79319, V Arg (рис. 2) и RT Ori (рис. 5) существует добавочное поглощение молекулы C₂ в коротковолновой части полос Свана $\lambda 5165 \text{ \AA}$ (0.0) и $\lambda 5635 \text{ \AA}$ (0.1). Кроме этого, у вышеуказанных звезд наблюдается спад континуума у головы полосы $\lambda 5165 \text{ \AA}$ (0. 0).

В спектрах звезд HD 60826 (рис. 1), HD 79319, TT CVn (рис. 2), RT UMa, BD + 51°762, T Lyr (рис. 4), RY Dra, RV Aur, X Спс, Y CVn, ST Cam и U Cam (рис. 5) видна депрессия в диапазоне от 5720 до 6200 А. Вероятно, это следствие эффекта блокировки молекулярными полосами поглощения CN и C₂, имеющимися в указанном

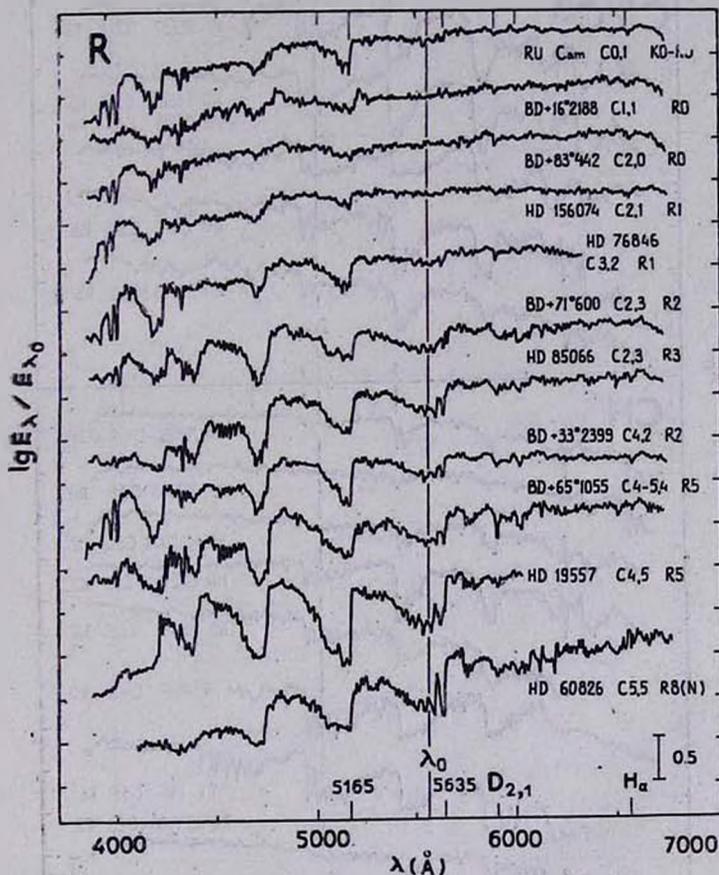


Рис. 1. Относительные распределения энергии в логарифмической шкале в спектрах 11 углеродных звезд постоянного блеска.

выше интервале. Например, Эглитис [23] исследовал поведение отдельных линий полос (4.0), (5.1), (6.2) и (7.3) молекулы CN в области 6100—6800 А в спектре звезды X Спс в зависимости от фазы ее блеска и обнаружил их усиление в максимуме блеска. Из наших наблюдений переменной звезды RT UMa типа L₂ также очевидно, что переменность депрессии в ее спектрах в области 5720—6200 А связана с изменением блеска (рис. 4). В spectroграмме за 25 апреля 1981 г.

депрессия почти не видна и хорошо видна интенсивная линия $\text{Na I D}_{2,1}$, а в спектре, полученном 7 февраля 1982 г., хорошо видна глубокая депрессия, а линия $\text{D}_{2,1}$ почти сливается с общей депрессией в этой области.

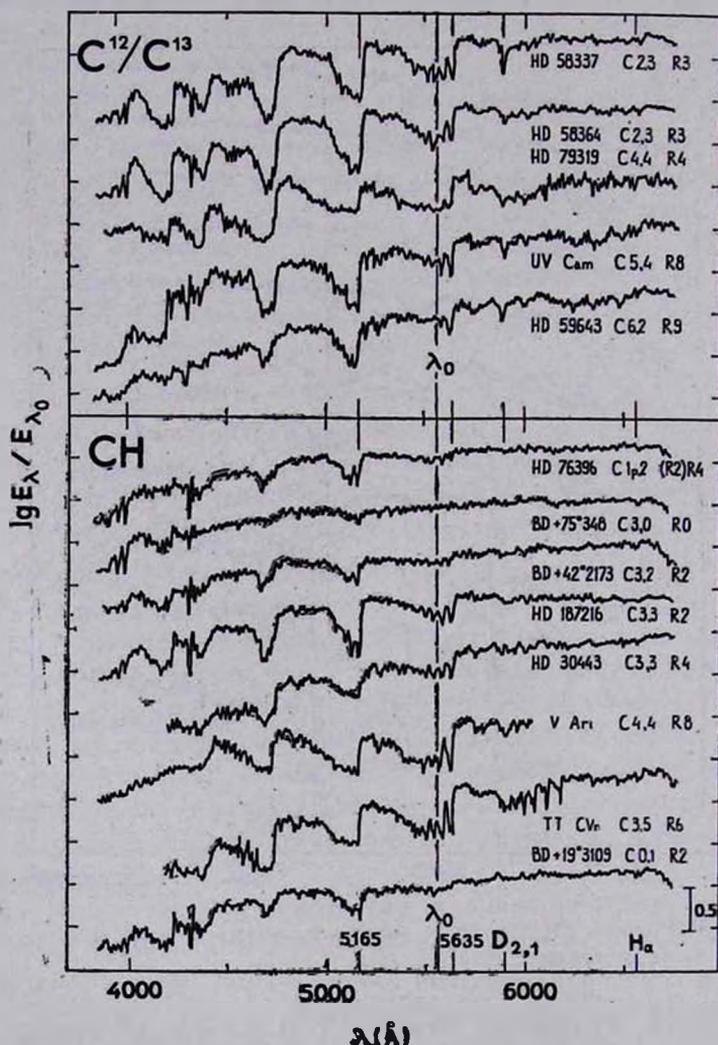


Рис. 2. То же, что и на рис. 1 для 5 звезд, обильных изотопом C^{13} и 8 CH звезд.

У ряда звезд спектрального подкласса C7—C9 (R CMi, S Cam, UX Dra, WZ Cas (рис. 3), FU Aur, W CMi, CR Gem (рис. 4) и RR Her (рис. 5)) в распределениях энергии обнаружена некоторая

депрессия в интервале длин волн 6060—6700 Å. Глубина депрессии зависит от спектрального подкласса. У поздних подклассов она сравнительно глубже.

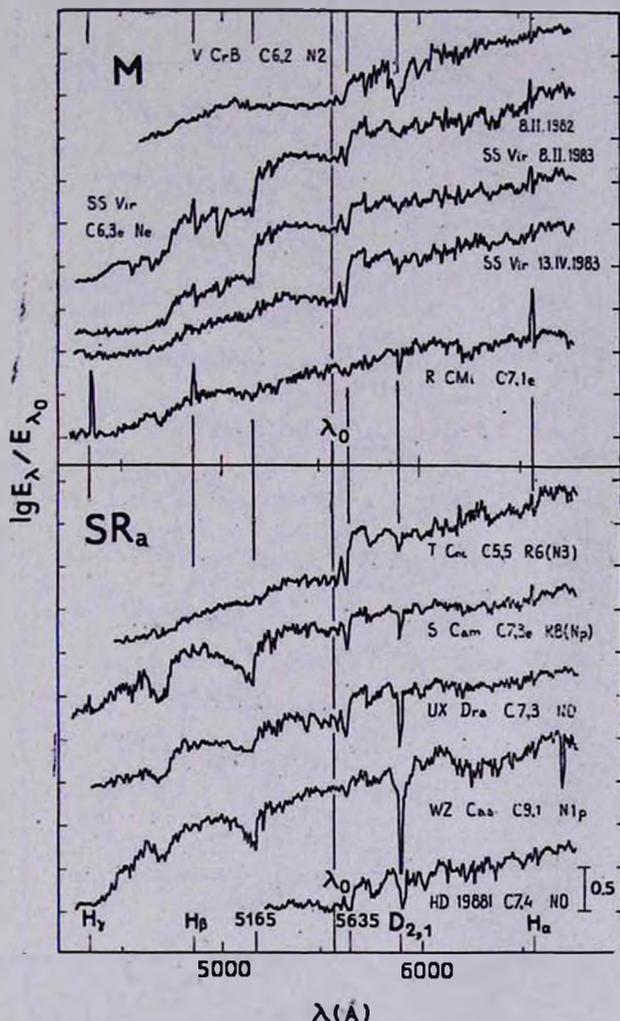


Рис. 3. То же, что и на рис. 1 для 3 Мирад, 4 полуправильных переменных типа SR_a и для звезды HD 19881.

4. Основные результаты.

1. Получено распределение энергии в спектрах 56 углеродных звезд, из них для 35 — впервые.
2. Обнаружены большие изменения в спектрах RT UMa и SS Vir.

3. Обнаружены изменения в линии Ва II 4554 А в спектрах ST Cam, UU Aur и RV Mon, а у звезд SS Vir и RR Her обнаружены изменения в эмиссионных линиях водорода H₂, H₃, H₇.

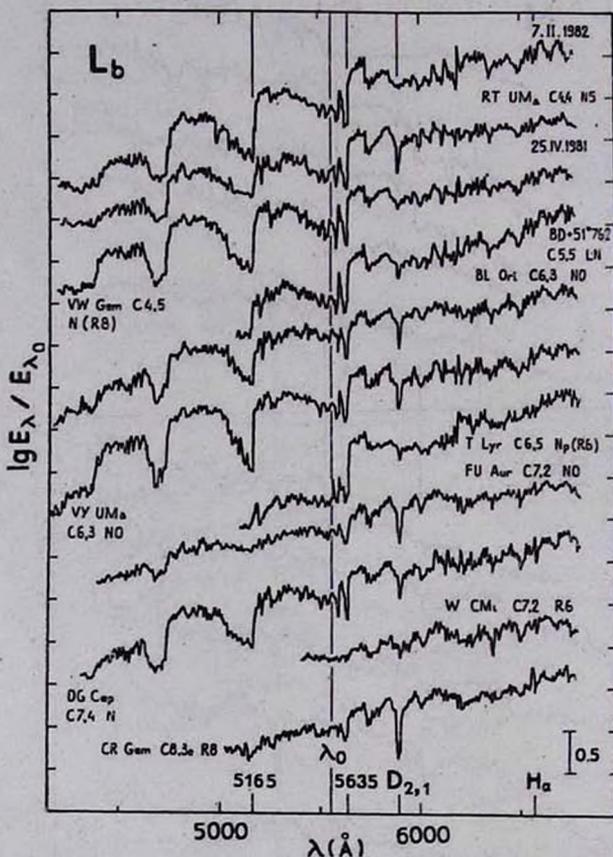


Рис. 4. То же, что и на рис. 1 для 10 неправильных переменных звезд типа L_b.

4. Замечено, что в спектрах BD+71°600, BD+65°1055, HD 19557, HD 79319, V Ari и RT Ori имеется добавочное широкое поглощение в континууме в коротковолновой части у голов полос Свана (0.0) 5165А и (0.1) 5635 А. Кроме того, наблюдается спад континуума у головы полосы (0.0) 5165 А в спектрах этих звезд. . .

5. Замечено, что у звезд HD 60826, HD 79319, TT CV_n, RT UMa, BD + 51°762, T Lyr, RY Dra, RV Aur, X Спс, Y CV_n, ST Cam и U Cam существует депрессия в диапазоне 5720—6200 А. Депрессия в

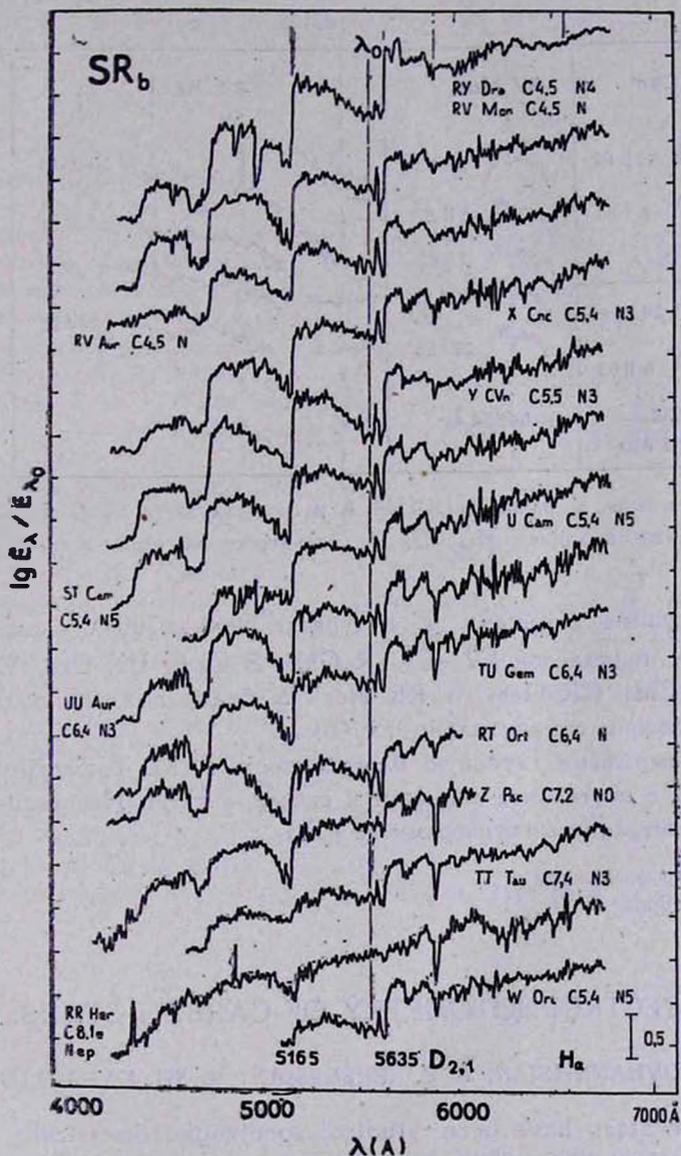


Рис. 5. То же, что и на рис. 1 для 14 полуправильных переменных типа SR_b.

диапазоне 5720—6200 Å у звезды RT UMa носит переменный характер. При минимальной депрессии хорошо видна линия Na I D_{2,1} и, наоборот, при глубокой депрессии линия D_{2,1} почти не заметна.

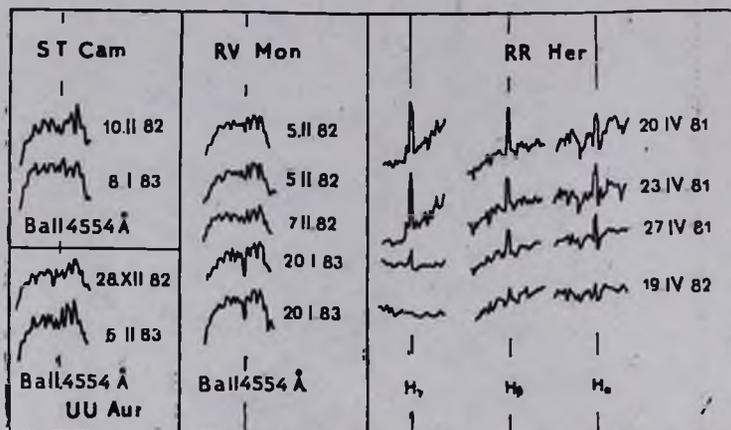


Рис. 6. Изменение в линии Ba II 4554 Å в спектрах звезд ST Cam, UU Aur и RV Mon, а также в линиях H_γ, H_β, H_α бальмеровской серии в спектре звезды RR Her.

6. Обнаружена депрессия в интервале 6060—6700 Å у ряда звезд спектральных подклассов C7—C9 (R CMi, S Cam, UX Dra, WZ Cas, FU Aur, W CMi, CR Gem и RR Her). У более поздних подклассов глубина депрессии сравнительно глубокая.

Авторы выражают глубокую благодарность Г. М. Товмасыну за полезные советы и постоянное внимание к работе, а Н. Л. Напетян—за помощь при регистрации спектрограмм на PDS.

Бюраканская астрофизическая
обсерватория

THE SPECTROPHOTOMETRY OF CARBON STARS. I

R. CH. HOVHANNISSIAN, S. E. NERSESSIAN, M. SH. KARAPETIAN

56 carbon stars have been studied spectrophotometrically in the wavelength region 4000—6800 Å with a 3 Å resolution. The obtained energy distribution for the studied stars in relation to the flux at the wavelength $\lambda_0 = 5556$ Å is presented in graphical form. The energy distribution of 35 stars is obtained for the first time. A variation in the line Ba II 4554 Å is discovered in the spectra of ST Cam, UU Aur,

and RV Mon (Fig. 6). In the spectra of RT UMa and SS Vir appreciable changes have taken place (Figs. 3, 4). It was noticed that some depression exists in the spectra of carbon stars which happen to be in different spectral regions for different groups of carbon stars.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Ф. Газе, Г. А. Шайн, Изв. Крымской обс., 2, 51, 1948.
2. К. Utsumi, P. A. S. Japan, 19, 342, 1967.
3. D. Gilra, Ap. J., 199, 145, 1975.
4. Y. Yamashita, Publ. Dominion Astron. Obs., Victoria, 13, No. 5, 67, 1967.
5. Y. Yamashita, Ann. Tokyo Astron. Obs. Ser. 2, 13, 169, 1972.
6. Y. Yamashita, Ann. Tokyo Astron. Obs. Ser. 2, 15, 47, 1975.
7. R. I. Tompson, H. W. Schnopper, Ap. J., 160, No. 2, L97, 1970.
8. R. F. Wing, H. Spinrad, Ap. J., 159, 973, 1970.
9. J. A. Frogel, A. R. Hyland, Mem. Soc. Roy. Sci. Liege, Ser. 6, t. 3, 111, 1972.
10. C. E. Crow, P. A. S. P., 89, 510, 1977.
11. T. D. Fay, Jr., W. H. Warren, Jr., H. R. Johnson, R. K. Honeycutt, A. J., 79, 634, 1974.
12. S. B. Yorka, A. J., 88, 1815, 1983.
13. T. D. Fay Jr., R. K. Honeycutt, A. J., 77, 29, 1972.
14. J. D. Bregman, J. N. Bregman, Ap. J., 222, L41, 1978.
15. В. И. Бурнашев, Изв. Крымской обс., 54, 3, 1976.
16. А. К. Cochran, The University of Texas, Publ. in Astronomy No. 16 1980.
17. J. E. Gunn, L. L. Struiker, A. preprint Prepared by Dominion Astrophys. Obs. Herzberg Inst. of Astrophys. National Research Council, Canada, 1982.
18. А. В. Харитонов, В. М. Терещенко, Л. Н. Князева, Сводный спектрофотометрический каталог звезд, Алма-Ата, Наука, 1978, стр. 3.
19. C. B. Stephenson, A General Catalogue of Cool Carbon Stars, Publ. Warner and Swasey Obs., 1, No. 4, 3, 1973.
20. Б. В. Кукаркин и др., Общий каталог переменных звезд, т. I—II, М., 1969, 1970.
21. Л. В. Мирзоян, Сообщ. Бюраканской обс., 7, 3, 1951.
22. М. А. Аракелян, Сообщ. Бюраканской обс., 21, 3, 1957.
23. И. Элитис, Научные информации Астрон. Совета АН СССР, 52, 142, 1982.