

## СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ Be-ЗВЕЗДЫ HD 183656

О. Э. Ааб, Н. Ф. Войханская

Сообщается о результатах исследования спектра в 1974 г. Найдена связь между изменением блеска HD 183656 и изменениями в ее спектре. Проведена классификация звезды по спектру и светимости. Определены электронная температура и концентрация, полное число водородных атомов по лучу зрения  $N_{02H}$ , сделана оценка вклада оболочки в общее количество излучения от звезды. Измерены лучевые скорости звезды и оболочки в отдельности по всем линиям спектра. На основании результатов измерения скоростей делается предположение о пульсации В-звезды.

Results of investigation of the spectrum in 1974 are reported in the paper. The relation is found between the brightness variation of HD 183656 and the variation in the spectrum. Classification of the star is made by the spectrum and luminosity. The electron temperature and the concentration, the total number of atoms along the line of sight  $N_{02H}$ , a contribution of the shell to the total amount of radiation from the star is estimated. Radial velocities of the star and of the shell are measured separately from all the lines of the spectrum. On the basis of the radial velocity measurement results an assumption is made on pulsation of the B star.

HD 183656 (MW C988, V 923Aq1, HR 7415, GK 26937) — уникальная звезда с оболочкой. Впервые особенности ее спектра отмечены Харпером [1] в 1937 г. Интерпретация спектра как спектра звезды с оболочкой дана Байдельманом [2] в 1950 г. На основании этого звезда включена в список звезд с оболочками, составленный Мериллом и Беруэл [3]. Фотоэлектрические наблюдения, выполненные впервые Линдсом [4] в 1958 г., показывают существование изменения блеска, иногда достигающие  $0.^m1$  с характерным периодом  $0.^d85$ . Изменения блеска не являются строго периодичными в течение большого промежутка времени. Количественные спектральные характеристики получены в 1965 г. Т. М. Рачковской [5]. В [5] определены эквивалентные ширины всех спектральных линий и профили водородных линий. Проведено сравнение спектра со спектром нормальной звезды, различия объяснены присутствием оболочки.

ТАБЛИЦА 1  
Данные о наблюдательном материале

Дата наблюдения	Время JD	Фаза	Выдержка	Область спектра, Å	Эмульсия
26 VI	2442224.4678	0.324	<sup>h</sup> 1 <sup>m</sup> 40	3900—4900	OaO
14 VII	242.4623	0.426	2 02	3600—4800	OaO
	242.4960	0.460	1 25	3800—5000	OaO
15	243.4665	0.589	1 10	3600—4800	OaO
	243.5109	0.623	0 50	5300—6700	OaF
27 VIII	286.3713	0.030	1 00	3800—5000	OaF
	287.2873	0.095	3 12	5300—6700	OaO
28	288.2842	0.240	3 21	5300—6700	OaF

ТАБЛИЦА 2

## Результаты измерения эквивалентных ширин

$\lambda$ , Å	Отождествление	0.0	0.3	0.5
6678	He I (46)	0.59		
6482	N II (8)	0.88	0.93	
6463	Mn II (20)	0.50	0.60	
6371	Si II (2)	1.13	1.35	
6347	Si II (2)	0.83	1.34	
5915	Si II (8)	0.20		
5895	Na I (1)	1.26	1.10	
5889	Na I (1)	0.94	1.06	
5876	He I (11)	0.93		
4861	H <sub>β</sub>	4.71	3.86	3.58
4744	C II (1)		0.29	
4738	C II (1)		0.17	
4727	C II (48)		0.12	
4713	He I (12)		0.35	
4633	Al II (97)	0.34	0.31	0.35
4629	Fe II (37)	0.20	0.23	0.32
4618	Cr II (44)	0.16	0.16	0.17
4588	Cr II (44)	0.12		0.10
4583	Fe II (38)	0.45	0.39	0.41
4558	Cr II (44)	0.20	0.09	0.10
4555	Fe II (37)	0.31	0.29	0.26
4549	Fe II (38)	0.45	0.39	0.32
4522	Fe II (38)	0.52	0.30	
4520	Fe II (37)	0.34	0.15	
4508	Fe II (38)	0.34	0.16	
4491	O II (86)	0.48	0.30	0.29
4481	Mg II (4)	0.55		0.46
4471	He I (14)	1.17	0.99	0.57
4416	O II (5)	0.25	0.28	0.28
4416	Fe II (27)	0.27		
4388	He I (51)	0.42	0.36	0.74
4385	Fe II (27)	0.15	0.06	0.19
4366	O II (2)	0.15	0.31	0.12
4351	Fe II (27)	0.37		0.29
4340	H <sub>γ</sub>	5.70	4.97	4.65
4325	Fe I (42)		0.13	
4303	Fe II (27)	0.15	0.09	
4303	O II (100)	0.41	0.31	
4233	Fe II (27)	0.42	0.45	0.37
4179	N II (50)	0.39	0.35	0.34
4178	Fe II (28)	0.09	0.11	0.10
4173	N II (50)	0.56	0.34	0.30
4173	Fe II (27)	0.17	0.18	
4143	He I (53)	0.64		0.29
4121	He I (16)	0.47		0.36
4101	H <sub>δ</sub>	6.03	4.78	4.38
4026	He I (18)	0.76		0.67
4022	Cr II (183)	0.17		0.21
4009	He I (55)	0.85		0.63
3970	H <sub>ε</sub>	6.33	4.84	4.98
3933	Ca II (1)	0.83	0.80	0.89
3930	Fe II (3)			
3929	V II (10)	0.14		
3913	Ti II (34)		0.24	
3889	H <sub>8</sub>	4.05		5.25
3885	H <sub>9</sub>			5.61
3997	H <sub>10</sub>			4.68
3770	H <sub>11</sub>			3.98
3763	Fe I (21)			0.20
3758	Fe I (21)			0.34
3750	H <sub>12</sub>		2.47	2.98
3734	H <sub>13</sub>		1.89	2.11

$\lambda, \text{Å}$	Отождествление	0.0	0.3	0.5
3727	Fe I (21)		0.09	
3721	H <sub>14</sub>		1.01	1.55
3711	H <sub>15</sub>		1.02	1.30
3703	H <sub>16</sub>		0.65	0.93
3697	H <sub>17</sub>		0.51	0.73
3691	H <sub>18</sub>		0.74	0.52
3686	H <sub>19</sub>		0.29	0.70
3682	H <sub>20</sub>		0.29	0.38
3679	H <sub>21</sub>		0.17	0.52
3676	H <sub>22</sub>		0.15	0.30
3673	H <sub>23</sub>		0.08	0.25
3671	H <sub>24</sub>		0.16	0.24
3669	H <sub>25</sub>		0.11	0.20
3667	H <sub>26</sub>		0.13	0.30
3666	H <sub>27</sub>		0.03	0.14
3664	H <sub>28</sub>		0.07	0.16

Спектр звезды был сфотографирован при помощи дифракционного спектрографа 600-миллиметрового рефлектора Специальной астрофизической обсерватории АН СССР с обратной дисперсией 29 Å/мм на пластинках Kodak OaO и OaF летом 1974 г. Сведения о наблюдательном материале представлены в табл. 1. Время дано для середины экспозиции, фазы рассчитаны по элементам Линдса [4].

Спектрограммы записаны на микрофотометре прямых интенсивностей и далее проведена обычная обработка. Кроме того, в нашем распоряжении имелись спектрограммы 1965 г., любезно предоставленные нам Т. М. Рачковской. Часть из них была заново обработана.

В табл. 2 приведены результаты определения эквивалентных ширин  $W_\lambda$  для нескольких фаз кризисной блеска. На рис. 1 сравнены эквивалентные ширины, определенные нами, с результатами Т. М. Рачковской [5]. Данные 1974 г. усреднены на фазам, так как в [5] не рассматривалось поведение спектра с изменением фазы блеска. Некоторые отличия на рис. 1 объясняются, по-видимому, различным проведением уровня непрерывного спектра.

Существует изменение профилей и эквивалентных ширин водородных линий с фазой блеска. В частности, линии первых номеров (до H<sub>8</sub>) показывают небольшое уменьшение эквивалентной ширины к фазе 0.5, т. е. к моменту максимума блеска (рис. 2 и 3).

Поведение линий других элементов с изменением фазы блеска не носит четкого характера. Однако для наиболее надежно измерившихся линий эквивалентные ширины в фазе 0.5, как правило, меньше, чем в фазе 0.0.

Профили водородных линий в 1974 г. заметно отличаются от профилей в 1965 г. На рис. 4 для примера показаны профили линии H<sub>γ</sub> для этих лет.

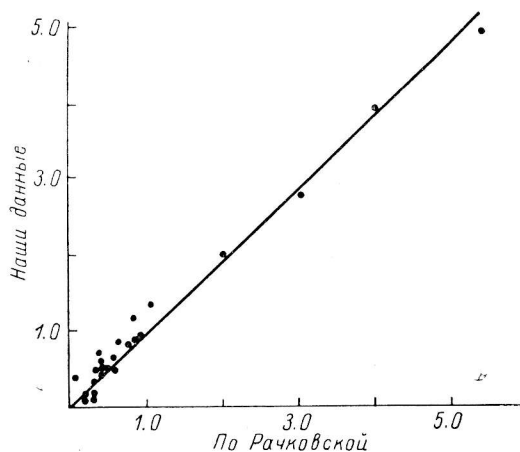


Рис. 1. Сравнение результатов определения эквивалентных ширин с данными работы [5].

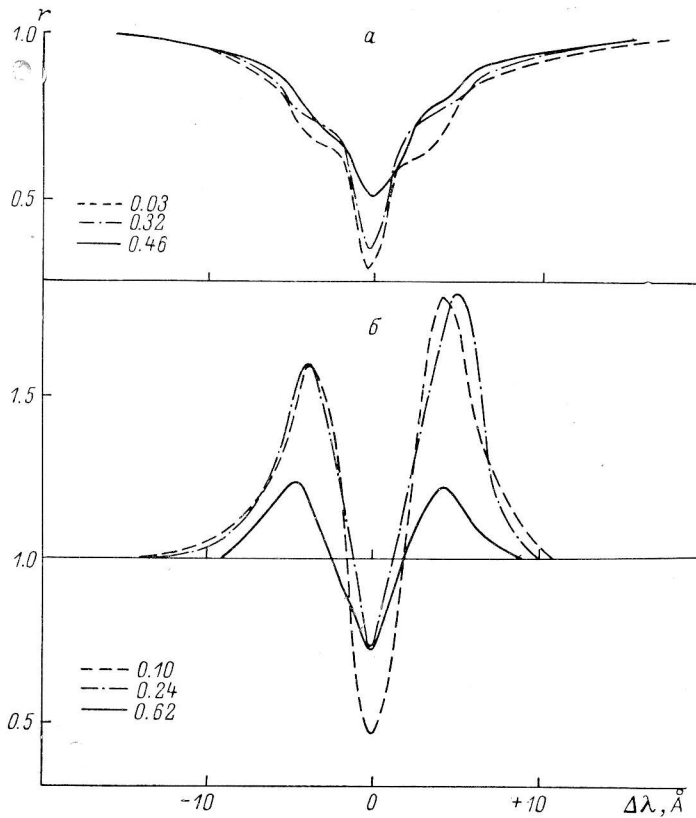


Рис. 2. Изменение профилей линий  $H_\gamma$  (а) и  $H_\alpha$  (б) с фазой блеска.

Необходимо отметить тот факт, что профили водородных линий в 1965 г. не меняются с фазой блеска, кроме того, они более узкие, чем в 1974 г.

Используя критерии, предложенные А. А. Боярчуком [6], проведена спектральная классификация и классификация по светимости. Спектральный класс оказался равным В5.5. Класс светимости, определенный по водородным линиям — III, по отношению  $W_\lambda 4481 \text{ Mg II} / W_\lambda 4471 \text{ He I}$  скорее — IV—V. Определения проводились по характеристикам, усредненным по всем фазам. Результаты находятся в согласии с результатами Г. М. Рачковской (В5—В7, V), каталога Г. Дрепера (В6 ре) и Общего каталога переменных звезд (В5ре, V?).

Величина бальмеровского скачка для HD 183656, по нашим оценкам, лежит в пределах  $+0.24 \div +0.27$ . Используя данные из работ [7] и [8], оценена электронная температура оболочки  $T_e$  и вклад оболочки  $x$  в излучение от звезды за бальмеровским скачком:  $9000^\circ \text{ K} \leq T \leq 17000^\circ \text{ K}$ ,  $0.02 \leq x \leq 0.1$ . Методом предельного перехода к оптическому тонкому

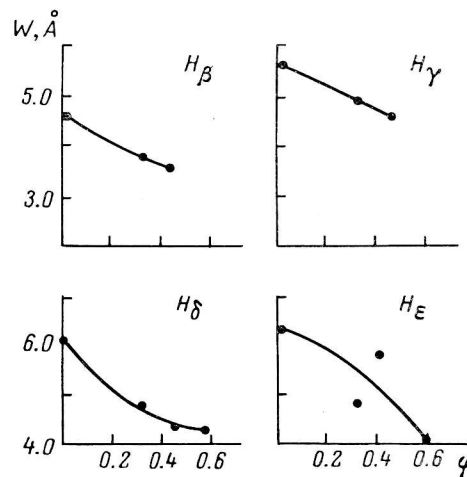


Рис. 3. Изменение эквивалентных ширин водородных линий с фазой блеска.

слою определено число водородных атом на втором уровне в оболочке над  $1 \text{ см}^2$  поверхности звезды  $N_{02H} : \lg N_{02H} = 16.00$ .

По распределению интенсивности в крыльях линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  методом Травинга [9] определена электронная плотность  $n_e \geq 2.8 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . По формуле Инглиса—Теллера получается  $n_e = 1.8 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-3}$ . Различие между этими двумя значениями объясняется тем, что первый метод дает значение  $n_e$  в атмосфере звезды, второй характеризует атмосферу звезды вместе с оболочкой в среднем.

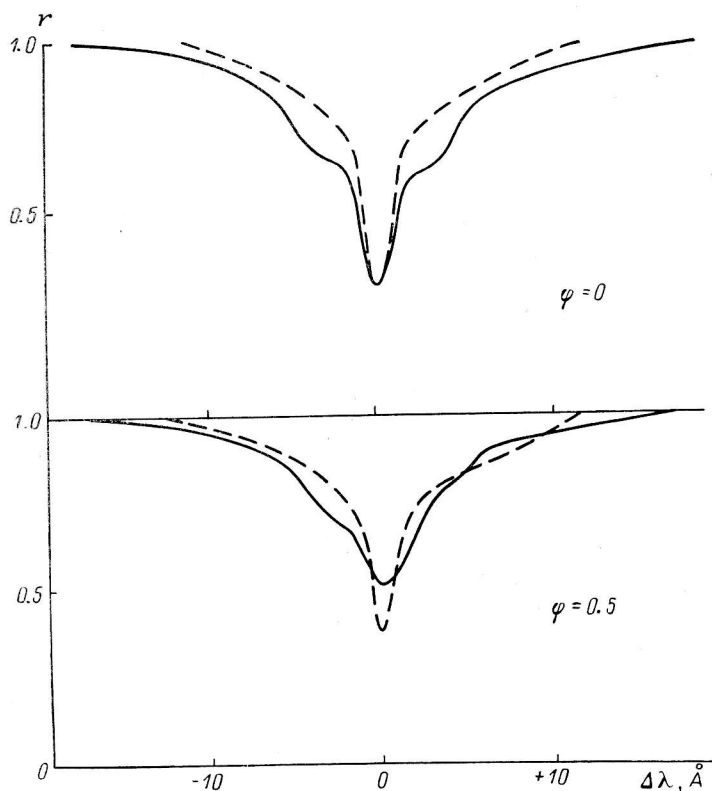


Рис. 4. Сравнение профилей линии  $H_\gamma$  в 1974 г. с профилями в 1965 г.

Сплошная линия — 1974 г., пунктирная — 1965 г.

Для выяснения характера движения вещества в оболочках звезд большой интерес представляет измерение лучевых скоростей  $V_r$ . Впервые об измерении лучевых скоростей в спектре HD 183656 говорится в работе Харпера [1]. Измерения относятся к 1927—1935 гг. Среднее значение по 24 пластинкам равняется  $-42 \text{ км/сек}$ . В 1949 г., по определениям Байдельмана [2], средняя скорость по двум пластинкам равна  $-39 \text{ км/сек}$ . Определения Меррилла [10] относятся к периоду 1949—1952 гг. В 1949 г. скорость равна  $-15 \text{ км/сек}$ , в ноябре 1950 г. она становится положительной, в 1951 г. среднее ее значение  $+12.4 \text{ км/сек}$ , в апреле 1952 г. скорость вновь становится отрицательной:  $-3.2 \text{ км/сек}$ . После 1952 г. до настоящей работы сведений о лучевых скоростях нет.

По пластинкам 1974 и 1965 гг. были измерены лучевые скорости для нескольких значений фазы блеска. Для измерения  $V_r$  использовался прибор, в котором наведение на линию производилось по контуру, развернутому в прямом и обратном направлении [11]. Оказалось, что для водородных линий невозможно совместить прямое и обратное изображения одновременно для

всех частей контура. Этим обстоятельством мы воспользовались для разделения линий оболочки и звезды. При этом предполагалось, что в оболочке формируется центральная часть контура, крылья же обязаны своим происхождением атмосфере звезды.

Результаты измерения лучевых скоростей приведены в табл. 3. Поправки за орбитальное движение Земли вычислялись с помощью работы Ленгауэра [12]. Ошибка не указана в том случае, когда определение  $V_r$  сделано по одной линии. Знак минус соответствует расширению, плюс означает сжатие вещества.

ТАБЛИЦА 3  
Результаты измерения лучевых скоростей

Элемент	1974 г.			1965 г.	
	0.0	0.3	0.5	0.0	0.5
H (абсорбция, оболочка)	$-33 \pm 8$	$-33 \pm 15$	$-21 \pm 12$	$-30 \pm 5$	$-33 \pm 6$
H (абсорбция, звезда)	$-14 \pm 4$	$-33 \pm 27$	$-44 \pm 27$	$-59 \pm 27$	$-85 \pm 12$
$H_\alpha$ (эмиссия, оболочка)	0	-27	-30	—	—
Fe II, Cr II	$-34 \pm 18$	$-39 \pm 19$	$-19 \pm 10$	$-30 \pm 16$	$-31 \pm 17$
Ca II	-40	-32	-33	-34	-32
He I, O II, N II	$-45 \pm 19$	+18	$-48 \pm 8$	—	—

Из табл. 3 видно, что скорости поверхностных слоев звезды, определенные по водородным линиям, в 1969 г. были больше, чем в 1974 г., и в эти годы скорости в фазе 0.5 больше, чем в фазе 0.0.

Узкие и резкие линии однократно ионизованных металлов с низкими потенциалами возбуждения (Fe II, Cr II, Ca II) возникают, как известно, в оболочках, а линии элементов с высокими потенциалами возбуждения (O II, N II, He I) формируются в атмосфере В-звезды. Линии водорода представляют собой сумму двух линий: оболочки и звезды. Звездная линия, вероятно, формируется в слоях атмосферы В-звезды, расположенных в среднем выше, чем область формирования спектров O II, N II, He I.

Из табл. 3 видно, что в фазе 0.5, которая соответствует максимуму блеска, скорости в атмосфере звезды по всем элементам одинаковы и равны примерно  $-48$  км/сек. В фазе 0.3  $V_r$  определены только по водородным и гелиевым линиям. Слои, в которых возникают линии водорода, продолжают расширяться, но с несколько меньшей скоростью, а более глубокие слои, в которых возникают линии гелия, уже сжимаются со скоростью  $+18$  км/сек. В фазе 0.0, которая соответствует минимуму блеска, скорость расширения, определенная по водородным линиям, уменьшилась до  $-14$  км/сек., в более глубоких слоях скорость расширения возросла до  $-45$  км/сек.

Изменение величины  $V_r$  с фазой блеска в оболочке иное: в фазе 0.5  $V_r \approx -24$  км/сек. по элементам H, Fe II, Cr II, Ca II, по эмиссионной линии  $H_\alpha$   $V_r \approx 0$ . В фазе 0.0 скорости возросли примерно до  $-36$  км/сек., приблизительно такая же величина скорости получается по эмиссии в  $H_\alpha$ . Скорости в фазе 0.3 в пределах ошибок такие же, как в фазе 0.0.

По результатам измерения лучевых скоростей можно сделать заключение о том, что поверхностные слои звезды не остаются неподвижными. Возможно, что наблюдаемые их движения являются движениями типа пульсаций. Тогда в максимуме блеска (фаза 0.5), когда поверхностные слои звезды расширяются с наибольшей скоростью, звезда несколько увеличена в размерах, в минимуме блеска (фаза 0.0) расширение поверхностных слоев прекратилось, и размеры звезды, возможно, несколько уменьшились, но во внутренних слоях начался новый период пульсаций.

Выше употреблялись термины «расширение» и «сжатие» в смысле движения вещества, направленного к наблюдателю и от него. Необходимо отметить, что в измеренных скоростях не учитывалась лучевая скорость центра звезды. Эта скорость неизвестна, но есть основания считать, что она невелика, так как картина движения вещества в оболочке и атмосфере звезды получается физически непротиворечивой.

Из табл. 3 видно, что скорость, определенная по эмиссионной линии  $H_{\alpha}$ , в фазе 0.3 возросла до значения, равного значениям скорости, определенным по другим элементам, т. е. за 0.2 периода возмущение дошло до самых внешних слоев оболочки, в которых возникает эмиссия в  $H_{\alpha}$ . Используя значение  $V_r$  из табл. 3, получаем, что плотность оболочки резко уменьшается на протяжении около радиуса Солнца, т. е. очень быстро.

Авторы выражают искреннюю благодарность Т. М. Рачковской за предоставление спектрограмм.

#### Литература

1. H a r p e r W. R. The radial velocity of 917 stars. — Pub. Dominion astrophys. obs. Victoria, 1937, 7, N 1, 97 p.
2. B i d e l m a n W. R. The spectrum of HR 7415. — Publ. astr. Soc. Pacific, 1950, 62, N 365, p. 48—50.
3. M e r r i l l P. W., B u r w e l l C. G. Second supplement to the Mount Wilson catalogue and bibliography of stars of classes B and A whose spectra have bright hydrogen lines. — Astrophys. J., 1949, 110, p. 387—419.
4. L u n d s C. R. The light variation of HD 183656. — Astrophys. J., 1960, 131, p. 390—394.
5. Р а ч к о в с к а я Т. М. О звездах типа RW Aur и неправильных переменных (Ia) ранних спектральных классов. — Изв. Крымск. астрофиз. obs., 1965, 39, с. 96—107.
6. Б о я р ч у к А. А. Сравнение химсостава В- и Ве-звезд. — Изв. Крымск. астрофиз. obs., 1957, 17, с. 89—116.
7. K e e n a n P. C. Classification of Stellar Spectra. — In: Stars and Stellar systems, 3, Basis astronomical data, Chicago, 1969, p. 78—122.
8. Ц о й Д я й О. Электронная температура оболочек звезд типа Ве. — Вестн. ЛГУ, Сер. мат., физ. и хим., 1956, вып. 2, № 7, с. 106—114.
9. T r a v i n g G. The atmospheres of two B-type stars in the galactic halo. — Astrophys. J., 1962, 135, p. 439—458.
10. M e r r i l l P. W. Measurements in the spectra of ten stell stars. — Astrophys. J., 1952, 116, p. 501—515.
11. А н т р о п о в Ю. Ф. Прибор для измерения расстояний между спектральными линиями. — В кн.: Новая техника в астрономии, вып. 4. Л., «Наука», 1972, с. 75—77.
12. Л е н г а у э р Г. Г. Таблицы редукции лучевых скоростей звезд к центру Солнца. — Изв. Глав. astron. obs. в Пулково, 1971, № 189—190, с. 42—71.

Ноябрь 1975 г.