АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 12 МАЙ, 1976 ВЫПУСК 2

СПЕКТР EW LAC В 1974 ГОДУ

Н. Ф. ВОЙХАНСКАЯ

Поступила 2 июля 1975
Пересмотрена 13 октября 1975

В работе сообщается о результатах исследования спектра EW Lac в 1974 г. Проведена спектральная классификация EW Lac и показано, что ее светимость меняется от ночи к ночи. Определены физические параметры оболочки: электронная температура и концентрация, полное число атомов водорода по лучу зрения, турбулентная скорость, оптическая толща, масса, состояние возбуждения и ионизации. Измерены лучевые скорости всех присутствующих в спектре линий. По результатам этих измерений сделано заключение о сложном характере движения вещества в оболочке и о пульсации поверхностных слоев звезды.

Звезда EW Lac (HD 217050, MWC 394) относится к группе Be-звезд с мощными оболочками. Впервые существование у этой звезды оболочки было замечено по спектрограмме, полученной в 1913 г. Следующие наблюдения были проведены в 1918 г. и признаков оболочки в спектре отмечено не было. Их не было до 1921 г. В 1921 г. появляются линии спектра оболочки. Спектр постепенно усиливался и достиг наибольшего развития примерно к 1928 г. С тех пор спектрограммы EW Lac получались довольно регулярно до 1948 г. с несколькими перерывами сроком не более чем 2 года. Все время спектр оболочки существовал, но интенсивность его менялась. Состояние спектра оболочки в 1940 г., когда он был очень развит, дано в работе [1]. Следующие наблюдения были проведены Озмэре в 1953—1958 и в 1960 гг. [2]. Оболочка в эти годы существовала. Таким образом, на основании результатов почти полувековых спектральных наблюдений можно сделать заключение, что большую часть времени звезда окружена оболочкой.

Фотоэлектрические наблюдения, проведенные Уокером [3] в 1950—1952 гг., и наблюдения по международной кооперативной программе в 1956 году, показали, что блеск EW Lac непостоянный. Он изменяется с перио-

дом 0^d8 и амплитудой, равной примерно 0^m2. Продолжительность минимума блеска — около 0^d4. Оказалось, однако, что величина периода и фаза минимума также не остаются постоянными. Для объяснения наблюдаемых изменений блеска в [3] предположено неравномерное распределение яркости по поверхности звезды.

Наши наблюдения EW Lac были предприняты в связи с объявлением международной программы исследования Be-звезд в 1974 г. Наблюдения проводились при помощи дифракционного спектрографа, установленного в кассегреновском фокусе 60-сантиметрового рефлектора. Спектрограммы получались на эмульсиях Kodak IIaO и OaF. Обратная дисперсия равна примерно 29 А/мм. Данные о полученных спектрограммах приведены в табл. 1.

Таблица 1

ДАННЫЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАННЫХ СПЕКТРОГРАММАХ

№ спектрограммы	Экспозиция (*мин*)	Спектральная область	Дата наблюдения
1	15	4970—3820	26.VIII.1974
2	7	4970—3820	"
3	90	6700—5300	"
4	30	6700—5300	"
5	15	6700—5300	"
6	7	6700—5300	"
7	97	4600—3600	27.VIII.1974
8	42	4600—3600	"
9	20	4600—3600	"
10	75	6700—5300	"
11	22	6700—5300	"
12	30	6700—5300	28.VIII.1974

Спектр оболочки представлен многочисленными узкими и резкими линиями поглощения нейтральных и однократно ионизованных металлов. Потенциалы возбуждения верхних уровней линий оболочечного спектра невелики: $\lesssim 5$—6 *эв*. Линии, возникающие в атмосфере самой B-звезды, широкие и мелкие и характеризуются высокими потенциалами возбуждения: 25—30 *эв*. Они принадлежат элементам HeI, OII, CII, NIII.

Табл. 2 содержит эквивалентные ширины W, измеренные по спектрограммам, полученным 26—28 августа 1974 г. Сравнение величин W за эти две даты показано на рис. 1, из которого видно, что линии оболочки 26 августа заметно интенсивнее, чем 27 августа. Линии звезды (они отмечены на рис. 1 крестиками) не изменились. Это позволяет думать, что об-

Таблица 2

ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ (А) В СПЕКТРЕ EW LAC 26 и 27 АВГУСТА 1974 г.

λ, А	Отождествление	26.VIII	27.VIII	λ, А	Отождествление	26.VIII	27.VIII
5895.9	NaI (1)	0.45	1.22			(2.64)	(2.13)
5890.0	NaI (1)	0.79	1.64	4325.0	ScII (15)	0.03	0.04
5875.6	HeI (11)	1.58	2.43	4320.7	ScII (15)	0.07	0.07
4966.1	VII (23)	0.24	—	4314.1	ScII (15)	0.09	—
4951.7	VII (29)	0.29	—	4305.7	ScII (15)	0.03	—
4941.0	CrII (36)	0.24	—	4303.2	FeII (27)	—	0.10
4923.9	FeII (42)	0.27	—	4267.0	CII (6)	0.51	0.54
4912.4	VII (222)	0.11	—	4258.2	FeII (28)	0.07	—
4902.9	VII (29)	0.07	—	4252.6	CrII (31)	0.05	—
4713.1	HeI (12)	0.53	—	4250.8	FeI (42)	0.05	—
4661.6	OII (1)	0.50	—	4242.5	MgII (20)	0.23	—
4649.1	OII (1)	0.35	—	4242.4	CrII (31)	0.09	0.06
4634.1	CrII (44)	0.07	—	4233.2	FeII (27)	0.14	0.07
4631.9	FeII (219)	0.09	—	4226.7	CaI (2)	0.39	0.11
4618.8	CrII (44)	0.07	—	4202.0	FeI (42)	0.03	—
4610.6	FeII (170)	0.12	—	4199.1	FeII (141)	0.07	—
4558.7	CrII (44)	0.08	—	4178.9	FeII (28)	0.09	0.06
4555.0	CrII (44)	0.17	0.10	4173.4	FeII (27)	0.16	0.06
4551.7	FeI (972)	0.06	—	4169.0	HeI (52)	0.56	0.36
4547.0	FeI (39)	0.24	0.08	4143.8	HeI (53)	0.95	0.57
4518.2	NIII (3)	0.24	0.33	4130.9	SiII (3)	0.15	0.18
4508.3	FeII (38)	0.06	—	4128.0	SiII (3)	0.16	0.17
4481.1	MgII (4)	0.54	0.44	4120.8	HeI (16)	0.78	0.64
4471.5	HeI (14)	1.78	1.47	4101.7	H_δ	4.76	4.01
4444.2	VII (30)	0.05	—			(2.75)	(2.45)
4437.6	HeI (50)	0.28	—	4074.9	CII (36)	0.27	0.20
4415.1	FeI (41)	0.05	0.06	4054.1	OII (50)	0.35	—
4414.9	OII (5)	0.28	0.44	4041.3	NII (39)	0.18	0.11
4387.9	HeI (51)	0.76	0.66	4035.1	OII (51)	0.52	—
4385.4	FeII (27)	0.09	—	4026.2	HeI (18)	1.50	0.98
4383.6	FeI (41)	0.11	0.10	4009.3	HeI (55)	0.94	0.49
4374.5	ScII (14)	0.05	—	4002.1	FeII (29)	0.18	—
4369.3	OII (26)	0.30	0.24	3995.0	NII (12)	0.58	—
4360.8	FeI (903)	0.24	—	3970.1	H_ε	6.85	4.11
4357.6	FeII (—)	0.30	0.08			(3.52)	(2.34)
4351.8	FeII (27)	0.34	—	3964.7	HeI (5)	0.27	—
4340.5	H_γ	4.98	3.99	3947.5	OI (3)	0.21	—

Таблица 2 (продолжение)

λ, A	Отождествление	26.VIII	27.VIII	λ, A	Отождествление	26.VIII	27.VIII
3938.3	FeII (3)	0.16	—	3721.9	H_{14}	—	1.22
3933.7	CaII (1)	0.51	0.28	3712.0	H_{15}	—	1.40
3926.5	HeI (58)	2.35	0.46	3703.9	H_{16}	—	1.34
3889.0	H_8	3.91	3.85	3697.2	H_{17}	—	0.81
		(2.31)	(2.34)	3691.6	H_{18}	—	0.66
3867.5	HeI (20)	0.24	0.26	3686.8	H_{19}	—	0.55
3856.0	SiII (1)	0.12	0.15	3682.8	H_{20}	—	0.58
3835.4	H_9	3.50	3.65	3679.4	H_{21}	—	0.40
3819.6	HeI (22)	—	1.00	3676.4	H_{22}	—	0.33
3797.9	H_{10}	—	3.85	3673.8	H_{23}	—	0.33
3770.6	H_{11}	—	3.31	3671.5	H_{24}	—	0.19
3750.2	H_{12}	—	2.66	3669.5	H_{25}	—	0.21
3743.0	CrII (6)	—	0.07	3668.7	H_{26}	—	0.23
3741.6	TiII (72)	—	0.08	3666.1	H_{27}	—	0.13
3734.4	H_{11}	—	1.72	3664.7	H_{28}	—	0.08

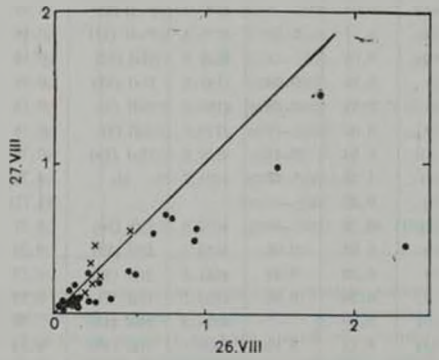

Рис. 1. Сравнение эквивалентных ширин за 26 и 27 августа. Крестиками отмечены линии звезды.

работка спектрограмм была проведена достаточно однородно и наблюдаемые изменения спектра оболочки реальны. Своеобразно поведение линий HeI. Несмотря на то, что линии HeI возникают скорее всего в атмосфере

В-звезды, их интенсивность сильно меняется и характер изменения подобен изменению интенсивности в спектре оболочки (рис. 1). На рис. 2 приведена запись в относительных интенсивностях участка спектра, содержащего линию HeI λ 3926 А за 26 и 27 августа. Различие между ними хорошо заметно. На рис 3 сравнены эквивалентные ширины спектра оболочки 26 августа и Озмере [2]. Видно, что в 1960 г. спектр оболочки был гораздо сильнее, чем в 1974 г.

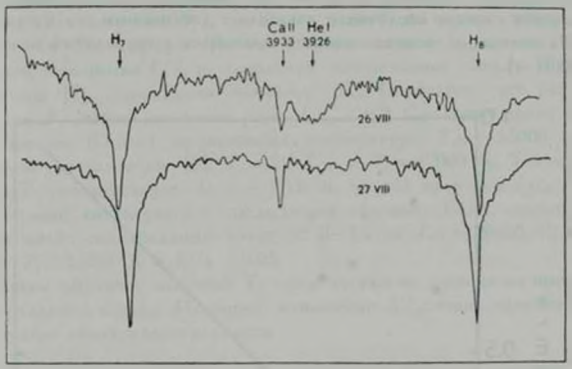

Рис. 2. Запись участков спектров, полученных в разные даты.

Была проведена спектральная классификация EW Lac по критериям, указанным в работах [4, 5]. Спектральный класс равен B 3—2, причем, B 3 более вероятно. Класс светимости получился разным в разные даты. Характер изменения светимости, определенной по водородным линиям, оказался противоположным тому, что дают критерии, составленные по линиям других элементов: по водородным линиям светимость звезды 26 августа соответствует классам V—IV, а 27 августа, когда спектр оболочки ослаб,— классу III. По линиям других элементов получен противоположный результат: при усилении спектра оболочки 26 августа светимость звезды была Ia—Ib, при ослаблении оболочечного спектра 27 августа — V—IV. Способом, описанным ниже, нам удалось разделить линии водорода на оболочечную и звездную. При этом предполагалось, что в оболочке формируется ядро линии, а в атмосфере звезды — внешние части контура. Эквивалентная ширина звездной линии указана в табл. 2 в скобках. При использовании эквивалентных ширин водородных линий звезды класс светимости EW Lac получился II—Ib. Причем, 26 августа, когда оболочечный

спектр был достаточно интенсивен, класс светимости ближе к II, а 27 августа, когда интенсивность спектра оболочки заметно уменьшилась, светимость скорее Ib. Различие светимости, определяемой по водороду и линиям других элементов, объясняется, по-видимому, тем, что доля звездной линии в общей интенсивности линии водорода, велика, поэтому по водородным линиям заметны изменения, которые происходят в атмосфере звезды. Светимость, определенная по критериям, в которые входят линии оболочки и HeI, отражает состояние оболочки: она уменьшилась с уменьшением интенсивности спектра оболочки и возрасла с увеличением его интенсивности. На основании вышеизложенного принимаем спектральный класс EW Lac B3 II—I.

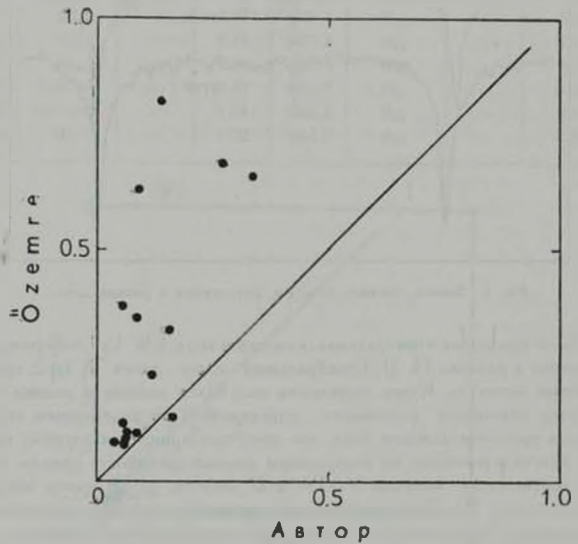

Рис. 3. Сравнение эквивалентных ширин, измеренных автором, с результатами работы [2].

Электронная температура оболочки. Зная спектральный класс звезды и определив из наблюдений величину бальмеровского скачка D, можно оценить электронную температуру T_e оболочки. Пусть D_* — величина бальмеровского скачка в спектре звезды без оболочки, D_{*+0} — наблюдаемая ве-

личина скачка в спектре звезды с оболочкой, D_* — величина скачка в спектре оболочки. Нетрудно показать, что

$$D_0 = \lg[(B - A)\, I_*/I_0 + B], \qquad (1)$$

где $B = 10^{D_*}$, $A = 10^{D_0}$, I_*/I_0 — отношение интенсивности излучения в спектре звезды и оболочки за пределом бальмеровской серии. Величину D_* принимаем из работы [6]. Для гигантов спектрального класса B3 средняя величина $\overline{D}_* = 0.13$ (для класса B2 $\overline{D}_* = 0.08$). Наблюдаемая величина D_{*0} оказалась равной, по нашим спектрограммам, 0.06. По формуле (1) вычисляем величину D_0 для нескольких значений отношения I_*/I_0 и, используя соотношение между D_0 и T_* из работы [7], определяем величину T_*. Оказалось, что разумное значение T_* можно получить при $I_0/I_* \leq 0.2$. Сделаем оценку иначе. Для звезды B3 II—I эффективная температура $T_{\text{эф}} = 18000$ К [8]. Согласно результатам [9], $T_* = 2/3\, T_{\text{эф}}$ и $T_* = 12000$ К. Такому значению T_* соответствует $D_0 = -1.12$ и по (1) получаем $I_0/I_* = 0.19$, что хорошо согласуется с предыдущей оценкой. Если считать, что звезда имеет спектральный класс B2 II—I и ее $T_{\text{эф}} = 20000$ К, то получим $T_* = 13000$ К и $I_0/I_* = 0.05$.

Таким образом, значение T_* практически не зависит от принятого спектрального класса. Наоборот, отношение I_0/I_* очень чувствительно к величине спектрального класса.

Электронная концентрация и величина N,H. Методом предельного перехода к оптически тонкому слою было определено полное количество водородных атомов во втором квантовом состоянии по лучу зрения $\lg N_2 H$. Результаты приведены в табл. 3, там же для сравнения указаны результаты работы [2].

Таблица 3

НЕКОТОРЫЕ ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ EW LAC

	$\lg N_2 H$		$\lg n_e$			v_r, км сек
	Оболочка	Звезда	И—Т	H_γ	H_δ	
Автор	−15.98 (26.VIII)	−15.8 (26.VIII)	12.4	14.4	14.5	4 (26.VIII)
	15.98 (27.VIII)	15.8 (26.VIII)				8 (27.VIII)
Озмер	16.28	15.97	13.67	14.6	14.6	3—40

Величина электронной концентрации n_e была определена двумя способами: по формуле Инглиса-Теллера и по распределению интенсивности в крыльях водородных линий [10]. Вторым способом значение n_e опреде-

лялось по крыльям линий H_γ и H_ε. Методом последовательных приближений решалась система уравнений:

$$\begin{cases} \lg c_n = 5/2 \lg W - 0.752 - 3/2 \lg R_0 - 5/2 \lg U(a) \\ \lg a = 1/5 \lg c_n - 1/5 \lg R_0 + \lg r, \end{cases} \quad (2)$$

где $U(a)$ — некоторая функция, затабулированная в [10]. Глубина R_0 звездной линии определяется недостаточно уверенно. Она заключена в пределах 0.1—0.2. Для дальнейшего примем среднее значение $R_0 = 0.15$. Благодаря тому, что в (2) величина R_0 входит под знаком логарифма, неуверенность в определении R_0 не сильно скажется на окончательном результате. Для оценки параметра Колба r использовались значения T_e и n_e, определенные ранее. Решение (2) дает величину

$$c_n = C_n (2.603e)^{3/2} N_e H n_e, \quad (3)$$

из которой сразу получаем значение $N_e H n_e$, постоянные C_n взяты из работы [11]. Результаты приведены в табл. 3. Значение n_e, определенное по крылу звездной водородной линии, характеризует электронную плотность в атмосфере звезды и на внутренней границе оболочки. Поэтому оно больше значения n_e, вычисленного по формуле Инглиса—Теллера, которое характеризует более внешние слои оболочки.

Турбулентные скорости в оболочке и ее оптическая толща. Используя эквивалентные ширины линий оболочечного спектра, приведенные в табл. 2, мы построили кривые роста для обеих ночей и по ним определили турбулентные скорости V_t в оболочке. В качестве теоретической использовалась кривая роста Унзольда, рассчитанная для модели атмосферы Шварцшильда—Шустера. Результаты приведены в табл. 3.

Зная турбулентную скорость, определим оптическую толщу τ в оболочке по формуле

$$\lg \tau = 1.15 + \lg \lambda + \lg f - \lg V_t. \quad (4)$$

В (4) все обозначения имеют общепринятый смысл. Результаты определения приведены в табл. 4, из которой видно, что оптическая толща оболочки 26 августа примерно в 2 раза больше, чем 27 августа. В таблице также приведены оптические толщи за пределом бальмеровской $\tau(B)$ и лаймановской $\tau(L)$ серий. При вычислении $\tau(B)$ и $\tau(L)$ принималось, что коэффициент поглощения, рассчитанный на один атом, за пределом бальмеровской серии равен $3 \cdot 10^{-17}$, а за пределом лаймановской серии $0.6 \cdot 10^{-17}$. Как будет показано ниже, $\lg N_e H = 17.97$.

Таблица 4

ОПТИЧЕСКАЯ ТОЛЩА ОБОЛОЧКИ В ЛИНИЯХ БАЛЬМЕРОВСКОЙ СЕРИИ

Дата	H_2	H_3	H_7	H_8	H_{10}	H_{20}	H_{30}	τ(B)	τ(L)
26.VIII	$1.5\cdot10^4$	$2.1\cdot10^3$	$6.9\cdot10^3$	$3.2\cdot10^3$	$5.2\cdot10^1$	5.8	1.7	>0.3	>5.6
27.VIII	$9.4\cdot10^3$	$1.1\cdot10^3$	$3.5\cdot10^3$	$1.6\cdot10^3$	$2.6\cdot10^1$	2.9	0.8	0.3	5.6
Отношение	1.6	1.9	2	2	2	2	2	>1	>1

Лучевые скорости и скорость вращения. Для измерения лучевых скоростей V_r был использован прибор, в котором наведение на линию производилось по контуру, развернутому в прямом и обратном направлениях [12]. Оказалось, что для водородных линий невозможно совместить прямое и обратное изображение одновременно для всех частей контура. Этим обстоятельством мы воспользовались для разделения линий оболочки и звезды. На рис. 4 представлено изменение лучевой скорости с номером линии

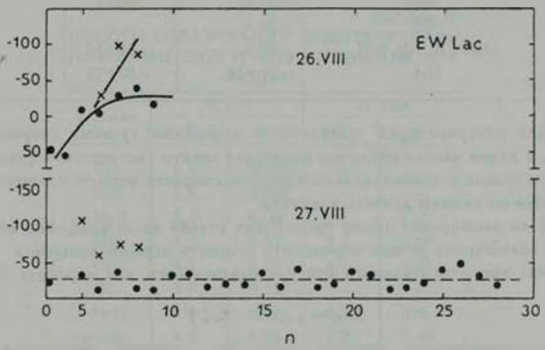

Рис. 4. Изменение лучевой скорости с номером водородной линии

в серии. Видно, что 27 августа лучевая скорость, определенная по линиям оболочки, постоянна и равна — 25.6 км/сек. Лучевая скорость, определенная по линиям звезды, гораздо больше (— 80 км/сек) и, возможно, имеет некоторый ход с номером линии. 26 августа, когда спектр оболочки был более интенсивен, изменение лучевой скорости с номером линии иное: в первых линиях бальмеровской серии V_r, определенная по линиям оболочки, изменяется от +50 км/сек до — 25 км/сек, по линиям звезды от —25 км/сек до — 100 км/сек. Результаты измерения лучевых скоростей и средних

квадратичные ошибки приведены в табл. 5. Ошибка не указана в том случае, когда V_r определена по одной линии. Знак + соответствует сжатию оболочки, — расширению.

Таблица 5

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ

Элемент	26.VIII.1974	27.VIII.1974	28.VIII.1974
FeI	+92±25	+124±5	
FeII, CrII, TiII, ScII, VII	−28±13		
MgII	−34.5		
CaII	−39.2	−20±8	
SiII	−21.9±0.3		
H (оболочка, абсорбция)	−30±10		
H_ε (оболочка, эмиссия)	−114.7	−48.9	−64.9
H (звезда)	−92±20	−80±19	
CaI	−171	−224	
NaI	−45±5	−50±1	
OI	−59.4	—	
OII, CII, NII, NIII	−8±8	+64±10	
HeI	−21±10	−82±22	

Для интерпретации результатов измерения лучевых скоростей надо знать, в каких частях оболочки возникает спектр соответствующего элемента. Это можно установить, если известна скорость осевого вращения, определенная по линиям данного элемента.

Если расширение линии происходит только из-за вращения звезды, то по ее полуширине можно определить скорость осевого вращения $V \sin i$. Влияние инструментального контура исключалось, как в работе [13]:

$$\Delta\lambda_D = \gamma\,(\Delta\lambda^2 - \Delta\lambda_a^2)^{1/2}, \qquad (5)$$

где $\Delta\lambda$ — измеренная ширина линии, $\Delta\lambda_a$ — ширина инструментального контура, γ — некоторый коэффициент мало отличающийся от единицы. Величину $\Delta\lambda_a$ мы определили по слабым линиям спектра сравнения. Она оказалась равной 0.83 А. Скорость вращения определялась только по линиям, ширина которых уверенно больше ширины инструментального контура, а интенсивность далека от насыщения. Скорость вращения звезды была определена по пяти линиям следующих элементов: CII, OII, NII и NIII. Для 26 августа $V \sin i$ оказалось равным 410 *км/сек*, для 27 августа 370 *км/сек*. В каталогах [14–16] для EW Lac приводится величина скорости вращения от 325 до 380 *км/сек*. Таким образом, полученная нами ско-

рость осевого вращения звезды находится в удовлетворительном согласии с каталожными значениями.

Считаем, что вращение оболочки подчиняется закону сохранения углового момента. Тогда будет иметь место соотношение

$$r/R = V_0/V, \tag{6}$$

где R — радиус звезды, V_0 — скорость вращения на поверхности звезды, V — скорость вращения оболочки на расстоянии r от оси вращения. Зная из (6) размеры оболочки, можно определить коэффициент дилюции w:

$$w = \frac{1}{4}\left(\frac{R}{r}\right)^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{V}{V_0}\right)^2. \tag{7}$$

Результаты приведены в табл. 6 для обеих дат. Для 27 августа не удалось определить размеров оболочки и коэффициента дилюции по линиям Fe I, II и OI, так как интенсивности линий значительно уменьшились и их контуры стали чисто инструментальными.

Таблица 6

ВЫСОТЫ ОБРАЗОВАНИЯ СПЕКТРОВ РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИЛЮЦИИ

Элемент	26.VIII		27.VIII	
	r/R_{∞}	w	r/R_{∞}	w
FeI	8.9	0.003	—	—
FeII	6.6	0.006	—	—
MgII	2.2	0.05	1.1	0.2
SiII	4.7	0.01	2.7	0.03
CaII	4.2	0.01	4.5	0.01
OI	3.9	0.02	—	—
HeI	0.8	0.4	0.7	0.5
средние	4.3	0.02	2.8	0.08

Как видно из табл. 6, дальше всего от поверхности звезды возникают линии FeI, а ближе всего — линии HeI. Линии HeI возникают в слое, расположенном глубже слоя формирования линий OII, CII, NII и III, по которым определена скорость осевого вращения звезды.

Из табл. 5 и 6 следует, что 26 августа поверхностные слои звезды, которые примыкают к внутренним слоям оболочки, расширялись со средней скоростью около — 8 *км/сек*, а 27 августа они сжимались со скоростью + 64 *км/сек*. Более глубокие слои звездной атмосферы, в которых возникают линии HeI, сначала расширялись со скоростью — 21 *км/сек*, а

затем со скоростью — 82 *км/сек*. Таким образом, измерения лучевых скоростей показали, что поверхностные слои звезды не остаются неподвижными, а движутся с переменной скоростью как по величине, так и по направлению, что обязательно должно повлиять на состояние оболочки.

Самые внешние слои оболочки, в которых возникают линии FeI, 26 августа сжимались со скоростью + 92 *км/сек*, а 27 августа скорость сжатия возрасла до + 124 *км/сек*. Более глубокие слои, в которых формируются линии однократно ионизованных металлов (FeII, CrII, TiII, ScII), 26 августа сжимались со скоростью + 28 *км/сек*, в то время как еще более глубокие слои, расположенные ближе к поверхности звезды, в которых возникают линии H_{α}, MgII, CaII, SiII, расширялись со средней скоростью — — 30 *км/сек*. 27 августа все эти элементы имели скорость около —20 *км/сек*. Турбулентная скорость, определенная по кривой роста, 26 августа была равна 4 *км/сек*, а 27 августа возрасла вдвое. Этот факт можно объяснить, если обратиться к анализу полученных лучевых скоростей. 26 августа внутренние и внешние слои оболочки двигались навстречу друг другу. В какой-то момент произошло их столкновение, после которого величину и направление скорости определило движение более массивной водородной оболочки и лучевые скорости сравнялись. Однако в результате столкновения двух потоков развилась турбуленция и турбулентная скорость возрасла. Интенсивность спектра оболочки коррелирует с характером этих движений. Это наглядно демонстрирует рис. 5а, b, на котором хорошо заметно изменение интенсивности эмиссионной линии H_{γ} с увеличением сдвига

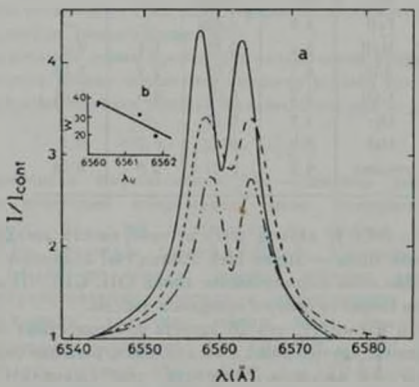

Рис. 5. Соотношение между интенсивностью и положением эмиссионной линии H_{γ} в разные ночи.

линии в коротковолновую сторону. Большая ширина эмиссионных линий указывает на то, что они возникают в очень протяженной оболочке.

Обращает на себя внимание следующее обстоятельство: бальмеровские линии поглощения оболочки, которые формируются на расстояниях 5—6 R_{**}, имеют скорости меньше, чем скорости, соответствующие сдвигу эмиссионной линии H_γ. Основываясь на результатах табл. 6, можно предположить, что эмиссия в H_γ возникает на расстоянии $\gtrsim 10 R_{**}$. Если это так, то скорость водородных атомов возрастает к внешней границе оболочки. Это говорит о том, что плотность оболочки убывает во внешних слоях и, возможно, о том, что структура оболочки очень неоднородна. Приведет ли наблюдаемое ускорение к постепенному растеканию и потере звездой оболочки — трудно сказать. Если считать, что масса звезды $\mathfrak{M} = 12-13\mathfrak{M}_\odot$, а радиус $R_{**} = 5R_\odot$ [8], то скорость убегания на расстоянии $10R_{**}$ равна примерно 300 *км/сек*. Таким образом, наблюдаемые скорости значительно меньше скорости убегания.

Возбуждение, ионизация и масса оболочки. В работе [17] было показано, что распределение интенсивности в крыльях эмиссионных линий H_γ определяется затуханием вследствие излучения. При выполнении условия оптически тонкого слоя можно подсчитать число атомов в третьем квантовом состоянии N_3

$$N_3 = 4.59\,(\Delta\lambda)^2 I(\Delta\lambda), \qquad (8)$$

где $I(\Delta\lambda)$ — интенсивность в крыле линии на расстоянии $\Delta\lambda$ от ее центра. Условие оптически тонкого слоя начинает выполняться при $\Delta\lambda > 5$ Å. Предположим, что подстилающая линия поглощения звезды и интенсивность континуума не изменяются. Это предположение выполняется, по-видимому, довольно хорошо. Тогда по отношению интенсивностей в крыльях линий H_γ можно судить об изменении величины N_3 в разные моменты наблюдений. Примем значение $(N_3)_{26}$ 26 августа за единицу, тогда получаем

$$\frac{(N_3)_{27}}{(N_3)_{26}} = 0.9, \qquad \frac{(N_3)_{28}}{(N_3)_{26}} = 1.0.$$

Видно, что 27 августа степень возбуждения в оболочке понизилась. Одновременно уменьшились интенсивность линии и ее сдвиг. 28 августа степень возбуждения возрасла до прежнего значения, но интенсивность и сдвиг линии не достигли еще значений, наблюдавшихся 26 августа.

Определим степень возбуждения иначе. Эффективная температура звезды $T_{\text{эф}}$ равна 19000 К. Приняв $R_{**} = 5R_\odot$, с помощью данных, приведенных в табл. 5 и 6, оценим градиент лучевой скорости.

Он оказался равным $4 \cdot 10^{-5}$. Коэффициент дилюции w примем равным 0.02. Тогда

$$x = \frac{\beta_{12}}{w} = 0.01,$$

где β_{12} — доля квантов, выходящих из среды в линии L. Зная x и T по таблицам, приведенным в работе [18], получаем

$$10^{\varepsilon} \frac{N_2}{N_1} = 0.97 \quad \text{и} \quad \frac{n_e N_+}{w N_1} = 0.022.$$

27 августа $\lg N_2 H = 15.98$. Следовательно, полное число водородных атомов в первом квантовом состоянии по лучу зрения будет равно $\lg N_1 H = 17.97$, степень ионизации в оболочке $N_+/N_1 = 2 \cdot 10^4$ и полное число ионизованных водородных атомов по лучу зрения $\lg N_+ H = 22.27$.

Оценим массу оболочки. Считаем, что оболочка сферически симметрична и целиком состоит из водорода. Пусть $R_{об} = 4 - 5 R_{**}$, тогда масса ее $\mathfrak{M}_{об} = 2 - 3 \cdot 10^{-10} \mathfrak{M}_\odot$.

Выше мы показали, что значение $\lg N_2 H$ 26 августа больше, чем 27 августа. Это значит, что степень возбуждения, ионизация и масса оболочки 26 августа будут больше, чем 27 августа.

Заключение. Проведенное рассмотрение показало, что оболочка не является неизменным, застывшим образованием, а заметно изменяется за время порядка одних суток. Поверхностные слои В-звезды, примыкающие к внутренним слоям оболочки, также не остаются неподвижными. Наблюдаемое изменение лучевых скоростей позволило предположить, что они пульсируют. Отмеченное в работе [3] квазипериодическое изменение блеска можно объяснить тем, что амплитуда и продолжительность пульсаций не являются строго периодическими.

В заключение выражаю глубокую благодарность В. С. Павловой за составление программы вычисления лучевых скоростей и проведение необходимых вычислений.

Специальная астрофизическая
обсерватория АН СССР

THE SPECTRUM OF EW LAC IN 1974

N. F. VOYKHANSKAYA

The results of investigations of the spectrum in 1974 have been reported. Spectral classification of EW Lac has been carried out and it is

shown that its luminosity varies from night to night. The physical parameters of the envelope: electron temparature and concentration, total number of hydrogen atoms along the line of sight, turbulent velocity, optical depth, mass, excitation and ionization states are determined. Radial velocities of all the lines present in the spectrum are measured. By the results of these measurements a conclusion is made on the complex character of motion of matter in the envelope and on the pulsation of the star's surface layers.

ЛИТЕРАТУРА

1. *R. B. Baldwin*, Ap. J., 97, 388, 1943.
2. *K. Ozemre*, Ann. Astrophys., 30, 495, 1967.
3. *M. F. Walker*, Ap. J., 118, 481, 1953.
4. *А. А. Боярчук*, Изв. КрАО, 17, 89, 1957.
5. *Н. М. Копылов*, Изв. КрАО, 20, 156, 1958.
6. *D. Chalonge, L. Divan*, Ann. Astrophys., 3, 201, 1952.
7. *Цой Дай О.*, Астрон. ж., 33, 682, 1956.
8. Basic astronomical data. Ed. K. Aa. Strand, 1969, Chicago.
7. *Цой Дай О.* Астрон. ж., 33, 682, 1956.
10. *G. Traving*, Ap. J., 135, 439, 1962.
11. *C. de Jager*, Ann. Astrophys., 23, 889, 1960.
12. *Ю. Ф. Антропов*, Новая техника в астрономии, вып. 4, 75, 1972.
13. *Su Shu Huang*, Ap. J., 118, 285, 1953.
14. *A. Slettebak*, Ap. J., 110, 498, 1949.
15. *А. А. Боярчук, Н. М. Копылов*, Изв. КрАО, 31, 44, 1964.
16. *A. Uesugi, I. Fukuda*, Contr. Inst. Astrophys. Kwasan. Obs. Kyoto, No. 189, 205, 1970.
17. *А. А. Боярчук, Н. Н. Проник*, Изв. КрАО, 31, 3, 1964.
18. *В. В. Соболев*, Движущиеся оболочки звезд, Л., 1947.