

УДК 524.31

СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ В АТМОСФЕРЕ V 380 ЛЕБЕДЯ  
(ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СТАТУС СИСТЕМЫ)

В. В. ЛЕУШИН и Л. И. СНЕЖКО

Поступила 14 июля 1980

Принята к печати 27 мая 1981

По полученным на БТА спектрам проанализированы эквивалентные ширины водородных и гелиевых линий яркого компонента системы V 380 Cyg. Найдено усиление всех линий поглощения в фазе выхода второго компонента из затмения. Оценено содержание гелия в атмосфере яркого компонента  $N(H^{\alpha})/N(H) \approx 0.22$ , что в два раза больше значений, характерных для нормальных испроэволюционировавших звезд. Делается заключение о необходимости пересмотра эволюционного статуса системы V 380 Cyg.

1. *Введение.* Определение химического состава атмосфер компонентов двойных звезд, эволюционирующих с потерей массы, может дать ключевую информацию о предыстории и настоящем эволюционном статусе двойной системы. Затменная двойная система V 380 Cyg была включена нами в список звезд, исследуемых с целью определения содержания в их атмосферах химических элементов, участвующих в CNO-цикле. Хотя V 380 Cyg отнесена к разделенным системам главной последовательности [1], не удастся согласовать ее спектральные и фотометрические элементы в предположении, что более яркий компонент является нормальной звездой главной последовательности [2]. Предварительный анализ показал, что имеющиеся противоречия между светимостью и размерами могут быть сняты при предположении, что более яркий компонент является сверхгигантом, уже потерявшим значительную долю массы. Поэтому мы прежде всего поставили задачу определения содержаний водорода и гелия в атмосфере яркого компонента V 380 Cyg.

2. *Наблюдательный материал.* Спектральный наблюдательный материал был получен на спектрографе ОЗСП БТА с камерой II, дисперсия

8 А /мм. Для уменьшения влияния вторичного компонента на суммарный спектр системы наблюдения проводились вблизи вторичного минимума в кривой блеска. Фазы вычислялись по элементам, приведенным у Бэттана [3]. Данные о спектрограммах приведены в табл. 1, всего получено по 4 спектрограммы для фаз 0.49 и 0.65.

Таблица 1

СПИСОК СПЕКТРОГРАММ V 380 Суг

Номер снимка	Дата	Время	Фазы
10	18.05.1978	22 <sup>h</sup> 59 <sup>m</sup>	1614.491
11	"	23 10	.492
12	"	23 24	.493
13	"	23 45	.494
26	20.05.1978	22 30	.651
27	"	22 52	.652
28	"	23 12	.653
29	"	23 26	.654

Спектрограммы были независимо профотометрированы на микрофотомере ИФО-451, дающем записи в фотографических плотностях, и на микрофотомере прямых интенсивностей САО АН СССР. Затем измерялись линии водорода, гелия и ряда других ионов, причем для определения точности получаемых значений эквивалентных ширин ( $W_\lambda$ ) отдельно обрабатывались оба ряда регистрограмм. Рис. 1, где представлено сопоставление  $W_\lambda$  для этих двух измерений, показывает хорошее согласие результатов, что свидетельствует о точности нашего материала. Средняя вероятная ошибка, как показывает рис. 2, зависит от значения эквивалентной ширины и меняется в пределах от 10—15% для  $W_\lambda \approx 0.01$  А до 3—4% для  $W_\lambda \approx 1.5$  А.

Значения эквивалентных ширин линий водорода и гелия для фаз наблюдений приведены в табл. 2, данные которой показывают, что  $W_\lambda$  в фазе 0.49 в среднем в 1.5 раза превышают их значения в фазе 0.65. Среднее значение  $W_\lambda$  для  $H_T$ , найденное другими авторами [3, 4], составляет  $(2.5 \pm 0.1)$  А, что совпадает с нашими значениями для фазы 0.65.

3. *Спектральный класс и светимости компонентов системы.* В табл. 3 сведены имеющиеся в литературе определения параметров компонентов V 380 Суг. Большие различия отдельных определений вызваны как качеством наблюдательного материала, так и методическими различиями. Данные МакНамары [9] получены из фотоэлектрических наблюдений с интерференционными фильтрами, пересчитанных затем в систему UVV. По-

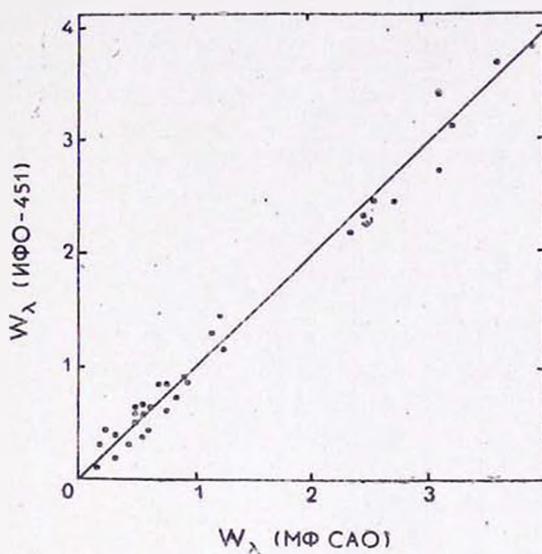


Рис. 1. Сопоставление эквивалентных ширин, полученных по разным регистраграммам.

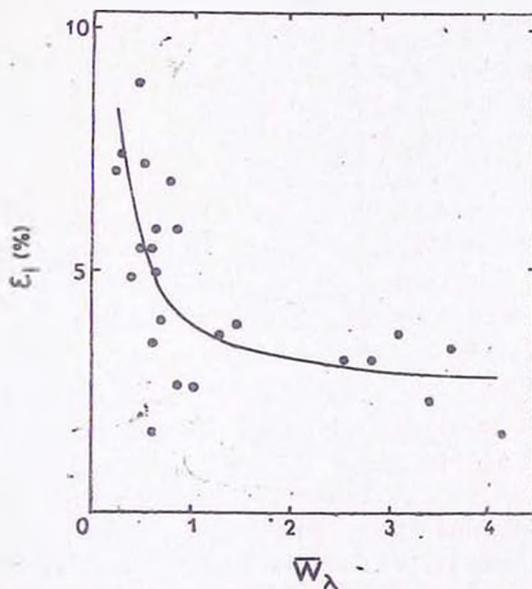


Рис. 2. Зависимость относительной ошибки от величины эквивалентной ширин.

Таблица 2

СРЕДНИЕ ЗНАЧЕНИЯ ЭКВИВАЛЕНТНЫХ ШИРИН ЛИНИЙ ДЛЯ  
ДВУХ ФАЗ И ИХ ОТНОШЕНИЯ

$\lambda$ , Элемент	$W_{\lambda}$		$\frac{W_{0.49}}{W_{0.65}}$	$\lambda$ , Элемент	$W_{\lambda}$		$\frac{W_{0.49}}{W_{0.65}}$
	0.49	0.65			0.49	0.65	
3835.39 H <sub>9</sub>		2.51		4026.36 HeI	1.27	0.95	1.5
3867.48 HeI		0.30		4101.74 H <sub>8</sub>	3.68	2.84	1.3
3871.79 HeI		0.27		4120.82 HeI	0.68	0.45	1.5
3878.18 H <sub>9</sub> I	0.27	0.15	1.8	4143.76 HeI	0.81	0.55	1.5
3889.05 H <sub>8</sub>	3.70	2.95	1.2	4168.57 H <sub>9</sub> I	0.23	0.13	1.8
3926.50 HeI	0.79	0.59	1.3	4340.47 H <sub>7</sub>	4.13	2.51	1.6
3964.73 HeI	0.47	0.34	1.4	4387.07 HeI	0.86	0.54	1.6
3970.07 H <sub>8</sub>	3.42	3.08	1.1	4437.55 HeI	0.26	0.11	2.4
4009.27 HeI	0.73	0.54	1.4	4471.73 H <sub>9</sub> I	1.42	0.84	1.6
4023.90 H <sub>9</sub> I	0.11	0.09	1.2	4851.33 H <sub>3</sub>		3.85	

Таблица 3

## ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ V 380 Cyg

Автор	Первичный компонент				Вторичный компонент			
	$S_p$	$M_v$	$\mathcal{M}_{\odot}$	$R_{\odot}$	$S_p$	$M_v$	$\mathcal{M}_{\odot}$	$R_{\odot}$
Беттен [3]	B1.5	-4 <sup>m</sup> 4	14.1	12.8	B3	-3 <sup>m</sup> 2	8.0	8.7
Кох и др. [4]	B0.5	-4.9			B0-B2	-3.4		
Копал [2]	B1.5	-5.5	17	22	B2.5		9.1	6.1
Петри [5]	B2	-3.9						
Морган [1]	B1	-5.1						
Дуке [7]	B1	-2.8						
Рамзой [8]	B1	-3.6						
МахНамара [9]	O9.5	-5.3						
Николет [10]								

по межзвездным линиям

$(U-B)_0 = -1^m.09$ ,  $(B-V)_0 = -0^m.30$   
 $(U-B)_0 = -0^m.77$ ,  $(B-V)_0 = -0^m.04$

лученные им значения  $T_{\text{eff}} = 39\,000\text{ K}$  и спектрального класса O 9.5 никак не могут быть согласованы с наблюдаемыми величинами эквивалентных ширин линий H, He, Mg и Si. В то же время прямые измерения в системе  $UBV$  приводят к значениям  $T_{\text{eff}}$ , не превышающим  $20\,000\text{ K}$  [10].

В табл. 4 приведены определения спектрального класса по нашему наблюдательному материалу с помощью построенных Копыловым калибровочных зависимостей [11, 12]. Для фазы 0.65 среднее значение спектрального класса составляет B2.2, чему соответствует  $T_{\text{eff}} = 22\,800\text{ K}$ .

Обращает на себя внимание большой разброс отдельных определений для фазы 0.49, что не может быть объяснено неточностью определения

эквивалентных ширин. При этом усиление линий при переходе от фазы 0.65 к фазе 0.49 не удается объяснить изменением основных параметров атмосферы яркого компонента, так как одновременно усиливаются линии всех ионов с различными потенциалами возбуждения и ионизации.

Таблица 4  
ВЕЛИЧИНЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ (А) И  
СПЕКТРАЛЬНЫЕ КЛАССЫ ДЛЯ ДВУХ ФАЗ

Критерий	0.49	0.65	0.49	0.65
$W_\lambda$ (Mg II 4481)	0.41	0.40	B2.6	B2.6
$W_\lambda$ (He I 4471)				
$W_\lambda$ (C III+O II 4649)	0.66	0.54	B1.2	B2.8
$W_\lambda$ (O II 4641)	0.70	0.60	B1.4	B1.8
$W_\lambda$ (Mg II 4481)	0.58	0.36		B2.6
$W_\lambda$ (Si 4131 + 4128)	0.31	0.21	B2.6	B1.8
$W_\lambda$ (Si III 4553 + 4568 + 4573)	1.34	0.90	B1.6	B1.8
$W_\lambda$ (C II 4267 + 3920)	0.77	0.53	B2.0	B2.2

Для фазы 0.65 спектроскопические определения по  $W_\lambda$  водородных линий светимости первичной компоненты V 380 Cug дают значение  $M_V \approx -4^m5$ . Принимая значение радиуса яркой компоненты  $R_1 = 12.8 R_\odot$  по данным Бэттана [3] и значение болометрической поправки для B2.2  $\Delta M = -2^m3$  [13], получаем  $T_{\text{eff}} = 22\,900$  К, что хорошо согласуется со спектроскопическим определением. При находимых стандартной методикой значениях  $M_V = -4^m5$  и  $T_{\text{eff}} = 22\,800$  К яркая компонента V 380 Cug лежит выше главной последовательности. Выполненное компромиссное согласование спектральных и фотометрических элементов приводит к тому, что оба компонента V 380 Cug отклоняются от соотношений масса—радиус и масса—светимость для звезд главной последовательности и на диаграмме спектр—светимость лежат выше нее на  $1^m-2^m$ .

4. Возможные причины изменения интенсивности линий. Определение эффективной температуры по  $W_\lambda$  линий H<sub>γ</sub> и H<sub>β</sub> для фазы 0.49 дает значение  $T_{\text{eff}} \approx 19\,000$  К, что нельзя совместить с эквивалентными ширинами линий других ионов (He I, Si III и т. д.). В фазе 0.49 обнаруживается усиление всех линий спектра, что также не объясняется изменением  $T_{\text{eff}}$  и ускорения силы тяжести, так как, например, при понижении  $T_{\text{eff}}$  линии водорода усиливаются, тогда как линии He I и Si III должны ослабевать. Для объяснения изменения линий He I и H I

в фазах 0.49 и 0.65 изменением силы тяжести необходимо предположить уменьшение последней в фазе 0.65 на  $\Delta \lg g \approx 1$ , что неприемлемо для фигуры возмущенной компоненты двойной системы (при выходе из затмения  $g$  увеличивается). Кроме того при этом не объясняется изменение линий металлов. Следовательно, причина изменения интенсивности линий должна быть внешней по отношению к атмосфере яркого компонента.

Рассмотрим в качестве такой причины наличие вокруг яркого компонента системы газовой оболочки, прозрачной в непрерывном спектре и поглощающей в частотах линий. Согласно Бэттэну [3], ослабление блеска в фазе 0.49 составляет  $0.05$ . Приняв, что все ослабление блеска в фазе 0.49 определяется поглощением излучения вторичного компонента газовой оболочкой вокруг более яркого, находим верхний предел поглощения в оболочке  $e^{-\tau} \leq \frac{0.20}{0.25} (0.25$  — относительная величина блеска второго компонента вне затмения,  $0.20$  — то же в фазе 0.49) и отсюда оценку оптической толщи в непрерывном спектре  $\tau \leq 0.22$ . Оценка коэффициента поглощения в линиях и в непрерывном спектре при электронном давлении  $\lg p_e \approx 1$  и при температурах  $10^4 \leq T \leq 2 \cdot 10^4$  показывает, что оптическая толщина оболочки в линиях на 3—4 порядка превышает таковую в непрерывном спектре. Отсюда следует, что при ослаблении блеска системы на  $0.05$  (в фазе 0.49) излучение спутника в линиях полностью поглотится. Таким образом, если линия вне затмения имеет остаточную интенсивность  $r_0 = 0.5$ , то в фазе 0.49 для нее нужно записать

$$r_0(0.49) = \frac{0.5 \cdot 0.75}{0.75 + 0.20} = 0.39,$$

где  $0.75$  — относительный блеск первичного (яркого) компонента системы,  $0.2$  — то же для вторичного компонента в фазе 0.49 и числитель — относительная величина излучения в линии для той же фазы. Таким образом, центральная глубина линии  $R_0 = (1 - r_0)$  в фазе 0.49 станет в 1.22 раза больше, чем в фазе 0.65. Для слабых линий  $W_\lambda \propto R_0$ , так что рассматриваемый механизм вполне может объяснить необходимое усиление  $W_\lambda$  всех линий в фазе 0.49. Для еще более слабых линий эффект усиливается и при  $R_0 = 0.2$ , ( $r_0 = 0.8$ ) центральная глубина возрастает в 1.8 раза. На рис. 3, где показано усиление линий в зависимости от эквивалентной ширины, можно видеть некоторое возрастание эффекта при малых эквивалентных ширинах.

В пользу существования такой оболочки вокруг главного компонента V 380 Суг говорит и сравнительно большой разброс точек на кривой блеска в минимумах [3, 6]. Исследуя структуру линии К Са II, Бэттэн от-

метил появление некоторых деталей, возникающих, возможно, в оболочке вокруг главного компонента [3].

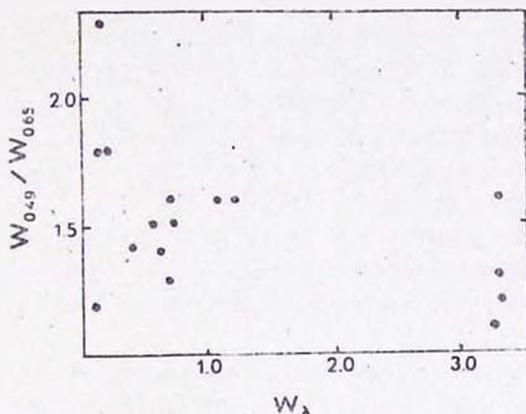


Рис. 3. Связь коэффициента усиления линии  $\left(\frac{W_{\lambda}(0.49)}{W_{\lambda}(0.65)}\right)$  со средним значением  $W_{\lambda}$ .

Обнаруженная спектральная переменность V 380 Суг требует ее детального исследования, а также поиска эмиссионного проявления предполагаемой оболочки вокруг первичного компонента системы.

5. *Определение относительного содержания гелия.* Имеющиеся в литературе данные [2, 3, 7], а также наши исследования свидетельствуют о том, что спектральные классы обих компонентов V 380 Суг близки. В этом случае в фазах максимального блеска и при наблюдаемых амплитудах лучевых скоростей [3], не приводящих к расщеплению линий, эквивалентные ширины линий в суммарном спектре будут равны их значениям в спектре каждого компонента. Действительно, пусть отношение светимостей  $L_1/L_2 = l$ , а  $r1_{\lambda}$  и  $r2_{\lambda}$  — остаточные интенсивности линий в спектре каждого компонента. Тогда для  $W_{\lambda}$  данной линии в суммарном спектре системы имеем:

$$\begin{aligned}
 W_{\lambda} &= \int \left(1 - \frac{r1_{\lambda} + r2_{\lambda}l}{1+l}\right) d\lambda = \int \frac{1+l - r1_{\lambda} - r2_{\lambda}l}{1+l} d\lambda = \\
 &= \int \frac{1-r1_{\lambda}}{1+l} d\lambda + l \int \frac{1-r2_{\lambda}}{1+l} d\lambda = \frac{1}{1+l} W1_{\lambda} + \frac{l}{1+l} W2_{\lambda}
 \end{aligned}$$

и если  $W1_{\lambda} \approx W2_{\lambda}$ , то  $W1_{\lambda} = W2_{\lambda} = W_{\lambda}$ .

Таким образом, при одинаковом спектральном классе обих компонентов эквивалентные ширины в фазе 0.65 характеризуют главный компонент системы V 380 Суг.

Примем для главного компонента системы значение  $T_{\text{eff}} = 22\,800\text{ К}$ , найденное из спектральных определений и по соотношению масса—радиус. Найденные Бэттаном [3] значения массы  $\mathfrak{M} = 14.1 \mathfrak{M}_{\odot}$  и радиуса  $R_1 = 12.8 R_{\odot}$  дают значение ускорения силы тяжести  $\lg g \approx 3.37$ . С помощью значений  $T_{\text{eff}}$  и  $\lg g$  по эквивалентным ширинам из табл. 2, мы оценили содержание гелия относительно водорода в атмосфере главного компонента системы. Начальная оценка была получена с помощью полуэмпирической калибровки Унзольда, уточненной Любимковым [14]. Полученное значение составляет  $N(\text{He})/N(\text{H}) = 0.20$ , что примерно вдвое больше содержания гелия в атмосферах нормальных звезд. Необходимо отметить, что увеличение принятой температуры приводит к еще большему значению  $N(\text{He})$ , так как линии гелия именно здесь достигают максимума [16].

Для более точного определения содержания гелия мы воспользовались результатами модельного расчета линий гелия, приведенными в работах О'Мара и Симпсона [15] и Ауэра и Михаласа [16]. Сводка полученных по разным линиям величин содержания He приведена в табл. 5, где принято  $\lg N(\text{H}) = 12.0$ .

Таблица 5  
СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ В V 380 Cyg  
ДЛЯ РАЗНЫХ  $\lg g$

$\lambda$ (А)	$\lg N(\text{He})$	
	$\lg g = 3.37$	$\lg g = 3.0$
4009	11.22	11.36
4026	11.25	11.55
4121	11.70	11.75
4143	11.25	11.50
4387	11.25	11.50
4437	11.20	11.50
4471	11.20	11.40

Определения по разным линиям близки, исключение составляет линия  $\lambda$  4121. Вероятнее всего, что интенсивность этой линии переоценена из-за блендирования с линиями O II и S II.

В целом, данные табл. 5 показывают, что содержание гелия в атмосфере главного компонента V 380 Cyg лежит в пределах  $0.17 \ll \frac{N(\text{He})}{N(\text{H})} \ll 0.27$ , что в 1.7—2.7 раза больше, чем у нормальных звезд. Основную неопределенность результатов создает неуверенность значения ускорения силы тяжести, достигающего  $\Delta \lg g \sim 0.5$ . Тем не менее, заключение о повышенном содержании гелия остается в силе.

6. *Заключение.* Фотометрические и спектральные данные для затменной двойной системы V 380 Cyg свидетельствуют о пекулярности ее компонентов [1, 2]. Попытка согласовать наблюдаемое у V 380 Cyg движение линии апсид с моделями однородных звезд не привела к успеху [17]. Проведенный здесь анализ обнаружил повышенное содержание гелия в атмосфере первичного компонента системы и возможное наличие вокруг него газовой оболочки. Все это показывает, что оценки основных характеристик компонентов системы, полученные с применением соотношений, установленных для нормальных одиночных звезд, следует рассматривать как первое приближение. Для установления эволюционного статуса V 380 Cyg необходимо выполнить наблюдения и их анализ с учетом обнаруживаемых пекулярностей.

Ростовский государственный  
университет  
Специальная астрофизическая  
обсерватория АН СССР

## THE ABUNDANCE OF He IN THE ATMOSPHERE V 380 CYG (THE EVOLUTIONARY STATUS OF THE SYSTEM)

V. V. LEUSHIN, L. I. SNEZHKO

The equivalent widths of hydrogen and helium lines of the bright component of the system V 380 Cyg have been analysed using the spectra obtained with the 6-meter telescope. Strengthening of all the absorption lines in the phase of coming from eclipse of the second component is found and interpreted by the presence of envelopes. The helium abundance is determined ( $N(\text{He})/N(\text{H}) \approx 0.22$ ), which is two times larger than the value for normal stars. A conclusion is made on the necessity of the evolutionary status revision for the system V 380 Cyg.

### ЛИТЕРАТУРА

1. М. А. Сочников, Уч. зап. УрГУ, сер. астрон., вып. 5, 1969.
2. Z. Kopal, M. B. Shapley, Jodrell Bank Ann., 1, 141, 1956.
3. H. Batten, Publ. Dom. Astrophys. Obs., 12, 91, 1962.
4. R. H. Koch, E. C. Olson, K. M. Yoss, Ap. J., 141, 955, 1965.
5. R. M. Petrie, Publ. Dom., Astrophys. Obs., 9, 251, 1952.
6. I. Sementuk, Acta Astronomica, 18, 1, 1968.
7. D. Duke, Ap. J., 113, 100, 1951.
8. J. Ramsey, Ap. J., 111, 434, 1950.
9. D. H. Mc Namara, in "Spectral Classification and Multicolour Photometry", IAU Symp. No. 24, 1966, p. 190.

10. *B. Nicolet*, *Astron. Astrophys., Suppl. ser.*, 34, 1, 1978.
11. *И. М. Копылов*, *Изв. Крымской обс.*, 20, 123, 1958.
12. *И. М. Копылов*, *Изв. Крымской обс.*, 20, 157, 1958.
13. *К. У. Аллен*, *Астрофизические величины*, Мир. М., 1977.
14. *Л. С. Любимков*, *Изв. Крымской обс.*, 52, 49, 1974.
15. *B. J. O'Mara*, *R. W. Simpson*, *M. N.*, 75, 51, 1971.
16. *L. H. Auer*, *D. Mihalas*, *Ap. J., Suppl. ser.*, 25, 433, 1973.
17. *I. Sementuk*, *B. Paczynski*, *Acta Astronomica*, 18, 33, 1968.