

ИССЛЕДОВАНИЕ УФ-СПЕКТРА ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ V448 Cyg

Г. В. Волкова *

Проанализирован ультрафиолетовый спектр тесной двойной системы V448 Cyg, полученный спутником IUE. Обработаны потоки, полученные от этой системы в нескольких длинах волн спутником TD-1. Проведено отождествление УФ-спектра системы, определены эквивалентные ширины линий, остаточные потоки в центре линий. Исправленный за межзвездное поглощение спектр системы сравнивался с синтетическим спектром, рассчитанным Куручем (1979) в предположении ЛТР. Оказалось, что определенные по оптическому диапазону основные параметры системы хорошо описывают и ее УФ-спектр. Оценена скорость потери массы, обусловленная звездным ветром системы, и скорость потери массы в линиях отдельных ионов. По эмпирической температурной калибровке в УФ-диапазоне оценена эффективная температура компонентов. Проведена оценка параметров околозвездной оболочки по депрессии в УФ-континууме.

The UV-spectrum of the close binary system V448 Cyg, obtained with the IUE satellite is analysed. The fluxes obtained at several wavelengths with the TD-1 satellite are studied. The UV-spectrum of the system is identified, equivalent linewidths, residual fluxes in the centre of the lines are determined. The system spectrum corrected for the interstellar absorption is compared with the synthetic one calculated by Kurucz (1979) in the assumption of LTE. It turned out that the main parameters of the system determined over the optical range describe well the system UV-spectrum. The mass loss rate, caused by the stellar wind of the system, and that in the lines of some ions are estimated. By empirical temperature calibration in the UV-range the effective temperature of the components is estimated. The parameters of circumstellar envelope are estimated from depression in UV-continuum.

V448 Cyg — тесная двойная система с компонентами ранних спектральных классов (B1 Ia+O9 V), находящаяся на стадии быстрого обмена массой (Глазунова, 1986а) и обладающая спектроскопическими и фотометрическими признаками наличия околозвездной газовой среды в системе (Кумсиашвили, 1969).

Эта система довольно хорошо исследована в оптическом диапазоне (Вахман, 1967; Петри, 1956; Козн, 1974), поэтому особый интерес представляет

* Астрономическая обсерватория Одесского университета

исследование ее в УФ-диапазоне спектра, где звездный ветер и истечение вещества из компонентов проявляются сильнее.

Материалом для исследования послужил УФ-спектр системы, полученный 25 июля 1982 г. спутником IUE (SWP 1746), охватывающий диапазон длин волн от 1165 до 2126 Å и разрешением ~6 Å в районе линии Ly_{α} , экспонированный в течение 220 с. Кроме того, мы располагали данными о нескольких значениях потоков в УФ-континууме системы, измеренных спутником TD-1 в 1978 г. (Catalogue of Stellar Ultraviolet Fluxes, 1978).

IUE-спектр системы, приведенный на рис.1, получен в фазе 0.74 орбитального периода. Это соответствует, согласно имеющейся у Глазуновой (1986б) кривой лучевых скоростей, сдвигу линий вторичного компонента относительно главного в суммарном спектре системы на 1.52 Å. Однако используемое нами разрешение не позволяет разделить спектры компонент, и мы видим спектр одиночной звезды, линии которого блендированы линиями второго компонента. По той же причине мы не располагаем достоверной информацией о профилях УФ-линий в исследуемом диапазоне длин волн. С уверенностью можно констатировать лишь абсорбционный характер спектра.

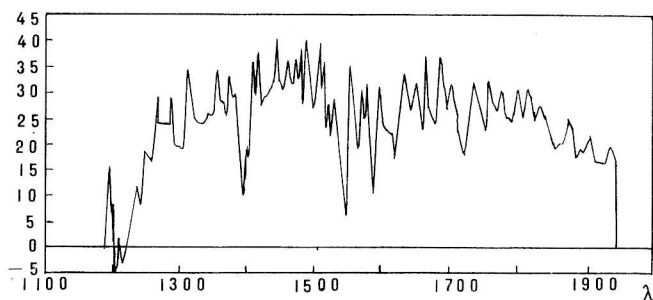


Рис.1.
IUE-спектр V448 Cyg.
Flux $\times 10^{-11}$ (erg/cm²·Å).

Для сравнения с потоками, вычисленными Куручем (1979), спектр был исправлен за межзвездное поглощение по известной зависимости X_{λ} от $E(\lambda - V)/E(B-V)$ из работы Нэнди и др. (1975) с учетом известного избытка цвета $E(B - V) = 0^m.67$ для V448 Cyg (Хилтнер, 1956). Основные параметры модели $T_{\text{eff}} = 20\,000$ K, $\lg g = 3$ для главного компонента системы и $T_{\text{eff}} = 30\,000$ K, $\lg g = 4$ для вторичного, полученные Глазуновой (1987) по спектральному материалу с обратной дисперсией 9 Å/мм и 28 Å/мм, были использованы для расчетов синтетического спектра в УФ-диапазоне. Расчеты были проведены В.В. Цымбалом по программам Куруча (1979) в LTE-приближении. Потоки в континууме для каждой модели нормировались с учетом вклада каждого компонента в интегральный блеск системы и суммировались. отождествление абсорбционных линий УФ-спектра системы было выполнено сравнением с теоретическим линейчатый спектром. Оказалось, что спектр звезды содержит абсорбционные линии, характерные для поздних O и ранних B спектральных классов: сильные резонансные линии Ly_{α} , C IV 1550, Si IV 1394 - 1403, а также сильные линии C II 1335, Si III 1206, Si III 1298-1304, N IV 1718 и множество линий Fe в разных стадиях ионизации. Мы измерили основные параметры всех отождествленных линий. Они приведены в

табл. I. Это:

- длина волны центра измеренной бленды (в ангстремах);
- названия ионов, входящих в бленду;
- остаточный поток, измеренный в центре бленды (10^{-14} эрг/(см²·с·А));
- эквивалентная ширина бленды (в А);
- теоретические длины волн линий, входящих в бленду (в А).

Таблица 1

$\lambda_{\text{изм}}, \text{А}$	Ион	$F_{\text{ост}} \cdot 10^{-14}$ эрг/(см ² ·с·А)	$W_{\lambda}, \text{А}$	$\lambda_{\text{теор}}, \text{А}$
1	2	3	4	5
1204	Si III	10.1	2.8	1206.510 1206.533
1215	Ly _α	2.2	30.3	1215.7
1240	N V	38.2	3.9	1238.821 1242.804
1250	C III	83.2	1.8	1247.838
1256	Fe VI	75.3	2.2	1252.782 1260.741
1265	Ni V	79.8	2.1	1264.460
1270	Fe VI	103.5	1.1	1265.874 1276.876
1280	Si III- Fe V	110.2	1.0	1280.354 1280.771
1288	Fe VI- Fe V	108.0	0.6	1282.452 1293.377
1300	Si III- Fe V	88.8	4.7	1298.891 1304.816
1335	C II	105.7	2.5	1336.000
1360	Fe V	128.2	1.1	1357.114 1365.876
1370	Fe V Fe VI	126.0	1.3	1370.728 1373.967
1380	Fe V Fe VI	135.0	1.0	1374.116 1387.092
1397	Si IV	55.1		1393.755 1402.778
1404	Fe V	77.6	5.2	1403.370 1409.846
1410	Ni IV	135.0	0.6	1409.846 1411.461

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5
1420	Fe V	121.5	1.8	1411.566 1421.016
1430	Fe V	126.0	1.6	1429.472 1431.891
1437	Fe V	138.3	1.2	1440.528 1442.221
1457	Fe V	135.5	2.7	1445.686 1460.726
1470	Fe V	146.2	1.4	1469.000 1472.098
1485	N IV	128.2	1.6	1486.496
1500	Si III	121.5	1.8	1500.241
1520	Mn V Ni IV	139.5	1.1	1519.620 1520.631
1525	Ni IV	114.7	1.0	1525.316
1530	S II	94.5	2.8	1527.000 1533.000
1550	C IV	32.6	6.0	1548.185 1550.774
1576	Fe IV C III	85.5	4.5	1575.190 1576.480
1578	Fe IV C III	113.0	1.5	1577.758 1577.890
1590	Fe IV	52.8	3.2	1590.616
1615	Fe IV	78.7	3.7	1613.643 1616.682
1630	Fe IV	84.3	2.4	1626.903 1635.396
1642	He II	120.3	1.1	1640.332 1640.474 1640.490
1662	O III	101.2	1.6	1661.000 1666.000
1673	Fe IV	106.8	1.9	1673.683
1697	Fe IV	121.5	0.7	1690.304 1704.932
1722	N IV	81.0	5.6	1718.551

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5
1757	N III	101.2	2.6	1747.860
	Cr IV			1758.511
1773	Cr IV	120.3	1.2	1769.635
	O III			1773.850
1790	Fe IV	112.5	0.6	1783.066
				1796.932
1815	Si II	110.2	1.0	1817.000
1835	Cr IV	112.5	0.5	1837.442
1858	Al III	88.8	2.8	1855.000
				1863.000
1875	Fe IV	103.5	0.2	1874.226
1894	C III	78.7	2.2	1894.290
	Fe III			1895.456
1875	Fe IV	103.5	0.2	1874.226
1894	C III	78.7	2.2	1894.290
	Fe III			1895.456
1925	O III	72.0	2.4	1921.520
	Fe III			1926.304

Ошибки определения эквивалентной ширины, найденные по средней величине шумовой дорожки, составили ~20 % для сильных линий и ~25 % для слабых.

Следует отметить, что измеренная нами эквивалентная ширина резонансной линии W_{λ} C IV 1550 = 6 А соответствует эквивалентной ширине нормальных звезд поздних O и ранних B спектральных классов, а W_{λ} Si IV 1394-1403 = 6.6 А превышает значение у нормальных O9-B0 звезд (Грэдзи и др., 1987). Такая же картина получается при сравнении W_{λ} этих линий в спектре V448 Cyg с результатами работы Секигучи и Андерсона (1987). В ней приводятся следующие значения эквивалентных ширин рассматриваемых резонансных линий, полученные при обработке IUE-спектров 124 звезд O9-B5 спектральных классов.

Класс светимости	Спектральный класс	W_{λ} SiIV (A)	W_{λ} CIV (A)
V - IV	O9.0	2.2	6.0
	B0.0	4.2	4.0
III	O9.0	4.9	9.4
	B0.0	5.0	6.1

Там же отмечена хорошая корреляция W_{λ} Si IV 1440 и W_{λ} C IV 1550 со спектральным классом.

Таким образом, спектральные классы компонентов системы, определенные по оптическому диапазону спектра и по линейчатому абсорбционному спектру в УФ-диапазоне, совпадают.

Кроме того, наличие резонансных дублетов C IV, Si IV, N V дало возможность, пользуясь результатами работы Ховарта и Рамана (1989), определить скорость потери массы звездным ветром системы и скорость потери массы давлением излучения в линиях этих ионов (в M_{\odot} в год):

Ион	\dot{M} (M_{\odot} /год)
C ³⁺	$10^{-9.9 \pm 0.5}$
N ⁴⁺	$10^{-9.6 \pm 0.5}$
Si ³⁺	$10^{-9.3 \pm 0.5}$

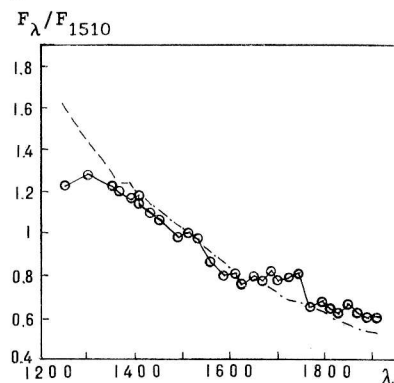


Рис. 2. --- $F_{\text{theor}}/F_{1510}$,
 -o- F_{obs}/F_{1510} .

Общая скорость потери массы за счет звездного ветра $\sim 10^{-7.1 \pm 0.5} M_{\odot}$ /год. Необходимые для этих оценок светимости главного и вторичного компонентов системы $\lg L_1/L_{\odot} = 4.81$ и $\lg L_2/L_{\odot} = 4.63$ были взяты из работы Глазуновой (1987).

Сравнение теоретического и наблюдаемого распределений энергии в спектре системы, нормированных к длине волны 1510 А, представлено на рис. 2. Из рисунка видно, что определенные по оптическому диапазону параметры компонентов системы довольно хорошо описывают и УФ-спектр. Правда, наблюдается существенное различие распределений в районе $\lambda < 1300$ А, вызванное, по-видимому, двумя причинами:

неуверенным проведением уровня непрерывного спектра в районе линии Ly_{α} и прилегающих к ней бленд;

тем, что спектр оканчивается рассматриваемым участком, что приводит к дополнительным погрешностям при измерениях.

Подъем в распределении энергии в районе $\lambda 1900$ А связан с перекрывающимся частотомом линий Fe III (Мирек, 1989).

В табл. 2 приведены данные об отдельных потоках в УФ V448 Cyg за 1978 г., полученные спутником TD-1 (Catalogue of Stellar Ultraviolet Fluxes, 1978).

Таблица 2

Длина волны, А	2740	2365	1965	1565
Поток, $E \cdot 10^{-12}$ эрг/(см ² ·с·А)	2.63	2.24	3.62	3.61
Ошибка потока, $E \cdot 10^{-12}$ эрг/(см ² ·с·А)	0.26	0.41	0.69	0.41

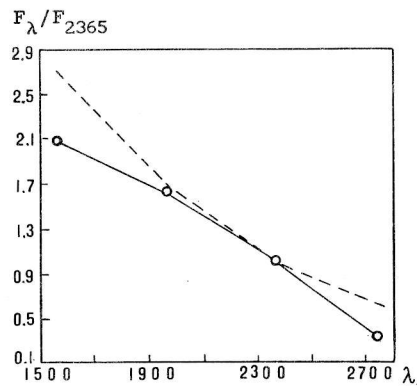


Рис. 3. --- $F_{\text{theor}}/F_{2365}$,
—○— F_{obs}/F_{2365} .

На рис. 3 приведено сравнение исправленных за межзвездное поглощение потоков в УФ, полученных с TD-1, с моделями Куруча. Эмпирическое и теоретическое распределение энергии в спектре звезды нормировано к длине волны $\lambda = 2365$ А. Хорошо заметна депрессия в континууме УФ-спектра системы в интервалах длин волн 1565 - 1965 А и 2400 - 2800 А. Поскольку фотометрические и спектральные исследования V448 Cyg указывают на наличие околозвездной газовой оболочки в системе (Глазунова, 1987, Кумсиашвили, 1969), мы воспользовались результатами работы Джафарли и Любимкова (1988). В ней проведен расчет параметров околозвездной оболочки, окружающей ранние В-звезды, по депрессии в УФ-континууме, в предположении, что оболочка дает заметное дополнительное поглощение в многочисленных УФ-линиях и является оптически тонкой в рассматриваемом спектральном интервале. Оценка проводилась по величине средней депрессии \bar{D} в интервале длин волн 2400 - 2800 А, которая определялась как среднее арифметическое локальных значений D_{λ_1} на данном спектральном интервале. Величина средней депрессии, выраженная в звездных величинах, составила $\bar{D} = 0^m.307$, что соответствует таким параметрам двух рассчитанных Джафарли и Любимковым (1988) моделей оболочки:

$$a) T_s = 10^4 \text{ К}, N_e = 10^{12} \text{ см}^{-3}, R_s = 1.23 \cdot R_* ;$$

$$b) T_s = 10^4 \text{ К}, N_e = 10^{11} \text{ см}^{-3}, R_s = 30 \cdot R_* .$$

Измеренный спутником TD-1 поток в λ 1965 А был использован для оценки эффективной температуры компонентов исследуемой системы по эмпирической температурной калибровке из работы Гулати и др. (1989). T_{eff} определялась по формуле

$$\log T_{\text{eff}} = a + b \cdot (m_{1965} - V)_0,$$

где

$$a = 3.828 \pm 0.017,$$

$$b = -0.178 \pm 0.006.$$

Значение $V = 8^m.04$ для V448 Cyg было взято у Бэттена и др. (1989). Полученная в результате вычисления $T_{\text{eff}} = 25000$ К, соответствующая интегральному потоку от компонентов системы в этой длине волны, хорошо согласуется со значениями их эффективной температуры, определенными по оптическому диапазону спектра.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования УФ-спектра V448 Cyg оценен темп потери массы, обусловленный звездным ветром системы, который составил $10^{-7} M_{\odot}$ в год. Показано, что основные параметры системы, определенные по оптическому диапазону спектра, хорошо описывают и ее УФ-спектр.

Автор выражает искреннюю благодарность Войханской Н.Ф. за обсуждение результатов работы, Цымбалу В.В. за помощь в расчетах синтетического спектра, а также Манилову Ю.Л. за помощь в оформлении статьи.

ЛИТЕРАТУРА

- Бэттен и др. (Batten A. H., Fletcher J. M. and MacCarthy D. G.): 1989, *Publ. Dom. Astrophys. Observ.*, XVII, p. 106.
- Вахман (Wachmann A. A.): 1967, *Abhandl. aus der Hamburger Sternwarte Band*, VIII, p.1.
- Глазунова Л. В.: 1986а, *Деп. рук.* №346, Ук-86.
- Глазунова Л. В.: 1986б, *Физика и кинематика небесных тел*, 2, № 3, с. 94.
- Грэди и др. (Grady G. A., Bjorkman K. S., Snow T. P.): 1987, *Astrophys. J.*, 320, p.376.
- Гулати и др. (Gulati R. K., Malagnini M. L. and Morossi C.): 1989, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 80, p. 73.
- Джафарли А. М., Любимков Л. С.: 1988, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, 80, с.18.
- Кумсиашвили М. И.: 1969, *Астрон. циркуляр*, 499, с. 6.
- Куруч (Kurucz R. L.): 1979, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 40, p. 1.
- Коэн (Cohen H. L.): 1974, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, 15, p. 181.
- Макау-Херко и др. (Makau-Hercot D., Jamar C., Monfils A., Thompson G. L., Houziaux L., Wilson R.): 1978, *Catalogue of Stellar Ultraviolet Fluxes (A compilation of absolute stellar fluxes measured by the Sky Survey Telescope (S2/68) aboard the ESRO satellite TD-1)*.
- Мирек (Mirek J. P.): 1989, *Space Sci. Rev.*, 50, №1-2, p. 95.
- Нэнди (Nandy K., Thomson G. I., Jamar C., Monfils A., Wilson R.): 1975, *Astron. Astrophys.*, 44, p. 195.
- Петри (Petrie R. M.): 1956, *Publ. Astrophys. Observ. Victoria*, X, p.259.
- Хилтнер (Hiltner W. A.): 1956, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 2, 24, p.389.
- Ховарт и Раман (Howarth Ian D., Prinja Raman K.): 1989, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 69, p. 527.
- Секигучи и Андерсон (Sekiguchi K. and Anderson K. S.): 1987, *Astron. J.*, 94, p. 129.

Поступила в редакцию 14 мая 1990 г.