

УДК: 524.382

ФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ В ТЕСНОЙ ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЕ HD 187399

Н.Л.ИВАНОВА, З.У.ШХАГОШЕВА

Поступила 24 июня 1995
Принята к печати 5 августа 1995

Приводятся результаты исследования спектров тесной двойной системы HD 187399. Измерены и отождествлены линии в спектре главной звезды, вычислены их эквивалентные ширины, центральные остаточные интенсивности, электронные плотности в атмосфере главной звезды и в общей оболочке системы. Построена кривая лучевых скоростей главной звезды и определена скорость расширения общей оболочки системы: $V_r = 90$ км/с. Измерена скорость межзвездного кальция $V_r = -3.5$ км/с. Установлена идентичность кривых лучевых скоростей для главной звезды, полученных в настоящей работе и Мерриллом [1]. Сравнение позволило сделать следующее предположение: за прошедшие 35 лет в системе HD 187399 не произошло заметной потери массы и, возможно, имело место только перетекание материи от одного компонента к другому. Отмечается большое сходство с системой β Лиры.

1. *Введение.* Как известно [1], тесная двойная звезда HD 187399 ($\alpha_{1900} = 19^h 44^m.7$, $\delta_{1900} = +29^{\circ} 10'$, $m_{vis} = 7.7$) имеет период 28 дней и амплитуду скоростей 209 км/с. Спектральный класс главной звезды B9eq III [2], второй, более массивной, неизвестен. Многочисленные исследования этой звезды [1-5] не внесли ясности в вопрос о природе невидимого компонента.

Согласно [6], функция масс $f(M) = 2.72$, $\frac{M_1}{M_{\odot}} = 4.0$, а $\frac{M_2}{M_{\odot}} = 6.8$ (в предположении, что $\sin i = 1$). Гипотеза о том, что ненаблюдаемая массивная звезда есть коллапсар или старая нейтронная звезда [7], наблюдениями не подтверждается: положение системы не совпадает с каким-либо источником рентгеновского излучения.

Система окружена быстро расширяющейся оболочкой, на что указывают профили типа Р Лебеда водородных линий. Возможно, существует поток материи,

перетекающей между компонентами, из которых одна (полуразделенные) или обе (контактные) достигли предела Роша.

В настоящей статье представлены результаты исследования 12 спектров, полученных на ОЗСП БТА (6-ти метровый телескоп, II камера, дисперсия 9А/мм) Специальной астрофизической обсерватории (САО) Российской академии наук. Даты наблюдений, юлианские дни и соответствующие фазы приведены в табл.1.

Таблица 1

ДАТЫ НАБЛЮДЕНИЙ, ЮЛИАНСКИЕ ДНИ
И СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ФАЗЫ

№ п/п	Даты	J.D.2445. . .	Фаза
1	30/31.7.82	181.50	0.605
2	1/2.8.82	183.54	0.678
3	2/3.8.82	184.58	0.715
4	8/9.8.82	190.63	0.931
5	9/10.8.82	191.58	0.965
6	10/11.8.82	192.58	0.000
7	11/12.8.82	193.50	0.034
8	13/14.8.82	195.58	0.108
9	23/24.7.83	539.67	0.410
10	24/25.7.83	540.42	0.437
11	6/7.8.83	553.46	0.903
12	8/9.8.83	555.63	0.981

Были выполнены спектрофотометрия линий и измерения лучевых скоростей.

С помощью автоматического двухкоординатного микроденситометра AMD-1 САО, с дисперсией 0.4А/мм, были получены записи спектров в остаточных интенсивностях.

Для определения лучевых скоростей спектрограммы были промерены с помощью традиционного осциллокопического компаратора, созданного на базе шнельфотометра Цейсса. Методика измерений и обработки разработаны в САО [8].

2. Спектрофотометрия. В спектральной области 3800–5000А были отождествлены 150 характерных для звезд типа В9 линий водорода, нейтрального гелия, однажды ионизованных металлов FeII, MgII, CrII, NiII, TiII, SiII, CaII.

В табл.2 приводятся длины волн наиболее интенсивных 50 линий, их отождествление, эквивалентные ширины W_{λ} и центральные остаточные интенсивности I_{λ}^0 .

Водород в спектре HD 187399 представлен двумя независимыми сериями линий, показывающих изменения интенсивности и структуры. Линии одной серии, возникающие в атмосфере главной звезды, показывают те же самые смещения, что и линии MgII, SiII, HeI и др. и отражают движение звезды по орбите; линии типа Р Лебеда другой серии имеют почти постоянные отрицательные смещения и возникают, по-видимому, в наружных поглощающих слоях оболочки всей системы. Компоненты поглощения водорода в звезде наблюдаются до H16–H17, в оболочке всей системы — до H21. Возникающая в оболочке эмиссия — переменной интенсивности и прослеживается до H11–H13. Эквивалентная ширина эмиссионного компонента в H_{β} меняется в пределах от 0.60 до 2.00Å.

На рис.1 представлен профиль H_{γ} для двух дат наблюдений: 30/31.7.82 (I) и 23/24.7.83 (II). Видно значительное изменение интенсивностей эмиссионного компонента и компонента поглощения. Для разделения линий серий необходима дисперсия, большая, чем 9Å/мм. Однако в фазах 0.3–0.6 (максимальных скоростей удаления звезды и скоростей, близких к нулю) линии водорода высоких серий разделяются более четко, чем мы и воспользовались при определении эквивалентных ширин водорода.

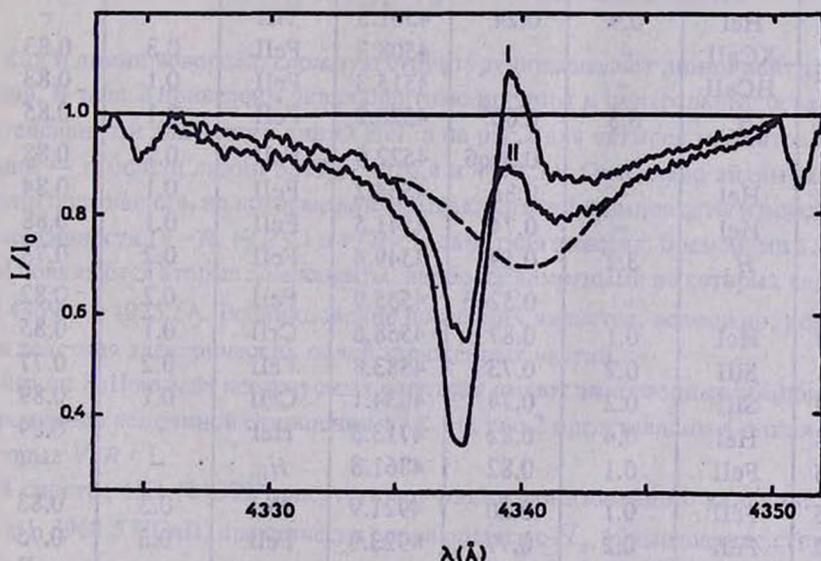


Рис.1. Профиль линии H_{γ} в спектре звезды HD 187399 для двух дат: 30/31.7.82 (I) и 23/24.7.83 (II). Пунктиром отмечен предполагаемый профиль обрабатывающего слоя главной звезды.

Таблица 2

ИЗМЕРЕННЫЕ В СПЕКТРЕ HD 187399 ДЛИНЫ ВОЛН,
 СООТВЕТСТВУЮЩИЕ ИМ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ,
 ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ W_λ И ЦЕНТРАЛЬНЫЕ
 ОСТАТОЧНЫЕ ИНТЕНСИВНОСТИ r_λ^o

Длина волны	Отожд.	W_λ	r_λ^o	Длина волны	Отожд.	W_λ	r_λ^o
3797.9	H_θ	2.9	0.41*	4303.2	FeII	0.1	0.85
			0.40об	4340.5	H_γ	3.0	0.70
				4351.5	FeII	0.1	0.81
3819.6	HeI	0.7	0.49*	4369.4	FeII	0.1	—
3835.4	H_η	3.2	0.49*	4385.4	FeII	0.2	0.84
			0.47об	4387.9	TiII	0.1	0.87
3853.7	SiII	0.2	0.82	4416.9	FeII	0.1	0.85
3856.0	SiII	0.3	0.69	4443.8	TiII	0.1	0.87
3862.6	SiII	0.3	0.72	4471.5	HeI	0.7	0.70
3889.0	H_ξ	2.7	0.53*	4481.3	MgII	0.5	0.58
			0.51об	4489.2	FeII	0.1	0.87
3926.5	HeI	0.9	0.24	4501.3	TiII	—	—
3933.7	KCaII	—	—	4508.3	FeII	0.3	0.83
3968.3	HCaII	—	—	4515.3	FeII	0.1	0.83
3970.1	H_ζ	3.3	0.60*	4520.2	FeII	0.1	0.85
			0.36об	4522.6	FeII	0.2	0.88
4009.2	HeI	—	0.85	4534.2	FeII	0.1	0.84
4026.2	HeI	—	0.74	4541.5	FeII	0.1	0.88
4101.7	H_δ	3.2	0.59*	4549.4	FeII	0.2	0.73
			0.52об	4555.9	FeII	0.2	0.82
4120.9	HeI	0.1	0.87	4558.6	CrII	0.1	0.85
4128.1	SiII	0.2	0.73	4583.8	FeII	0.2	0.77
4130.9	SiII	0.2	0.74	4634.1	CrII	0.1	0.89
4143.8	HeI	0.4	0.82	4713.3	HeI	—	0.89
4173.5	FeII	0.1	0.82	4861.3	H_β	—	—
4178.5	FeII	0.1	0.80	4921.9	HeI	0.3	0.83
4233.2	FeII	0.2	0.77	4923.9	FeII	0.3	0.75
4242.4	CrII	0.1	0.88				
4273.3	FeII	0.1	0.87				
4296.6	FeII	0.1	0.88				

В табл.2 приводятся эквивалентные ширины линий водорода главной звезды и центральные остаточные интенсивности звезды (*) и общей оболочки (об) в фазе максимальной скорости удаления звезды.

В работе определено электронное давление в атмосфере главной звезды и в общей оболочке.

Как известно, знание последней, перед переходом в непрерывный спектр, еще различимой, водородной линии (главное квантовое число последнего дискретного уровня) дает возможность получить среднее электронное давление в излучающих слоях.

Существует выведенная из лабораторных измерений Молером [9] зависимость:

$$\lg p_e = 1.19 + \lg T_e - 7.5 \lg n_m,$$

где p_e — электронное давление, T_e — эффективная температура по Койперу (в данном случае $\lg T_e = 4.09$ для звезд В8–В9), а n_m принимаем равным 16 для звезды и 21 для оболочки. Таким образом получаем:

$$p_e = 1.78 \cdot 10^{-4} \quad \text{атм. для звезды}$$

и

$$p_e = 2.35 \cdot 10^{-5} \quad \text{атм. для оболочки.}$$

Как и линии водорода, сложную структуру показывают линии нейтрального гелия. В табл.2 приведены эквивалентные ширины и центральные остаточные интенсивности для девяти линий HeI, а на рис.2 для четырех моментов наблюдений — профили линий 3819.6, 4026.4 и 4471.5А. Отчетливо видны широкие линии поглощения, на которые накладываются shell-компоненты и переменной интенсивности ($V=R$, $V/R < 1$ и $V/R > 1$) заметная эмиссия. Временами в линиях HeI появляются вторые компоненты, наиболее заметными из которых являются $\lambda \lambda$ 4469.9 и 4025.5А. Возникновение последних является, возможно, результатом действия электрических полей заряженных частиц.

Линии FeII во всех исследуемых спектрах имеют эмиссионные компоненты с переменной величиной отношения V/R . На рис.2 представлены 4 линии FeII, в которых $V/R < 1$.

В спектре HD 187399 присутствуют линии ионизованного кальция: 3933.7 KCaII, 3968.5 HCaII, практически сливающаяся с H_e . Исследование структуры KCaII показало, что линия состоит из четырех компонентов:

- 1) линии межзвездного кальция с $v_r = -3.5$ км/с,
- 2) линии, возникающей в атмосфере главной звезды: смещение этой линии в каждый момент наблюдения соответствует орбитальной скорости звезды,

3) линия, принадлежащей оболочке главной звезды, расширяющейся, как удалось установить ранее по спектру с дисперсией 4Å/мм [10], со скоростью 23км/с;

4) линия кальция оболочки или потока всей системы, со скоростью расширения 90–100км/с.

В некоторых фазах в линии К CaII присутствует эмиссия, в 6–8 раз превышающая шум непрерывного спектра.

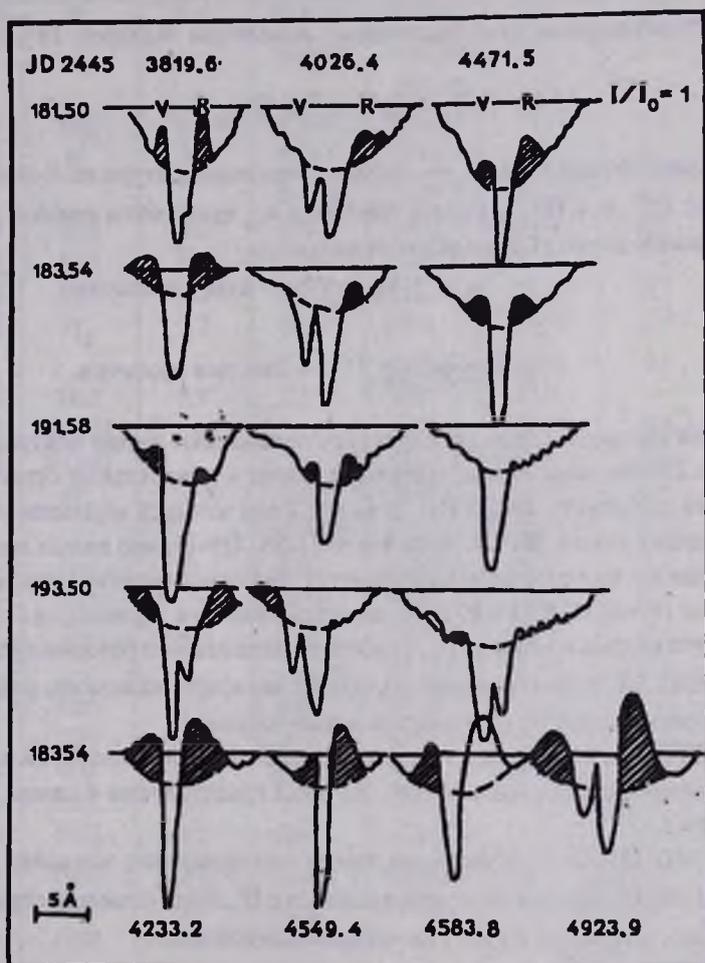


Рис. 2. Профили линий HeI и FeII звезды HD 187399. Пунктиром отмечены предполагаемые профили обращающего слоя звезды, заштрихованы эмиссионные части линий.

3. *Лучевые скорости.* Для определения лучевых скоростей спектры HD 187399 измерялись на осциллоскопическом компараторе САО. В качестве спектра сравнения использовалась лампа, заполненная аргоном, ксеноном, неоном и снабженная железным катодом.

Были получены лучевые скорости для 150 линий. В табл.3 в соответствии с нумерацией табл.1, приведены редуцированные к центру Солнца лучевые скорости для HeI, SiII, MgII и межзвездной линии KCaII. Вероятная ошибка измерений заключалась в пределах 1.5–2км/с.

Таблица 3

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ, ИЗМЕРЕННЫЕ В СПЕКТРЕ HD 187399 ПО ЛИНИЯМ ВОДОРОДА ОБЩЕЙ ОБОЛОЧКИ СИСТЕМЫ И ЛИНИЯМ HeI, SiII, MgII, KCaII (МЕЖЗВЕЗДНАЯ)

№ п/п	H	HeI	SiII	MgII	KCaII
1	- 89	+ 16	+ 19	+ 14	-
2	- 110	- 2	- 3	- 4	-2.8
3	- 122	- 17	- 16	- 18	-4.7
4	- 113	-143	-140	-142	-6.1
5	- 109	-147	-150	-156	-5.0
6	- 100	-135	-142	-145	-4.0
7	- 107	-111	-103	-110	-6.8
8	- 76	- 30	- 22	- 17	0.0
9	- 88	+ 40	+ 41	+ 31	-7.6
10	- 82	+ 44	+ 50	+ 47	+4.5
11	- 107	-125	-117	-122	-6.7
12	- 103	-146	-145	-149	+0.7

На рис.3 приведены средние по трем линиям (HeI, SiII, MgII) лучевые скорости, обозначенные крестиками. Для сравнения приведена кривая лучевых скоростей, полученная Мерриллом [1]. Хорошее совпадение наших результатов свидетельствует в пользу предположения об отсутствии какой-либо значительной потери массы за прошедшие 35 лет, вследствие чего период, выведенный Мерриллом, сохраняется с достаточно большой точностью, почти не изменились и другие параметры орбиты главной звезды.

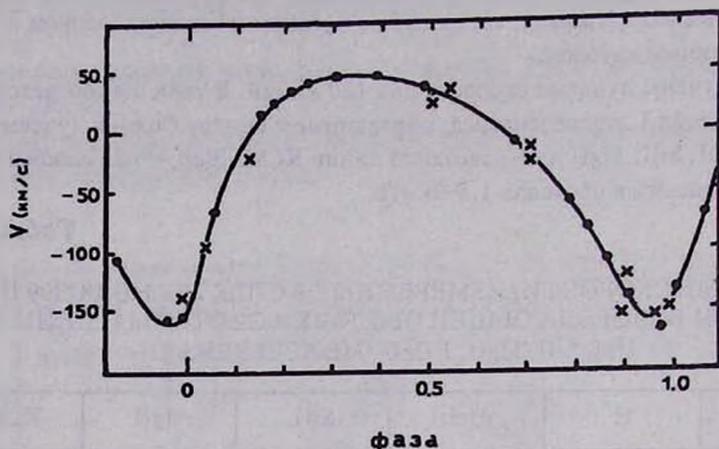


Рис.3. Кривая лучевых скоростей HD 187399: точки — данные Меррилла, крестики — настоящей работы.

4. *Обсуждение.* Тесная двойная HD 187399 внесена в каталог "Спектроскопические двойные и коллапсировавшие звезды" [6], содержащий более 60 звезд с большими функциями масс и невидимыми на спектрах более массивными звездами. Кроме того, эта двойная интересна сходством с системой β Лиры, состоящей, как известно, из двух массивных звезд, атмосферы которых перемешаны и газовый поток перетекает от одной звезды к другой.

Эмиссионные и абсорбционные компоненты водорода (профили типа Р Лебеда) возникают в общей оболочке (или потоке) HD 187399, расширяющейся, согласно данным настоящей работы, со скоростью 90 км/с. В этой же оболочке, по-видимому, а не в атмосфере главной звезды, возникает эмиссия в линии К CaII, так как, согласно [11], присутствие подобной эмиссии кальция в спектрах звезд более ранних, чем F0, невозможно.

Спектр главной звезды системы является типичным shell-спектром: на широкие неглубокие линии поглощения водорода, гелия, возникающие в быстровращающейся звезде (рис.1 и 2) накладываются более узкие эмиссионные линии кольца или оболочки, окружающей звезду, часть же оболочки между фотосферой и наблюдателем дает резкое обращение в центре. Скорость расширения этой оболочки равна 21 км/с [10]. Несомненно, что эмиссия присутствует и в линиях водорода главной звезды, по крайней мере в H_{α} и H_{β} , однако она теряется на фоне более сильной эмиссии общей оболочки.

Полученная в работе кривая лучевых скоростей для главной звезды полностью совпадает с кривой лучевых скоростей, полученной Мерриллом [1]. Следовательно, за прошедшие 35 лет в системе HD 187399 не произошло заметной потери массы, а имело место, по-видимому, перетекание материи от одного компонента к другому, т.е. именно то, что происходит в β Лире, у которой количество вещества, ежегодно теряющегося в расширяющемся кольце или спирали, чрезвычайно мало и процесс может продолжаться в течение сотен тысяч или миллионов лет, не уменьшая заметным образом массы компонентов.

Отсутствие спектра более массивной звезды системы трудно объяснить. Теоретически предполагается [6], что эволюция некоторых массивных звезд может заканчиваться гравитационным коллапсом, конечным продуктом которого могут быть нейтронные звезды или коллапсары. Однако, ввиду малых размеров таких объектов, они непосредственно никогда не наблюдались.

Зельдович и Гусейнов [7] предположили, что нейтронные звезды и коллапсары могут быть найдены среди невидимых массивных компонентов спектроскопических двойных, показывающих одиночные линии лишь одного компонента. Однако это предположение не подтверждается наблюдениями: ни одна из 60-ти таких изученных систем не совпадает с каким-либо источником рентгеновских лучей [6]. Таким образом, вопрос о природе второго компонента системы HD 187399 остается пока нерешенным.

Авторы выражают глубокую благодарность сотрудникам САО В.Е.Панчуку и Е.Л.Ченцову за получение наблюдательного материала.

Бюраканская астрофизическая обсерватория Национальной академии наук Республики Армения
Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук

PHYSICAL CONDITIONS IN COMPACT DOUBLE STAR HD 187399

N.L.IVANова, Z.V.SHKHAGOSHEVA

The results of the analysis of spectrograms of the compact double star HD 187399 are presented. The lines in spectra of the main star are measured and identified. Their equivalent widths and central residual intensities, the electron densities in the atmosphere of the main star and in the general envelope of the system are determined. The radial velocity curve of the main star is constructed and velocity of the expansion

of the general envelope of the system ($v_r = 90 \text{ km/s}$) is measured. The velocity of the interstellar calcium line (KCaII) is $v_r = -3.5 \text{ km/s}$.

The identity of our radial velocity curve with that of Merrill is established. Their comparison allows to make the following conclusion: in the last 35 years there were no substantial mass loss in the HD 187399 system and, perhaps, only the mass transfer from one component to the another was taking place. The obvious similarity with β Lyrae system is pointed out.

ЛИТЕРАТУРА

1. P.W.Merrill, *Astrophys. J.* 110, 59, 1949.
2. P.Swings, O.Struve, *Astrophys. J.* 97, 194, 1943.
3. J.B.Hutchings, P.G.Laskarides, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 155, 357, 1972.
4. J.B.Hutchings, R.O.Redman, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* 163, 209, 1973.
5. Н.Л.Иванова, *Астрофизика*, 25, 33, 1986.
6. V.L.Trimble, K.S.Thorne, *Astrophys. J.* 156, 1013, 1969.
7. V.B.Zeldovich, O.H.Guseynov, *Astrophys. J.* 144, 840, 1965.
8. В.В.Соколов, Е.Л.Ченцов, *Астрофизические исследования* 18, 8, 1984.
9. F.L.Mohler, *Astrophys. J.* 90, 429, 1939.
10. Н.Л.Иванова, А.Н.Хотмянский, *Сообщ. Бюро экв. обс.* 50, 33, 1978.
11. J.L.Linsky, S.P.Worden, W.M.Robertson, R.M.Robertson, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 41, 47, 1979.