

СПЕКТРАЛЬНО-ДВОЙНАЯ ЗВЕЗДА, "УБЕГАЮЩАЯ"
ИЗ СИСТЕМЫ Θ^1 Ori CЭ.ВИТРИЧЕНКО¹, В.ЦЫМБАЛ², Л.БЫЧКОВА³, В.БЫЧКОВ³

Поступила 19 ноября 2010

Принята к печати 16 декабря 2010

Исследована спектрально-двойная система, убегающая из кратной системы Θ^1 Ori C. Измерены лучевые скорости обоих компонентов, для них построены и решены кривые лучевой скорости. Оценены физические параметры звезд и их химический состав.

Ключевые слова: *звезды:убегающие звезды:двойные звезды - объект: Θ^1 Ori C*

1. *Введение.* До 2002г. звезда Θ^1 Ori C считалась одиночной. Витриченко [1] на основании измерений лучевой скорости предположил, что звезда тройная. В 2007г. Краус и др. [2] методом интерферометрии обнаружили один из спутников главной звезды. Детальный анализ тройной системы содержится в статье Лемана и др. [3].

В настоящее время получены новые высококачественные спектры звезды Θ^1 Ori C. В этих спектрах нами были обнаружены две системы звездных линий, не принадлежащих ни главной звезде, ни ее спутникам, а принадлежащих новой спектрально-двойной системе.

В данной работе мы делаем попытку оценить, что из себя представляет эта двойная система. Результатом оценок является: а) двойная система находится вблизи начальной Главной последовательности, б) двойная система с большой отрицательной скоростью "убегает" из системы Θ^1 Ori C в направлении на наблюдателя.

Для главной звезды этой системы ранее была построена и решена кривая лучевой скорости [4]. Здесь выполнена идентификация линий спутника, измерены их лучевые скорости и построена кривая лучевых скоростей. Заново измерены лучевые скорости главной звезды. В итоге нам удалось оценить параметры компонентов обнаруженной системы.

2. *Наблюдательный материал.* В табл.1 приведены сведения о материале наблюдений и измеренные лучевые скорости. В первом столбце табл.1 приведен условный номер спектра. Спектр, представляющий собой среднее из пяти спектров, полученных в одну ночь, обозначен как 3-7. Спектры 1-13 и 26-28 получены на 2-м телескопе Таутенбурга (наблюдатель - Х.Леман), спектр 14 получен на 6-м телескопе БТА (наблюдатель -

В.Клочкова), спектры 15-21 получены на 1-м телескопе САО (наблюдатели - В.Бычков и Л.Бычкова), спектры 22 и 23 взяты из архива Elodie, следующие два спектра получены на 1.5-м телескопе РТТ (наблюдатели - И.Бикмаев и Д.Стеценко). Во втором столбце приведена фаза для главной звезды, затем юлианская дата для середины экспозиции, в четвертом и пятом - измеренные лучевые скорости в км/с для главной звезды подсистемы (СЗр) ее и спутника (СЗs). В круглых скобках указана ошибка в единицах последнего знака. Знаком вопроса отмечены случаи, когда нам не удалось найти систему линий для звезды СЗs. Наиболее вероятная причина - блендирование линий.

Таблица 1

ИЗМЕРЕНИЯ ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ

№	Фаза	JD 245...	$RV(CЗр)$	$RV(CЗs)$	№	Фаза	JD 245...	$RV(CЗр)$	$RV(CЗs)$
1	0.518	4409.5	-37(2)	?	17	0.762	4780.4	-37(4)	?
2	0.010	4535.3	-4(2)	-30(3)	18	0.766	4780.5	-35(3)	?
3-7	0.188	4540.3	-74(1)	-29(1)	19	0.798	4781.4	-33(6)	?
8	0.510	4549.3	-41(1)	?	20	0.837	4782.5	-31(6)	-69(6)
9	0.556	4750.6	-32(3)	?	21	0.873	4783.5	-44(1)	-63(1)
10	0.734	4751.6	-25(2)	?	22	0.955	3329.6	-52(2)	-34(8)
11	0.734	4751.6	-28(1)	-66(5)	23	0.151	0030.6	-70(2)	-24(1)
12	0.833	4866.4	-40(2)	?	24	0.406	3762.3	-41(2)	-31(8)
13	0.833	4866.4	-42(3)	?	25	0.482	3764.4	-40(2)	?
14	0.516	4745.5	-38(2)	?	26	0.760	5228.4	-30(5)	?
15	0.726	4779.4	-35(4)	?	27	0.863	5231.3	-28(1)	?
16	0.730	4779.5	-35(3)	?	28	0.045	5236.4	-81(4)	-49(3)

3. Кривые лучевой скорости для компонентов двойной системы.

На рис.1 показаны значения лучевой скорости в зависимости от фазы. Кружки - наблюдения для главной звезды, сплошная линия - теоретическая кривая. Звездочки - наблюдения спутника, штриховая линия - теоретическая кривая.

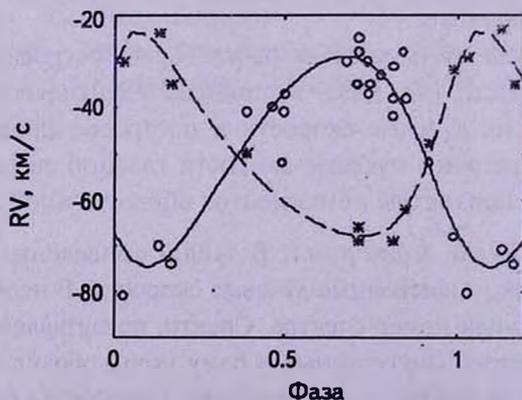


Рис.1. Кривая лучевой скорости для главной звезды СЗр и для спутника СЗs.

кривая. Ошибка одного условного уравнения $\sigma = 5$ км/с и 3 км/с, соответственно. Элементы орбиты приведены в табл.2.

На рис.2 показаны примеры процедуры измерения лучевых скоростей и эквивалентных ширин спектральных линий. Кружки - наблюдаемый спектр, сплошная линия - аппроксимация наблюдаемого контура линии с помощью ненормированной формулы Гаусса $I = 1 - r_0 \exp[-(\Delta\lambda/\sigma)^2]$. Параметры формулы подбирались методом наименьших квадратов.

Таблица 2

ЭЛЕМЕНТЫ ОРБИТЫ ГЛАВНОЙ ЗВЕЗДЫ И СПУТНИКА ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ

Параметр	C3p	C3s
γ , км/с	-50(1)	
K , км/с	23(2)	23(2)
ω , рад	2.29(9)	
E	0.34(8)	
E_p , JD	2451538.6(3)	
P , сут	28.004(1)	
$a \sin i$, км	$0.83(5) \cdot 10^7$	
$M \sin^3 i$, M_{\odot}	0.029(7)	

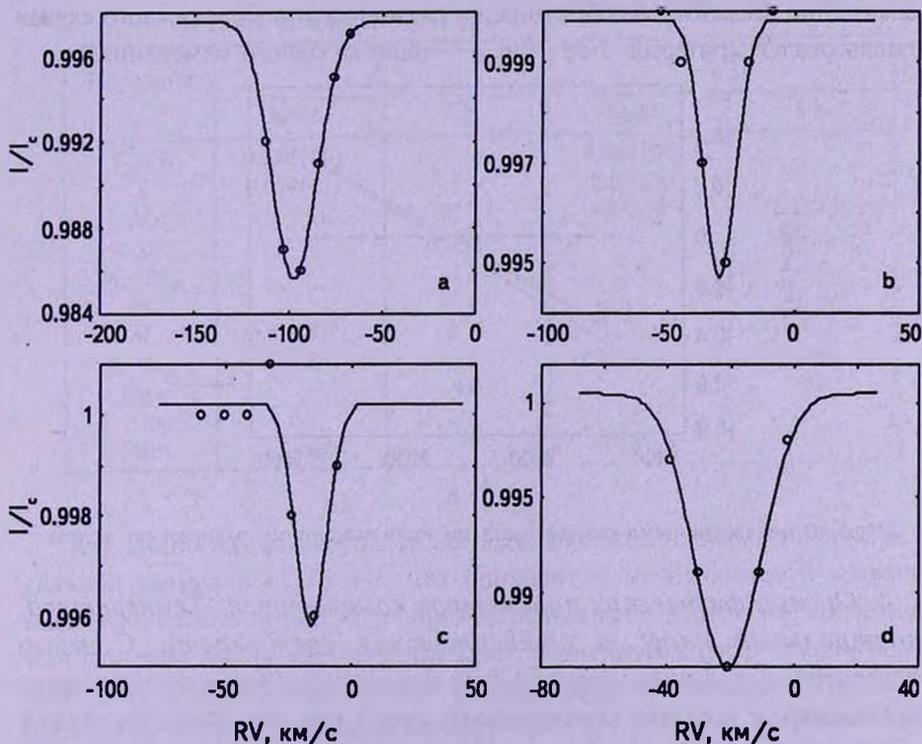


Рис.2. Аппроксимация профилей спектральных линий гауссианой.

Отношение амплитуд скоростей дает величину отношения масс компонентов системы: $q=1.0(1)$.

Таблица 3

СВЕДЕНИЯ О ЛИНИЯХ, ПОКАЗАННЫХ НА РИС.3

Панель	Ион	$\lambda, \text{Å}$	r_0	$W_\lambda, \text{Å}$	$\sigma, \text{Å}$	$RV, \text{км/с}$
А	Si I	4792.32	0.012	0.0054(4)	0.27	-97
Б	Ca I	4878.13	0.005	0.0014(1)	0.15	-30
В	Fe II	4977.04	0.004	0.0011(1)	0.15	-16
Г	Si II	6371.37	0.014	0.0077(4)	0.31	-21

В табл.3 даны сведения о линиях, показанных в качестве примеров на рис.3. Эквивалентная ширина каждой линии определялась двумя способами: как интеграл ее площади, вычисленный методом трапеций, и как интеграл функции Гаусса, использовавшейся для аппроксимации профиля линии. В качестве ошибки в табл.3 приведена половина разности этих двух измерений. Всего в спектре для обеих звезд измерены 554 линии. Таблица с этими измерениями отправлена в Страсбургский центр неопубликованных данных. Ошибочные измерения линий отбраковывались по трем признакам: аномальная лучевая скорость, аномальная ширина линии и аномальное содержание элемента, вычисленное по данной линии. Для каждого случая использовался критерий 2.5σ , где σ - ошибка одного измерения.

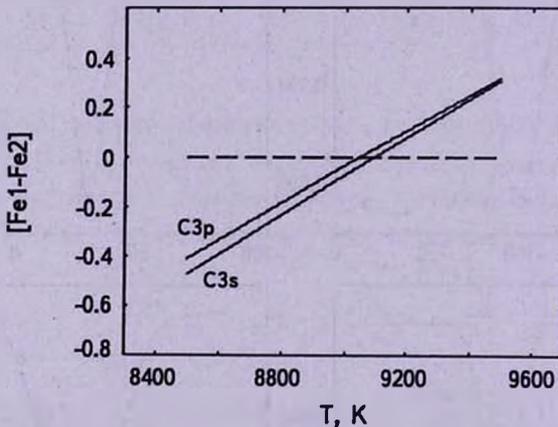


Рис.3. Определение температуры звезд по ионизационному равновесию железа.

4. *Оценка физических параметров компонентов. Температура, спектральный класс и относительная светимость.* С целью определения указанных характеристик компонентов были использованы эквивалентные ширины спектральных линий для двух соседних стадий ионизации железа. На рис.2 показана зависимость разности содержаний

железа, определенных по ионам Fe I и Fe II, от температуры модели атмосферы. Штриховая линия отмечает нулевой уровень этой разности. Абсцисса точки пересечения разности содержаний с нулевой линией дает эффективные температуры звезд, приведенные в табл.4. Рядом с температурами приведены их ошибки, источником которых является ошибка в определении содержания по иону Fe II.

Отношение эквивалентных ширин наблюдаемого и синтетического спектров позволяет определить относительную светимость компонентов L , приведенную в табл.3. В свою очередь создается возможность для оценки абсолютной светимости звезд по формуле

$$M_V = M_V(C) + 2.5 \log(L).$$

Здесь $M_V(C) = -4.0(1)^m$ - абсолютная звездная величина системы в целом [1]. Вычисленные по приведенной формуле абсолютные звездные величины даны в табл.4.

Массы звезд. Если приписать звездам классы светимостей, приведенные в табл.4, то в таком случае, согласно таблицам Страйжиса, Курилиене [5] (столбцы СК в табл.4), масса главной звезды составляет $1.3 M_{\odot}$, а масса спутника равна $1.4 M_{\odot}$.

Таблица 4

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВЕЗД

Параметр	C3p		C3s	
	Здесь	СК	Здесь	СК
T_{σ} , K	9300(100)		9200(100)	
L	0.027(10)		0.046(8)	
M_V	+0.1(3) ^m	+2 ^m .4	+0.7(2) ^m	+2 ^m .2
Sp		A5(1) V		A5(1) V
M, M_{\odot}		1.3		1.4
BC		0 ^m .01		0 ^m .02
M_1	+0.1(3) ^m	2 ^m .4	+0.7(2) ^m	2 ^m .2
R, R_{\odot}	5.6(3)	1.9	3.5(1)	1.9
$\log g$		4.0		4.0
$\xi_1, \text{ км/с}$	2		2	
$V \sin i$	<12 км/с		<12 км/с	

Как видно из табл.4, спектр исследуемых звезд ослаблен излучением главной звезды в 15-25 раз, что приводит к необходимости измерять настолько слабые линии, что порой возникает сомнение в их реальности. Для решения задачи мы использовали усредненный спектр (5 спектров за одну ночь) и фильтровали его со скользящим окном шириной 9 км/с. Это позволило получить отношение $C/W = 800$.

Радиусы звезд. По светимости и температуре с помощью формулы

Стефана-Болымана

$$M_b = 42.31 - 5 \cdot \log R_1 - 10 \cdot \log T_{\text{eff}}$$

определим радиусы звезд: $R(\text{C3p}) = 5.6(3)R_{\odot}$, $R(\text{C3s}) = 3.5(1)R_{\odot}$, что соответствует радиусу звезд Главной последовательности.

Ускорение силы тяжести возьмем из таблиц Страйжиса, Курилиене [5].

Микротурбулентная скорость. Согласно Грею [6] для исследуемых звезд характерная скорость микротурбулентности равна 2 км/с.

Химический состав был оценен с помощью модифицированной программы Width [7]. Содержание элементов на Солнце взято из данных VALD.

Из табл.5 видно, что химический состав обеих звезд в пределах ошибок совпадает. Это может означать, что пара звезд образовалась в одном и том же месте, в одно и то же время и из одного дозвездного облака.

Таблица 5

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ЗВЕЗД

Ион	Солнце	C3p		C3s	
		[X/H]	N	[X/H]	N
Ti I	-4.95	-0.3(4)	7	-0.3(5)	5
Ti II	-4.95	-2.9(2)	8	-2.6(5)	8
V I	-3.93	1.0(1)	3	0.7(1)	3
Cr I	-5.64	0.1(2)	3	0.1(2)	3
Fe I	-7.50	3.0(1)	86	2.6(1)	48
Fe II	-7.50	2.6(1)	34	2.8(1)	29

5. Природа двойной системы. На рис.4 приведены эволюционные треки, взятые из работы Пала, Шталера [8]. На рисунке сплошной линией отмечена Главная последовательность, ломаными линиями - эволюционные треки звезд с массами от 1 до $6 M_{\odot}$, пунктирная линия - изохронна для возраста 10^6 лет, звездочками отмечены положения ярких звезд Трапедии

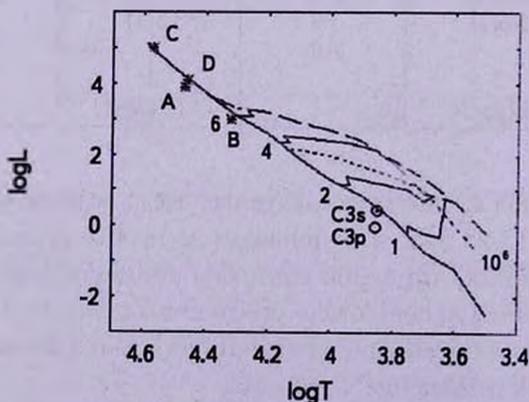


Рис.4. Диаграмма Гершпрунга-Ресселя для звезд Трапедии Ориона [8].

Ориона. Кружок показывает положение главной звезды "убегающей" системы, кружок с точкой - положение спутника.

Видно, что все звезды располагаются вблизи Главной последовательности.

6. *Заключение.* Новые высококачественные спектры звезды Θ^1 Ori C показали, что в этой тройной системе присутствует еще одна спектрально-двойная звезда. Ее компоненты - яркие ($M_V = 0.1$ и 0.7) молодые звезды спектрального класса A, с массами $1.3, 1.4 M_{\odot}$, находятся на ГП. Сходный химический состав обеих звезд свидетельствует о том, что они сформировались в одном дозвездном облаке в одно и то же время. Кривые лучевых скоростей показывают, что найденная двойная система с большой отрицательной скоростью "убегает" из системы Θ^1 Ori C в направлении на наблюдателя.

Авторы выражают благодарность Х.Леману и В.Клочковой за получение высококачественных спектров, а также Н.И.Бондарь за полезное обсуждение проблемы.

¹ Институт космических исследований РАН,
Россия, e-mail: vitrik@gmail.com

² Таврический национальный университет, Симферополь,
Украина, e-mail vadim.tymbal@gmail.com

³ Специальная астрофизическая обсерватория РАН,
Россия, e-mail: vbych@sao.ru

RUNAWAY SPECTRAL-DOUBLE STAR FROM THE Θ^1 Ori C SYSTEM

E.VITRICHENKO¹, V.TSYMBAL², L.BYCHKOVA³, V.BYCHKOV³

The spectral-double system escaping from multiple system Θ^1 Ori C is investigated. Radial velocity of both components are measured, for them are constructed and solved curves of radial velocity. Physical parameters of stars and their chemical composition are determined.

Key words: *stars:runaway stars:double stars - individual: Θ^1 Ori C*

ЛИТЕРАТУРА

1. Э.А.Витриченко, Трапеция Ориона, М., Наука, 2004.
2. S.Kraus, G.Weigelt, Yu.Balega et al., Msng., 136, 44, 2009.
3. H.Lehmann, E.Vitrichenko, V.Bychkov, L.Bychkova, V.Klochkova, Astron. Astrophys., 34L, 2100, 2010.
4. Э.Витриченко, Х.Леман, В.Клочкова, Л.Бычкова, В.Бычков, Астрофизика, 53, 337, 2010.
5. V.Straizis, G.Kurillene, Astrophys. Space. Sci., 89, 353, 1981.
6. Д.Грей, Наблюдения и анализ звездных атмосфер, М., Мир, 1980.
7. V.V.Tymbal, Astron Soc. Pacif. Conf. Ser., 108, 198, 1995.
8. F.Pala, S.W.Stahler, Astrophys. J., 255, 772, 1999.