

УДК 524.338.2

Исследование двух А-звезд, убегающих из системы Θ^1 Ori C

Э.А. Витриченко¹, Н.И. Бондарь², Л.В. Бычкова³, В.Д. Бычков³

¹Институт космических исследований РАН, Москва, Россия
ed_al_vitr@mail.ru

²НИИ «Крымская астрофизическая обсерватория», Научный, АР Крым, Украина, 98409
otbn@mail.ru

³Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Н. Архыз, Россия
vbych@sao.ru

Поступила в редакцию 5 ноября 2012 г.

Аннотация. В системе Θ^1 Ori C (HD 37022) были обнаружены две А-звезды, разлетающиеся в противоположные стороны относительно нее с лучевыми скоростями +100 и –200 км/с. Звезды отнесены к убегающим. В результате анализа спектров методом кросс-корреляции получены физические характеристики этих звезд: эффективная температура, ускорение силы тяжести, относительная и абсолютная светимости, масса, определены химический состав и положение на диаграмме Герцшпрунга-Рассела.

STUDY OF TWO A-STARS ESCAPING FROM THE Θ^1 ORI C SYSTEM, by E.A. Vitrichenko, N.I. Bondar', L.V. Bychkova, V.D. Bychkov. In the Θ^1 Ori C system (HD 37022) there were found two A-stars moving in opposite directions relatively to the system with radial velocities +100 and –200 km/s. These stars were attributed to escaping ones. The analysis of high-quality spectra by the cross-correlation method allows us to determine physical characteristics of these stars: effective temperature, gravitational acceleration, relative and absolute luminosities, mass, chemical composition and location of stars on the Hertzsprung-Russell diagram.

Ключевые слова: звезды, убегающие звезды, Трапеция Ориона, индивидуально: Θ^1 Ori C4

1 Введение

Лучевую скорость звезды Θ^1 Ori C впервые измерили Фрост и др. (1926) и обнаружили ее переменность. Спектроскопические исследования, выполненные Витриченко (2002), позволили предположить существование двух спутников. Один из них обнаружили методом спеклинтерферометрии (Вайгельт и др., 1999). Подробные сведения о системе Θ^1 Ori C можно найти в книге Витриченко (2004). Витриченко и др. (2011) обнаружили спектрально-двойную звезду, убегающую от Θ^1 Ori C, обозначенную как С3.

В настоящей работе продолжены спектральные исследования системы Θ^1 Ori C. Применяя метод кросс-корреляции, выполнен анализ лучевых скоростей, выделены системы линий, принадлежащие двум убегающим звездам раннего спектрального класса. Кросс-корреляционная

функция и синтетический спектр показали, что обе звезды можно отнести к Ae-звездам Херби-га. Измерены эквивалентные ширины линий этих звезд и по этим измерениям получены оценки их физических параметров, определен химический состав.

2 Наблюдательный материал и анализ спектров

В данной работе использовано пять спектров, полученных Х. Леманом 14.03.2008 г. на 2-м телескопе Таутенбургской обсерватории (Германия) в видимой области и любезно переданных им в наше распоряжение. Процедуры первичной обработки приведены в статье Лемана и др. (2010). Мы усреднили спектры и выполнили их фильтрацию прямоугольным окном шириной 9 км/с. В итоге получили спектр с отношением С/Ш = 800 для центра кадра и в два раза меньшим его значением на краю. Такое качество спектрального материала позволяет измерять спектральные линии с центральной глубиной до 0.003 в долях непрерывного спектра.

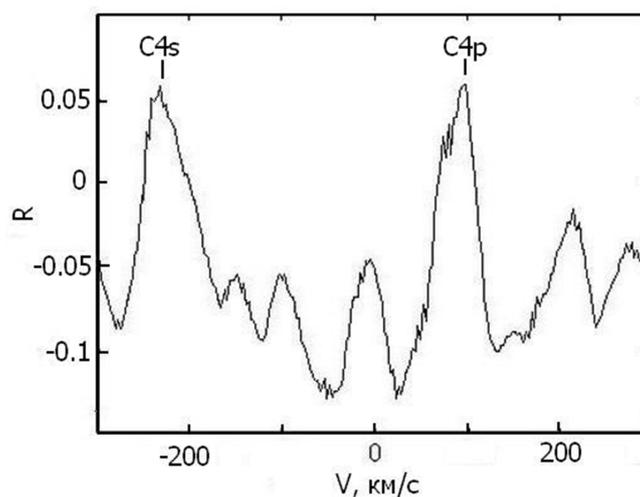


Рис. 1. Кросс-корреляционная функция для наблюдаемого спектра и синтетического A0 спектра. Хорошо видны два пика, соответствующие двум убегающим звездам

По программе STARSP (Цымбал, 1995) был построен синтетический спектр с параметрами $T_{\text{eff}} = 10000$ К, $\lg g = 4.5$, что соответствует звезде A0. Кросс-корреляционный анализ также показал, что спектры звезд относятся к раннему классу A. На кросс-корреляционной функции (ККФ) между наблюдаемым спектром и синтетическим видны два максимума на лучевых скоростях +100 и -200 км/с (рис. 1).

Звезду со скоростью +100 км/с мы обозначили C4p, а со скоростью -200 км/с – C4s. Особенностью ККФ является то, что значительная ее часть имеет отрицательные значения. Объяснить это возможно тем, что в спектре звезд есть эмиссионные линии и их можно отнести к Ae-звездам Херби-га. Возможна также и околосредная эмиссия.

Мы искали и измеряли эквивалентные ширины линий на указанных скоростях по списку линий для звезды A0. Метод измерения приведен в работе Витриченко и др. (2011).

Всего удалось измерить около 200 линий для каждой звезды. Данные о линиях были использованы для определения эффективной температуры звезд и ускорения силы тяжести на их поверхности.

Исследование двух A-звезд, убегающих из системы Θ^1 Ori C

3 Определение физических параметров звезд

Обе эти величины были оценены по ионизационному равновесию железа. На рис. 2 показана зависимость разности содержания Fe I и Fe II от эффективной температуры. Сплошная линия – зависимость для звезды C4p, пунктирная линия – для звезды C4s. Температуры указаны на поле рис. 2.

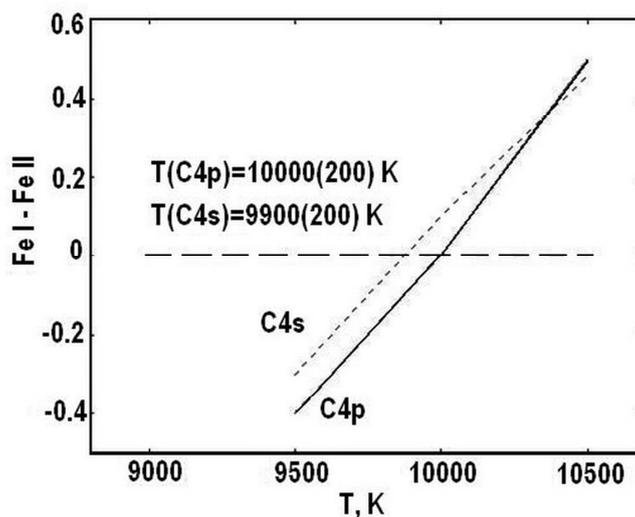


Рис. 2. Определение температуры звезд C4p и C4s

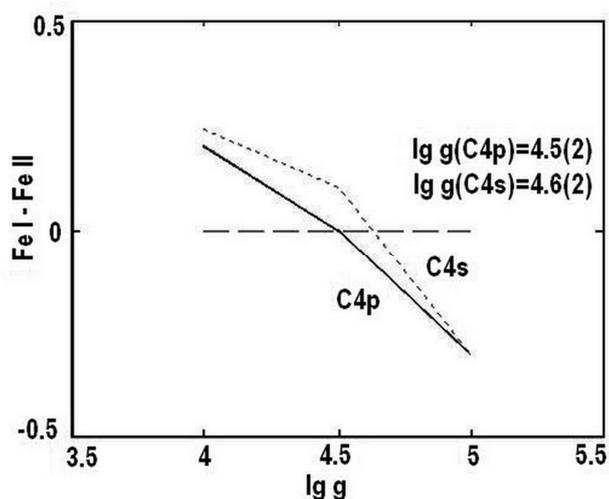


Рис. 3. Определение ускорения силы тяжести для обеих звезд

На рис. 3 показана зависимость разности содержания железа в двух соседних стадиях ионизации как функция ускорения силы тяжести. Использование одного параметра для оценки разных величин не вполне корректно, но мы не нашли другой возможности. Ошибка в величине ускорения оценена по ошибке в содержании Fe II.

Относительные и абсолютные светимости

Для оценки относительной светимости L -звезд C4p и C4s относительно светимости L_C системы θ^1 Ori C ($L_p = L_{C4p}/L_C$, $L_s = L_{C4s}/L_C$) были использованы отношения эквивалентных ширин линий, измеренных по наблюдаемому и синтетическому спектрам. Метод измерения опубликован в статье Витриченко и др. (2011).

$$L = \Sigma W_\lambda(\text{obs}) / \Sigma W_\lambda(\text{synt})$$

Для обеих звезд значение $L = 0.05(1)$.

Абсолютные светимости звезд мы вычислили по формуле:

$$M_v = M_v(C) - 2.5 \cdot \lg L.$$

$$M_v(C) = V + 5 - 5 \cdot \lg r - A_v.$$

По оценкам Джефрис (2007) и Краус и др. (2007) Витриченко и др. (2012) определили расстояние до звезды $r = 437$ пк, поглощение $A_v = 0.^m95$ (Витриченко, 2004), видимая величина $V = 5.13^m$. Тогда абсолютная визуальная величина всей системы в целом $M_v(C) = -4.^m02$. Для звезд C4p и C4s получим $M_v = -0.^m77$, B_C равны соответственно -0.35 и -0.25 (Страйжис и Курилиене, 1981). С этими значениями найдем болометрическую светимость звезд относительно Солнца согласно выражению $\lg(L/L_\odot) = 04 (M_\odot - M_*)$, где $M_\odot = 4.75$, $M_* = -1.12$ (C4p), $M_* = -1.02$ (C4s).

Таблица 1. Физические параметры звезд

Величина	C4p	C4s	СК
$T_{\text{эф}}$, К	10000(200)	9900(200)	
$\lg g$	4.5(2)	4.6(2)	
L_{C4}/L_C	0.05(1)	0.05(1)	
M_v	$-0.^m77(2)$	$-0.^m77(2)$	
$\lg(L/L_\odot)$	2.4(2)	2.3(2)	1.42
Спектр			A0 ZAMS
R, R_\odot	5	4.9	1.7
M, M_\odot			2.1

Для C4p и C4s $\lg(L/L_\odot)$ равны 2.35 и 2.31 соответственно. Радиусы звезд, согласно выражению $\lg(R/R_\odot) = 0.5 \lg(L/L_\odot) + 2 \lg(T_\odot/T_{\text{эф}})$, в 5 раз больше солнечного. Различие с данными Страйжиса и Курилиене (1981), где для A0 ZAMS $R = 1.7R_\odot$, вызвано неточностью определения светимости звезд и тем, что звезды проходят стадию сжатия. В табл. 1. приведены расчетные данные для обеих звезд, в колонке СК – взятые из статьи Страйжиса и Курилиене (1981).

4 Химический состав

Для каждой звезды мы нашли в спектре около 200 линий. По ним был определен химический состав, сведения о котором даны в табл. 2. В этой таблице в скобках приведена ошибка в еди-

Исследование двух А-звезд, убегающих из системы θ^1 Ori C

ницах последнего знака, после запятой – число измеренных линий. Для звезды θ^1 Ori C содержание элементов взято из Витриченко (2004).

Из рассмотрения табл. 2 можно заключить, что по критерию 3σ у звезды C4p наблюдается дефицит элемента O, а элементы S, Ti, Cr и Ni показывают избыток. У звезды C4s дефицит показывает элемент S, а ионы C, O и Ni находятся в избытке. Общий вывод: обе звезды имеют аномалии в химическом составе.

Таблица 2. Химический состав звезд

Ион	Солнце	C4p	C4s	θ^1 Ori C
C I	-3.5	0.0(3),5	0.3(1),8	-0,47(4),12
O I	-3.1	-2.9(3),4	0.8(2),2	-0.37(6),27
Si II	-4.5	0.2(1),2	-0.7(2),3	-0.3(2),8
S II	-4.8	1.3(2),4	-2.5(2),3	0.3(1),5
Ti I	-7.0	1.6(4),5	1.3(4),4	
Ti II		-0.4(2),7	-0.5(4),3	
Cr I	-6.4	2.5(3),11	1.0(4),3	-0.1(1),17
Cr II		0.3(2),6	0.4(3),3	
Mn I	-6.6	3.0(10),3	0.7(2),2	0.3(4),6
Fe I	-4.4	0.2(1),36	0.1(1),31	-0.9(3),122
Fe II		0.2(1),57	-0.1(1),43	
Ni I	-5.8	0.5(2),8	0.6(5),7	-0.4(2),2
Ni II		1.9(4),11	2.3(4),5	
Zn I	-7.4	0.4(2),2	0.0(?),1	

5 Диаграмма Герцшпрунга-Рассела

На рис. 4 показана диаграмма Герцшпрунга-Рассела согласно Пала, Шталер (1999). Сплошной линией отмечена главная последовательность, штриховой – линия рождения звезд, ломаными линиями – эволюционные треки звезд с массами от 1 до 6 M_{\odot} , пунктирная линия – изохрона для возраста 10^6 лет, звездочками отмечено положения ярких звезд Трапеции Ориона.

Положение обеих исследованных звезд показано двойным кружком. Они находятся между линией рождения и начальной главной последовательностью, то есть являются сжимающимися звездами.

6 Дискуссия и заключение

Метод кросс-корреляции, примененный к анализу спектров звезды θ^1 Ori C, позволил выявить присутствие в этой сложной системе двух А-звезд, лучевые скорости которых показывают, что они покидают ее, двигаясь в противоположных направлениях. Отметим две трудности, с которыми мы встретились при анализе. Первая – в спектре звезды присутствует несколько систем линий. Они принадлежат главной звезде С, астрометрическому спутнику С1, близкому спутнику С2, компонентам двойной системы С3 (С3r и С3s), паре изученных здесь звезд – С4r и С4s. Последние пять звезд имеют одинаковый спектральный класс А. Кроме того, наблюдаются линии туманности, межзвездные, околос звездные и теллурические линии. Всего мы выделили 11 систем линий. Это значительно затрудняет их отождествление и измерение. На рис. 5 показан фрагмент спектра звезды, который иллюстрирует трудности, связанные с измерением линий. Сплошная линия – наблюдаемый спектр. В правом верхнем углу показана его фотометрическая ошибка. Пунктирная линия – синтетический спектр для звезды А0, сдвинутый по шкале длин

волн на величину, соответствующую +100 км/с. На поле рисунка отмечены пять линий, которые нам удалось измерить. На длине волны 5031.2 Å видна эмиссионная линия.

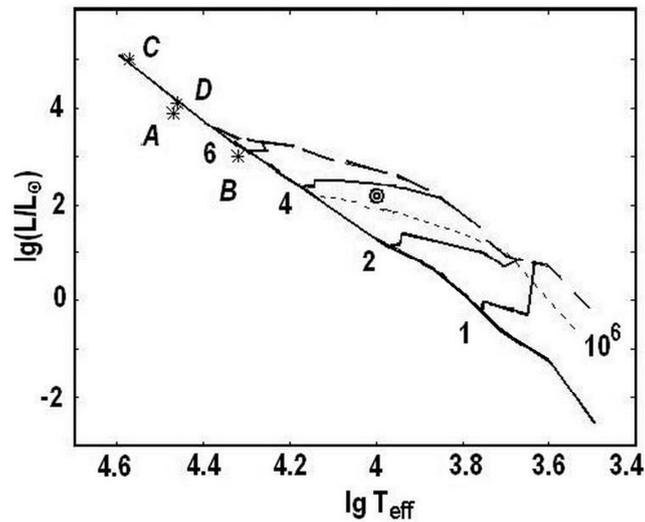


Рис. 4. Положение звезд C4r и C4s на диаграмме Герцшпрунга-Рессела

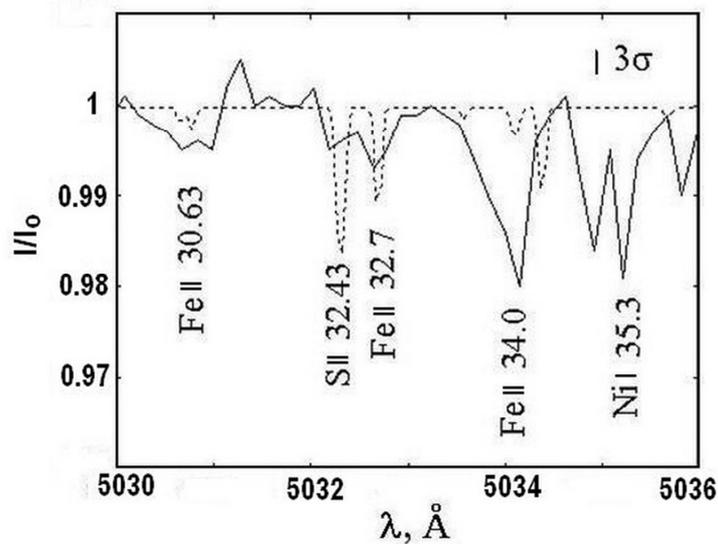


Рис. 5. Фрагмент спектра звезды θ^1 Ori C

Другая трудность связана с первой. При попытке определить относительные светимости звезд мы обнаружили, что гистограмма отношений эквивалентных ширин показывает максимум только на самых малых значениях этого отношения.

Значения радиусов звезд являются оценками, полученными для определенных нами значений светимости и эффективной температуры. На диаграмме Герцшпрунга-Рассела обе звезды находятся вблизи линии $4 M_{\odot}$, расчет по формулам для стандартных звезд дает значение масс в ~ 10 раз большее. Мы считаем, что обе звезды еще не сформировались как звезды ГП, но не исключено, что спектральный класс звезд более ранний, чем A0, и тогда звезды будут находиться в верхней части ГП.

Исследование двух А-звезд, убегающих из системы Θ^1 Ori C

Остается открытым вопрос о происхождении убегающих звезд. Звезды могли образоваться в процессе распада двойной системы, могли покинуть систему по одной, могли прибыть из других областей Галактики. Выбор между этими предположениями пока невозможен.

Авторы выражают глубокую благодарность В. Цымбалу за помощь в расчете синтетического спектра. В.Д. Бычков и Л.В. Бычкова благодарят Министерство науки и высшего образования Польши за финансовую поддержку, грант N N203 511638 (Polish Ministry of Science and Higher Education, grant N N203 511638).

Литература

- Вайгельт и др. (Weigelt G., Balega Y., Preibisch T., Schertl D., et al.) // *Astron. Astrophys.* 1999. V. 347. L15.
- Витриченко Э.А. // *Письма в Астрон. журн.* 2002. Т. 28. С. 370.
- Витриченко Э.А. // *Трапедия Ориона*. М.: Наука. 2004.
- Витриченко и др. (Витриченко Э., Цымбал В., Бычкова Л., Бычков В.) // *Астрофизика*. 2011. Т. 54. С. 81.
- Витриченко и др. (Витриченко Э.А., Бондарь Н.И., Бычкова Л., Бычков В.) // *Астрофизика*. 2012. Т. 55. С. 225.
- Джеффрис (Jeffries R.D.) // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* 2007. V. 376. P. 1109.
- Краус и др. (Kraus S., Balega Y.Y., Berger J.-P., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2007. V. 466. P. 649.
- Леман и др. (Lehmann H., Vitrichenko E., Bychkov V., et al.) // *Astron. Astrophys.* 2010. V. 514. P. A34.
- Пала, Шталер (Pala F., Stahler S.W.) // *Astrophys. J.* 1999. V. 255. P. 772.
- Страйжис, Курилиене (Straizis V., Kuriliene G.) // *Astrophys. Space. Sci.* 1981. V. 80. P. 353.
- Цымбал (Tsymbal V.V.) // *ASP Conf. Ser.* 1995. V. 108. P. 198.
- Фрост и др. (Frost E.B., Barret S.B., Struve O.) // *Astrophys. J.* 1926. V. 64. P. 1.