

УДК: 524.387

СИСТЕМА ВМ Ori. II. СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ И ЖЕЛЕЗА В АТМОСФЕРЕ ГЛАВНОЙ ЗВЕЗДЫ

Э.А.ВИТРИЧЕНКО¹, В.Г.КЛОЧКОВА², В.В.ЦЫМБАЛ³

Поступила 25 февраля 2004

Принята к печати 7 июля 2004

Оценено содержание гелия и железа в атмосфере главной звезды системы ВМ Ori. Использованы спектры, полученные на БТА и взятые из архивов спутников IUE и HST. Оказалось, что содержание гелия близко к солнечному, а содержание железа меньше, чем у Солнца. Содержание гелия и железа у других звезд Трапедии Ориона в общих чертах похоже на содержание этих элементов у ВМ Ori, но есть и различия. Например, содержание гелия у одной из двух звезд θ^1 Ori C и θ^1 Ori D больше, а у другой меньше, чем у Солнце. В то же время спутник ВМ Ori обладает нормальным содержанием железа.

1. *Введение.* Определение химического состава атмосферы ВМ Ori является важным, поскольку звезда имеет крайне малый возраст ($\sim 10^5$ лет), а наши сведения о ранних этапах эволюции звезд довольно скудны. Но до сих пор сделана лишь одна попытка оценить содержание гелия [1]. В работе отмечается, что содержание гелия близко к солнечному, но при этом использованы неточные параметры атмосферы и не учтено излучение спутника.

Отсутствие сведений о химическом составе связано с тем, что задача является крайне сложной. У звезды скорость осевого вращения $V_{\sin i} = 240$ км/с [2] велика, что приводит к тому, что в видимой области спектра видны в основном только линии водорода и гелия. Можно было бы использовать спектры, полученные со спутником IUE, но эти спектры, обработанные программой IUESIPS, имели слишком большие шумы. И только спектры, обработанные недавно программой NEWSIPS, оказались пригодными для определения эквивалентных ширин линий. На спутнике HST получено пять спектров, но пока что доступен только один, и его интервал длин волн составляет всего $200 \text{ \AA}$.

Еще одна трудность заключается в том, что главная звезда и спутник в видимой области имеют сравнимую светимость, и возникает необходимость исправить измеренные эквивалентные ширины главной звезды с учетом светимости спутника. Недавно [3,4] была получена зависимость относительной светимости спутника от длины волны, что дает возможность корректно решить задачу определения химического состава.

Целью настоящей работы является попытка оценить содержание гелия

и железа в атмосфере главной звезды системы ВМ Огi и сравнить его с содержанием этих элементов у других звезд Тrapeции Ориона и в Туманности Ориона.

2. *Наблюдательный материал.* В табл.1 приведены сведения о наблюдательном материале. В первом столбце приведен номер спектра. Первый спектр получен на телескопе HST. Следующие пять спектров взяты из архива спутника IUE с камерой SWP, затем еще пять спектров - с камерой LWR. В конце таблицы указаны три спектра, полученные

Таблица 1

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ

№	JD 2400000+
02010	51567.025
14539	44808.153
14548	44810.113
14561	44812.070
14576	44813.841
14875	44849.097
11115	44808.190
11133	44810.079
11148	44812.107
11164	44813.698
11167	44813.885
6	51246.239
7	51242.239
8	52547.530

на БТА со спектрографом НЭС [5]. Их номера условные. Во втором столбце приведена юлианская дата для середины экспозиции. Спектры со спутника IUE обработаны программой NEWSIPS. На каждом из спектров измерено 50-150 линий.

3. *Параметры атмосферы.* Как известно, для определения химического состава необходимо знать три параметра атмосферы: эффективную температуру T_{eff} , ускорение силы тяжести в области атмосферы $\log g$ и микротурбулентную скорость ξ_t . Четвертый параметр, металличность, необходимо учитывать в том случае, если содержание металлов существенно отличается от солнечного.

Первые два параметра определим с помощью уточненных элементов спектроскопической орбиты [6]. Уточненное значение полуамплитуды лучевой скорости главной звезды согласно [6] равно $K_1 = 65.3(14)$ км/с. Здесь и далее в скобках указана ошибка в единицах последнего знака. Радиус относительной орбиты a определим по формуле

$$a = 8.64 \cdot 10^4 \cdot (K_1 + K_2) \cdot P / (2\pi \cdot \sin i) = 2.11(2) \cdot 10^7 \text{ км} = 0.141(1) \text{ а.е.}$$

Здесь $K_2 = 170(3) \text{ км/с}$ - полуамплитуда лучевой скорости спутника, $P = 6^d.47$ - период, $i = 83^\circ.8(2)$ - наклон нормали к плоскости орбиты по отношению к лучу зрения.

Радиус главной звезды R_1 оценим из соотношения

$$R_1 = a \cdot r_1 = 1.69(4) \cdot 10^6 \text{ км} = 2.43(5) R_\odot.$$

Величина $r_1 = 0.080(2)$ - радиус главной звезды, выраженный в долях радиуса относительной орбиты. Он определен из решения кривой блеска. $R_\odot = 6.96 \cdot 10^5 \text{ км}$ - радиус Солнца.

Определим массу главной звезды в единицах массы Солнца по формуле

$$M_1 = 1.038 \cdot 10^{-7} \cdot (K_1 + K_2)^2 \cdot K_2 \cdot P / \sin^3 i = 6.4(3) M_\odot.$$

Зная массу и радиус, можно определить ускорение силы тяжести

$$\log g = \log(g_\odot M_1 / R_1^2) = 4.47(2).$$

Величина $g_\odot = 2.74 \cdot 10^4 \text{ см/с}^2$ - ускорение силы тяжести на поверхности Солнца, масса и радиус главной звезды выражены в солнечных единицах.

Абсолютная болометрическая звездная величина главной звезды равна $M_b = -2^m.8$. По формуле

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

оцениваем эффективную температуру: $T_{\text{eff}} = 20800(200) \text{ К}$. Основной источник ошибок - ошибка в полуамплитуде лучевой скорости спутника.

По таблицам [7], используя величины T_{eff} , M_b и M_1 , получаем точное значение спектрального типа $\text{Sp} = \text{B2.7}(1)$ НГП (начальная главная последовательность). Из этих же таблиц следует, что радиус главной звезды на 20% меньше нормального и, соответственно, ускорение силы тяжести на 0.17 dex больше нормального.

Попытаемся определить микротурбулентную скорость по классической методике, используя наиболее многочисленные линии иона Fe III. Методика заключается в том, что за величину ξ_i принимается такое значение, при котором угол наклона прямой, описывающей зависимость $[\text{Fe}/\text{H}]$ от эквивалентной ширины линий, равен нулю. Попытка определить таким образом ξ_i привела к неудаче: наклон остается положительным при любых значениях ξ_i . В дальнейшем примем $\xi_i = 15 \text{ км/с}$, исходя из следующих аргументов. Величина ξ_i не может быть больше звуковой скорости, которую определим по приближенной формуле $\xi_s = 15 T_4^{1/2} = 21 \text{ км/с}$ [8]. Здесь $T_4 = 2.07$ - эффективная температура, выраженная в 10000 К. При увеличении ξ_i наклон прямой сначала резко уменьшается, но после $\xi_i = 10 \text{ км/с}$ зависимость становится пологой, а содержание элементов перестает зависеть от ξ_i . Поэтому довольно произвольно примем $\xi_i = 15 \text{ км/с}$, поскольку при изменении этой величины на 5 км/с в большую

или меньшую сторону химический состав изменяется в пределах ошибок.

В [1] приведено значение $\xi_r = 10$ км/с, определенное по линиям гелия, но, как уже отмечалось, автором не было учтено излучение спутника и были приняты другие параметры атмосферы.

Еще одним параметром атмосферы является доля излучения главной звезды по отношению к излучению двойной системы. В [5] было получено аналитическое выражение для относительной светимости спутника L_2 :

$$L_2 = -0.576 + 2.932\lambda - 2.99\lambda^2 + 1.13\lambda^3.$$

Здесь λ выражено в мкм. Формула пригодна для области от 0.36 до 0.97 мкм. Относительная светимость главной звезды по определению равна: $L_1 = 1 - L_2$. Для указанной области спектра эквивалентные ширины линий были разделены на L_1 , что позволило учесть излучение спутника. Для меньших длин волн ($\lambda < 0.36$ мкм) излучением спутника можно пренебречь.

4. *Химический состав.* В табл.2 приведено содержание гелия и железа по отношению к содержанию этих элементов в атмосфере Солнца. Для сравнения приведено содержание этих элементов у других звезд Трапеции Ориона, у спутника ВМ Оп (строка В1) [5] и у Туманности Ориона [9,10] (строка Орион). После запятой указано число использованных линий.

Таблица 2

СОДЕРЖАНИЕ ГЕЛИЯ И ЖЕЛЕЗА В АТМОСФЕРАХ ЗВЕЗД ТРАПЕЦИИ ОРИОНА И В ТУМАННОСТИ ОРИОНА

Звезда	[He/H]	[Fe/H]
A	0.1(1), 16	-0.2(1), 124
B	0.1(1), 16	-0.6(1), 90
B1		0.04(3), 145
C	-0.11(4), 18	-0.91(3), 122
D	0.35(6), 10	-0.27(8), 116
Орион	-0.01(4)	-1.2

Всего на всех 14 спектрах было измерено ~1000 линий. Но анализ этих измерений показал, что подавляющая часть линий непригодна для определения химического состава. Причины следующие: 1) блендирование линий, приводящее к ошибкам в отождествлении линий и в эквивалентной ширине; 2) фотометрические ошибки, имеющие наибольшую величину для спектров, полученных спутником IUE; 3) ошибки в силах осцилляторов; 4) многочисленные межзвездные линии, возникающие в основном в Туманности Ориона; 5) в видимой области - многочисленные линии двух спутников [6]; 6) необычно большая скорость

вращения уменьшает глубину линий и увеличивает вероятность их переналожения. Известно, что для успешного отождествления линий необходимо знать химический состав, а для определения химического состава необходимо успешно отождествить линии. Этот круг легко разорвать, если химический состав близок к солнечному. Но у ВМ Ori химический состав в большой степени аномален. Именно по этой причине пришлось отказаться от определения химического состава по большому числу ионов, а остановиться только на ионах He I и Fe III, поскольку по линиям этих ионов можно надежно определить содержание.

Рассмотрение табл.2 позволяет сделать следующие выводы. У главной звезды системы ВМ Ori содержание гелия близко к солнечному, а содержание железа имеет недостаток. Содержание гелия и железа у других звезд Трапеции Ориона в общих чертах похоже на содержание этих элементов у ВМ Ori, но есть и отличия. Например, для звезд θ^1 Ori C и θ^1 Ori D содержание гелия по отношению к солнечному содержанию отличаются знаком. Спутник ВМ Ori имеет нормальное содержание железа. У Туманности Ориона наблюдается нормальное содержание гелия, как и у звезд Трапеции Ориона.

Нормальное содержание гелия является удивительным, поскольку согласно многим работам у молодой звезды должен быть дефицит гелия [11]. Дефицит железа является признаком молодости звезд и Туманности Ориона, что и соответствует распространенному мнению о крайней молодости звезд Трапеции Ориона. Нормальное содержание железа у спутника является загадкой.

5. Заключение. Большой наблюдательный спектральный материал использован для оценки обилия гелия и железа в атмосфере главной звезды в системе ВМ Ori. Содержание гелия оказалось нормальным, а железо - в дефиците. Нормальное содержание гелия противоречит современным понятиям о звездной эволюции, а дефицит железа согласуется с этими представлениями.

Авторы искренне благодарны сотрудникам архивов IUE и HST за предоставление спектров, а также сотрудникам служб SIMBAD и VALD за предоставление необходимой информации.

¹ Институт космических исследований РАН,
Москва, e-mail vitrich@nserv.iki.rssi.ru

² Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Н.Архыз, Россия

³ Таврический Национальный Университет, Симферополь, Крым,
Украина

THE BM Ori SYSTEM. II. THE ABUNDANCE OF HELIUM AND IRON OF MAIN STAR ATMOSPHERE

E.A.VITRICHENKO¹, V.G.KLOCHKOVA², V.V.TSYMBAL³

The abundance of helium and iron in the atmosphere of the BM Ori primary is estimated. The spectra obtained with BTA telescope and taken from archives of IUE and HST satellites have been used. It appeared, that helium has the abundance close to that of the Sun, while the abundance of iron has lack. The abundance of helium and iron of other stars of the Orion Trapezium is in general similar to that of BM Ori primary, but there are some differences. For example, the stars θ^1 Ori C and θ^1 Ori D have different signs of helium abundance with respect to the Sun, while BM Ori secondary has the normal abundance of iron.

Key words: *stars: chemical composition: Orion Trapezium*

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.З.Исмаилов, Письма в Астрон. ж., 14, 327, 1988.
2. H.A.Abt, H.Levato, M.Grosso, Astrophys. J., 573, 359, 2002.
3. В.Е.Панчук, В.Г.Клочкова, И.Д.Найденов, Препринт САО, №135, 1999.
4. В.Е.Панчук, Н.Е.Пискунов, В.Г.Клочкова, М.В.Юшкин, С.В.Ермаков, Препринт САО, №169, 2002.
5. Э.А.Витриченко, В.Г.Клочкова, Письма в Астрон. ж., 27, 381, 2001.
6. Э.А.Витриченко, В.Г.Клочкова, Астрофизика, 47, 199, 2004.
7. V.Straizis, G.Kuriliene, Astrophys. Space. Sci., 89, 353, 1981.
8. Взаимодействующие двойные звезды, Дж.Е.Прингл, Р.А.Уэйд (ред), Наука, М., 1993.
9. J.A.Baldwin, G.J.Ferland, P.G.Martin et al., Astrophys. J., 374, 580, 1991.
10. J.A.Baldwin, A.Crotts, R.J.Dufour et al., Astrophys. J., 468, L115, 1996.
11. Л.С.Любимков, Химический состав звезд: метод и результаты анализа, Одесса: Астропринт, 1995.