

УДК 524.312.3

Моделирование спектра сверхгиганта O3If* Cyg OB2 № 7

О.В. Марьева

Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167
olga.maryeva@gmail.com

Поступила в редакцию 18 декабря 2012 г.

Аннотация. Быстрое вращение звезд с мощными ветрами приводит к изменению формы звезды, возникновению осесимметричности ветра и даже к формированию истекающих дисков. Асимметричные ветры были найдены у объектов, связанных эволюционно с O-звездами – у Luminous Blue variables (LBV) и звезд типа WR. В данной работе мы представляем результаты моделирования спектра сверхгиганта O3If* Cyg OB2 № 7 и по этим результатам делаем вывод о неоднородности ветра, вызванной вращением.

MODELING OF THE SPECTRUM OF SUPERGIANT O3If* Cyg OB2 № 7, by O.V. Maryeva. The rapid rotation of stars with strong winds changes the shape of the star. This results in deviation from a spherically symmetric shape and possibly in the formation of an outflowing disk. Asymmetric winds were found in objects that are evolutionary related to O-stars – LBVs and WR stars. In this paper, we present results of modeling of Cyg OB2 № 7 spectrum.

Ключевые слова: атмосферы звезд, фундаментальные параметры, звезды ранних типов, Cyg OB2 № 7

Данная работа посвящена исследованию одной из самых горячих звезд нашей Галактики Cyg OB2 № 7, классифицированной как O3If*. Изучаемая звезда принадлежит ассоциации Cyg OB2, исследования ярчайших звезд которой проводятся В.Г. Клочковой и Е.Л. Ченцовым на 6-метровом телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН.

В данной работе мы используем спектры, полученные на космическом телескопе имени Хаббла (HST), на телескопе SUBARU (спектрограф IRCS), на 6-метровом телескопе БТА САО РАН (спектрограф НЭС) и на 1.5-м Российско-Турецком телескопе РТТ150 (TFOSC).

Для определения физических параметров и химического состава атмосферы Cyg OB2 № 7 мы используем не-ЛТР код CMFGEN Гилье, Миллер (1998). В этой программе уравнения переноса в сферически расширяющейся среде решаются в сопутствующей системе координат. Для одновременного решения уравнений переноса и уравнений статистического равновесия применяется метод частичной линеаризации. Для каждой модели задаются радиус звезды R_* , соответствующий внутренней границе атмосферы и расположенный приблизительно на $\tau \sim 20$, светимость L_* , темп потери массы \dot{M} , предельная скорость ветра V_∞ , масса звезды M_* и содержание элементов Z_i .

Сначала для разных значений входных параметров (таких как темп потери массы, эффективная температура, закон изменения скорости, содержания элементов) мы построили сетку моделей и исследовали чувствительность к ним результатов расчетов. При возрастании T_{eff} расчетные спектры изменяются физически правдоподобно, возрастают интенсивности линий высокого возбуждения.

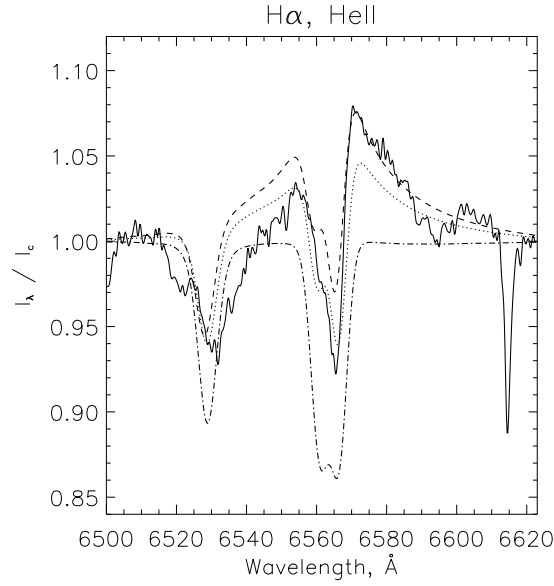


Рис. 1. Сравнение наблюдаемого профиля $H\alpha + HeII \lambda 6560$ (сплошная линия) с модельными. Пунктирная линия – модель с $\beta = 1$ и $\dot{M}_{cl} = 2 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$, штриховая – модель с $\beta = 1$ и $\dot{M}_{cl} = 2.5 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$, штрихпунктирная – $\beta = 2$, $\dot{M} = 6 \times 10^{-7} M_{\odot}/\text{год}$. Слева от $H\alpha$ наблюдаются линии DIB $\lambda 6521$, 6537 и $HeII \lambda 6527$, а справа – DIB $\lambda 6613$

Таблица 1. Измеренные модельные параметры Cyg OB2 № 7

	T_* , kK	R_* , R_{\odot}	T_{eff} , kK	$R_{2/3}$, R_{\odot}	L_* , $10^6 L_{\odot}$	\dot{M}_{uncl} , $10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$	V_{∞} , км/с	β
Модель№1 ($H\beta$)	45	16.4	43.2	17.7	1	6.3	3250	2
Модель№2 ($H\alpha$)	45	16.4	44.4	17	1	9.5	3250	1
Модель№3 (NIV, CIV)	45	16.4	43.7	17.4	1	2.2	3250	2

При увеличении \dot{M} у углеродных и азотных линий в видимом диапазоне усиливаются крылья, а такие линии, как $H\alpha$, $H\beta$, $H\gamma$, $HeII \lambda 5411$, превращаются из абсорбционных в эмиссионные. При расчете структуры плотности мы полагали, что скорость ветра с расстоянием изменяется по β -закону (где β – показатель степени). Мы рассмотрели, как влияет параметр β на профиль линии, и получили, что с уменьшением β изменяется глубина линий $H\beta$ и $HeII \lambda 5411$, а линия $H\alpha$ превращается из абсорбционной в эмиссионную. Такие линии, как $NV \lambda\lambda 4604, 4620$, $NIV \lambda\lambda 5200, 5204$, $NIV \lambda 5737$, к изменению параметра β не чувствительны.

Рассмотрев изменение модельных спектров при изменении входных данных, мы перешли непосредственно к определению параметров атмосферы Cyg OB2 № 7. Герреро и др. (2002) по ультрафиолетовым линиям определили скорость Cyg OB2 № 7 – $V_{\infty} = 3080 \text{ km s}^{-1}$ и оценили температуру звезды $T_* = 45 \text{ kK}$. Герреро и др. (2002). Эти значения мы приняли в качестве исходных. Для точного определения светимости объекта мы сравнивали модельные звездные величины с наблюдаемыми. Используя ультрафиолетовые линии CIV $\lambda\lambda 1548, 1551$, мы определили диапазон возможных значений темпа потери массы и уточнили скорость (3250 km s^{-1}).

Однако при более детальном рассмотрении линий мы столкнулись с проблемой – невозможностью описать линии в оптическом диапазоне единой моделью. Линии можно разделить на три группы. Первая группа – абсорбционные линии ($H\beta$, $HeII \lambda 5411$, $NIV \lambda\lambda 5200, 5204$ и УФ-диапазон) – хо-

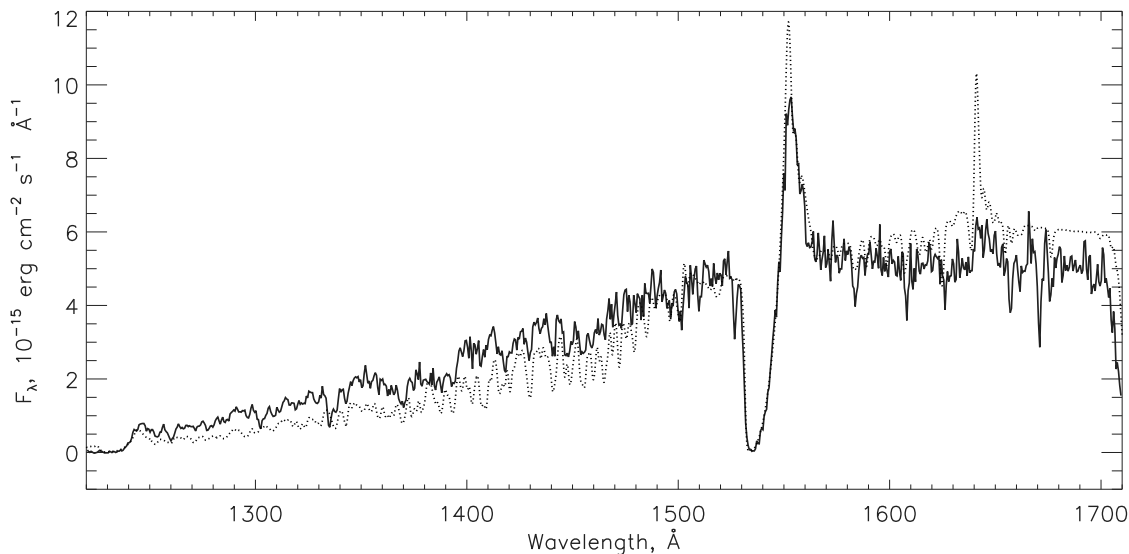


Рис. 2. Сравнение модельного спектра (пунктирная линия) с наблюдаемым (сплошная линия), полученным на телескопе Хаббла. Модельный спектр ($\dot{M} = 2 \times 10^{-6} M_{\odot}/\text{год}$, $\beta = 2$) свернут с гауссианой с $\text{FWHM} = 15 \text{ \AA}$, пересчитан на расстояние до ассоциации Cyg OB2 и скорректирован за межзвездное поглощение

рошо описываются Моделью № 1 (параметры приведены в таблице 1). Ветровые линии (CIV $\lambda\lambda 5801, 5812$, NIV $\lambda\lambda 7103 - 7129$) мы описали Моделью № 3, которая отличается от первой модели только \dot{M} . А для описания H α мы построили модель с более крутым скоростным законом, имеющим показатель $\beta = 1$ (Моделью № 2).

В данной работе мы применили не-ЛТР код CMFGEN для моделирования атмосферы сверхгиганта O3If* Cyg OB2 № 7. Для исследования мы объединили данные спектроскопии объекта в ультрафиолетовом, инфракрасном и оптическом диапазонах. Для описания всех наиболее сильных линий в спектре были построены три различные модели. Модели различаются темпом потери массы и значением параметра β , т. е. скоростным законом. Мы полагаем, что наличие в спектре звезд групп линий, демонстрирующих разный \dot{M} , связано с неоднородностью ветра, вызванной быстрым вращением ($V \sin i = 105 \text{ km s}^{-1}$). Cyg OB2 № 7 – еще одна горячая звезда, у которой обнаружена зависимость плотности ветра от широты. Более подробно результаты нашего исследования описаны в статьях Марьева, Жучков (2012), Марьева и др. (2013).

Работа выполнена при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 11-02-00319-а) и программы “Кадры” (госконтракт 14. 740. 11. 0800).

Литература

- Герреро и др. (Herrero A., Puls J., Najarro J. & F.) // *Astron. Astrophys.* 2002. V. 396. P. 949.
 Гилье, Миллер (Hillier D.J., Miller D.L.) // *Astrophys. J.* 1998. V. 496. P. 407.
 Марьева, Жучков (Maryeva O.V., Zhuchkov R.Ya.) // *Astrophysics.* 2012. V. 55. P. 413.
 Марьева и др. (Maryeva O.V., Klochkova V.G., Chentsov E.L.) // *Astrophys. Bull.* 2013 (in press).