

УДК 524.358

Д. Н. Рустамов, А. Ф. Абдулкеримова

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси
Национальной академии наук Азербайджана
проспект Г. Джавида 115, Ясамалский район, Баку, Азербайджан, AZ 1143
janmamed@yahoo.com

Асимметрия межзвездных линий Na I 589.0 и 589.6 нм в спектре звезды HD 192163 типа Вольфа — Райе

Приводятся результаты спектральных исследований межзвездных линий поглощения дублета натрия Na I 589.0 нм (D_2) и Na I 589.6 нм (D_1) в спектре звезды HD 192163 = WR 136 типа Вольфа — Райе. Наблюдения были проведены с использованием эшелле-спектрометра, установленного в кассегреневском фокусе 2-м телескопа Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси НАН Азербайджана в 2005—2010 гг. Были получены 46 эшелле-спектрограмм исследуемой звезды, а также четыре эшелле-спектрограммы звезды HD 191765 = WR 134 и стандартной звезды HD 189847. Показано, что в спектре звезды HD 192163 профили межзвездных линий поглощения дублета Na I асимметричны, а в спектрах звезд сравнения — нет. Выявленную асимметрию линий дублета Na I в спектре звезды HD 192163 можно объяснить вкладом в формирование этих линий туманности NGC 6888, генетически связанной с этой звездой. По эшелле-спектрограммам звезды HD 192163 определены эквивалентные ширины и лучевые скорости линий дублета Na I.

АСИМЕТРІЯ МІЖЗОРЯНИХ ЛІНІЙ Na I 589.0 і 589.6 нм у СПЕКТРІ ЗІРКИ HD 192163 ТИПУ ВОЛЬФА — РАЙЄ, Рустамов Д. Н., Абдулкеримова А. Ф. — Приводяться результати спектральних досліджень міжзоряних ліній поглинання дублету натрію Na I 589.0 нм (D_2) і Na I 589.6 нм (D_1) у спектрі зірки HD 192163 = WR 136 типу Вольфа — Райє. Спостереження було проведено з використанням ешелле-спектрометра, встановленого в кассегренівському фокусі 2-м телескопа Шамахинської астрофізичної обсерваторії ім. Н. Тусі НАН Азербайджану в 2005—2010 рр. Було отримано 46 ешелле-спектрограм досліджуваної зірки, а також чотири ешелле-спектрограми зірки HD 191765 = WR 134 і стандартної зірки HD 189847. Показано, що у спектрі зірки HD 192163 профілі міжзоряних ліній поглинання

дублету Na I асиметричні, а у спектрах зірок порівняння — ні. Виявлену асиметрію ліній дублету Na I у спектрі зірки HD 192163 можна пояснити вкладом у формування цих ліній туманності NGC 6888, генетично зв'язаної із цією зіркою. По ешелє-спектрограмах зірки HD 192163 визначено еквівалентні ширини та променеві швидкості ліній дублету Na I.

ASYMMETRY OF INTERSTELLAR LINES Na I 589.0 NM AND Na I 589.6 NM IN A SPECTRUM OF THE WOLF-RAYET TYPE STAR HD 192163, by Rustamov D. N., Abdulkirimova A. F. — We present our results of spectral investigations of interstellar absorption lines of sodium Na I 589.0 nm (D_2) and Na I 589.6 nm (D_1) using 46 echelle-spectrograms of the Wolf-Rayet (WR) type star HD 192163. Eshelle-spectrograms were obtained with an echelle-spectrometer attached to the Cassegrain focus of the 2-m telescope of the N. Tusi Shamakhy Astrophysical Observatory (ShAO) of the National Academy of Sciences of Azerbaijan during 2005—2010. Four echelle-spectrograms of another WR type star HD 191765 and the standard star HD 18947 for the purpose of comparative investigations of Na I doublet lines in the spectra of these stars were obtained. Some asymmetry of profiles of interstellar absorption lines was revealed only in the spectrum of the star HD 192163. However, the profiles of these lines are symmetric enough in the spectra of the stars HD 191765 and HD 18947. The revealed asymmetry of Na I doublet lines in a spectrum of the star HD 192163 can be explained by the contribution of the nebula NGC 6888 genetically connected with the star to the formation of these lines. The equivalent width and radial velocities of Na I doublet lines were determined using echelle-spectrograms of the star HD 192163.

ВВЕДЕНИЕ

Звезда типа Вольфа — Райе HD 192163=WR136 (WN6,SB1) окружена кольцевой туманностью NGC 6888 [2], и в работе [5] она рассматривается как стандарт подтипа WN6. Интересной особенностью этой звезды является то, что она расположена в центре кольцевой туманности NGC 6888 и генетически связана с нею. Кольцевая туманность NGC 6888 имеет приблизительно эллипсоидальную форму с размерами 18×12 и погружена в крупномасштабную область H II — S 109. Эта туманность, подобно другим кольцевым туманностям, имеет волокнистую структуру. Предполагается, что волокнистая структура этих туманностей поддерживается интенсивным звездным ветром центральной звезды [9]. Согласно [8] возраст кольцевой туманности NGC 6888 равен $1.83 \cdot 10^4$ лет. Если для темпа потери массы центральной звезды принять значение $2 \cdot 10^{-5} M_{\odot}$, то масса потерянного центральной звездой вещества за это время составит $0.4 M_{\odot}$. Из анализа химического состава кольцевой туманности NGC 6888 также получает-

ся, что примерно 10 % общей массы туманности ($\sim 0.4M_{\odot}$) занесено сюда звездным ветром. Анализ химического состава NGC 6888 показал повышенное содержание азота и гелия. Разумно предполагать, что повышенное содержание азота и гелия связано со звездным ветром от центральной звезды HD 192163, в которой содержание азота и гелия завышено [8].

Впервые в работе [7] показана связь некоторых кольцевых туманностей со звездами WR. В настоящее время обнаружены десятки кольцевых туманностей вокруг этих звезд. Физическая природа этих туманностей не до конца выяснена. По современным представлениям кольцевые туманности вокруг звезд WR могут образовываться в результате действия следующих механизмов [6]: а) взаимодействия звездного ветра с межзвездной средой; б) сброса общей оболочки двойной системы, состоящей из WR-звезды и компактного объекта; в) сброса оболочки звездой на стадии красного сверхгиганта. Тепловой спектр радиоизлучения некоторых кольцевых туманностей свидетельствует о том, что эти туманности образовались не просто в результате сгребания межзвездного газа звездным ветром, а скорее всего быстрым сбросом массивной оболочки звезды в процессе ее эволюции. Для установления точного механизма образования кольцевых туманностей вокруг звезд типа WR целесообразно провести тщательные исследования в этом направлении.

Целью настоящей работы является исследование межзвездных линий дублета натрия Na I 589.0 нм (D_2) и Na I 589.6 нм (D_1) (в дальнейшем — дублет Na I) в спектре звезды HD 192163 типа WR. Была сделана попытка выяснить возможный вклад кольцевой туманности NGC 6888 в формирование этого дублета.

В спектре звезды HD 192163, кроме эмиссионных линий, наблюдаются линии поглощения — дублет Na I. Известно, что этот эмиссионный дублет формируется в основном в межзвездной среде, и профили этих линий должны быть симметричными. Однако, как было отмечено в работе [10], они оказались асимметричными. Выявленная асимметрия линий дублета Na I интерпретировалась вкладом расширяющейся кольцевой туманности NGC 6888 в формирование этого дублета. В работе [10] отмечено также, что этот вывод нуждается в подтверждении дальнейшими спектральными исследованиями с высоким разрешением. Отметим, что спектральное разрешение полученного нами наблюдательного материала вполне достаточное для проведения таких исследований. Проведено также сравнительное исследование дублета Na I спектрах другой звезды типа WR, HD 191765 = WR134, и стандартной звезды HD 189847.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОГРАММ

Спектральные наблюдения звезды HD 192163 были выполнены в каскадном фокусе 2-м телескопа фирмы «Карл Цейс» Шамахин-

ской астрофизической обсерватории в 2005—2010 гг. Использовался эшелле-спектрометр с ПЗС-матрицей (530–580 пкп). Спектральный диапазон — 460 ... 700 нм, спектральное разрешение $R = 13600$, отношение сигнала к шуму $S/N \sim 100$. Аппаратура наблюдений подробно описана в работе [3]. Спектрограммы были получены и обработаны с использованием пакетов программ DECH20 и DECH20T, разработанных в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук [1]. Программы DECH20 и DECH20T позволяют нам определить эквивалентные ширины спектральных линий и лучевые скорости лучевые скорости формирующего их вещества. Были получены 46 эшелле-спектрограмм исследуемой звезды HD 192163. Время накопления составляет 20 мин. В течение каждой ночи были получены две эшелле-спектрограммы. Усреднением двух эшелле-спектрограмм, полученных одна за другой в течение каждой ночи, были удалены следы космических лучей. Помимо спектров исследуемой звезды HD 192163, с целью сравнительных исследований дублета Na I мы получили четыре эшелле-спектрограммы звезды HD 191765 = WR134 типа WR, спектр стандартной звезды HD 189847 (B7V), спектр дневного неба, спектры плоского поля и спектр сравнения.

Отметим, что в спектре исследуемой звезды HD 192163 эмиссионная линия H γ сливается в одну полосу с линией He II λ 656.0 нм, и эта полоса обозначается как (He II + H γ) λ 656.0 нм. Кроме нее, в спектральном диапазоне 460 ... 700 нм сильными эмиссионными линиями являются: He II λ 485.9, 541.1 нм, C IV λ 580.8 нм и He I λ 587.5 нм. Результаты исследований этих эмиссионных линий приведены в работе [4]. Целью данной работы являлось исследование межзвездных линий дублета Na I с использованием эшелле-спектрограмм звезды HD 192163. В таблице приведены полученные нами значения эквивалентных ширин W и лучевых скоростей V_r межзвездных линий дублета Na I. Средние квадратичные ошибки W и V_r , определенные по стандартной звезде HD 189847, составляют 10 % и 3 км/с соответственно.

В работе [6] отмечено, что асимметрия обеих линий поглощения дублета Na I наблюдается в фиолетовых крыльях. Во всех полученных нами эшелле-спектрограммах асимметрия профилей линий дублета Na I обнаруживается только в их фиолетовых крыльях. Поэтому мы определили эквивалентные ширины этих линий двумя способами:

а) методом прямого интегрирования. При этом определялась эквивалентная ширина всего профиля. Определенные таким образом значения эквивалентных ширин приведены во второй и четвертой графах таблицы;

б) совмещением красного крыла этих линий с гауссовским профилем. Фактически в этом случае мы определяем эквивалентную ширину симметричного профиля, т. е. профиль, в котором не имеется вклада туманности NGC 6888. Определенные при этом эквивалентные ширины приведены в третьей и пятой графах таблицы.

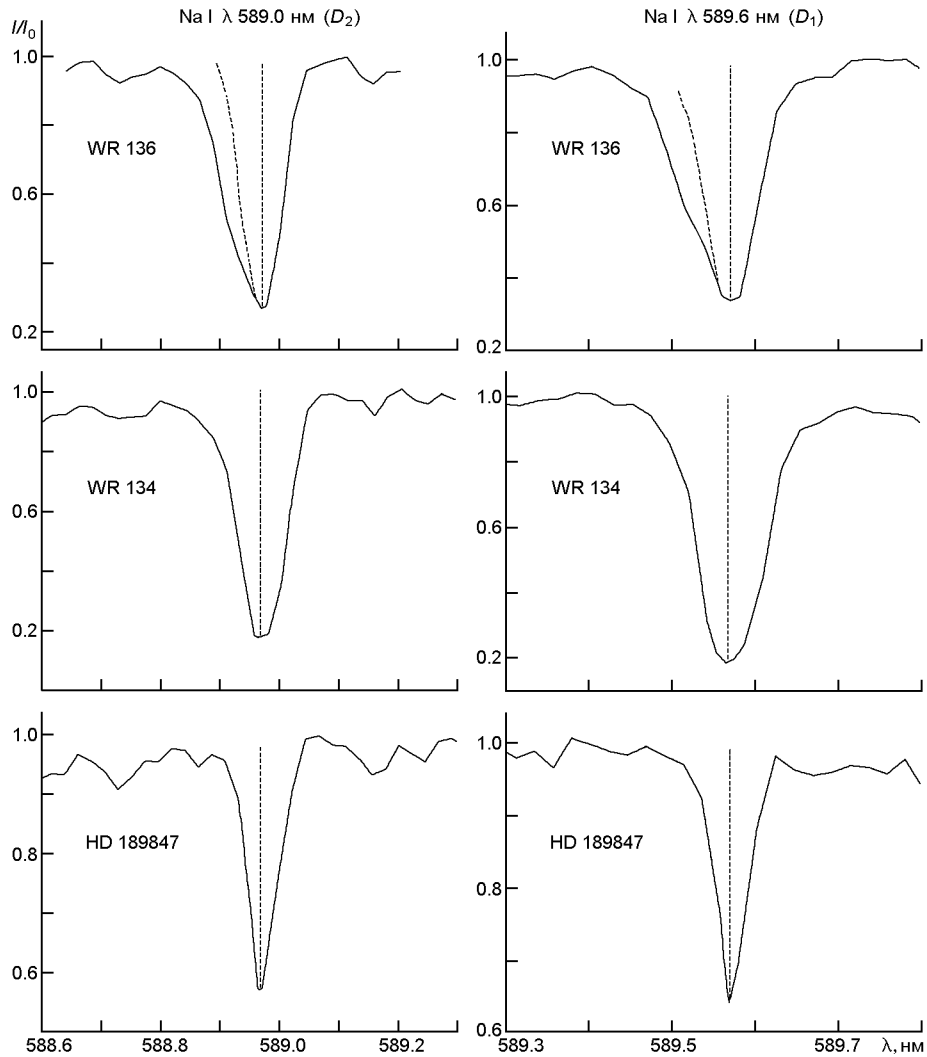
Эквивалентная ширина W и лучевая скорость V_r межзвездных линий поглощения Na I 589.0 нм (D_2) и Na I 589.6 нм (D_1) в спектре звезды типа WR, HD 192163 = WR136

JD2450000+...	W , нм				V_r , км/с	
	Na I 589.0 нм (D_2)	Na I 589.6 нм (D_2)	Na I 589.0 нм (D_1)	Na I 589.6 нм (D_1)	Na I 589.0 нм (D_2)	Na I 589.6 нм (D_1)
3563.397	0.092	0.072	0.067	0.051	-14.41	-12.12
3569.330	0.080	0.058	0.061	0.045	-16.38	-14.22
3574.351	0.085	0.068	0.059	0.051	-22.96	-20.52
3588.306	0.082	0.065	0.066	0.050	-13.93	-11.01
3591.326	0.084	0.064	0.065	0.048	-25.42	-23.43
3597.274	0.084	0.061	0.067	0.051	-16.08	-13.66
4338.206	0.083	0.064	0.070	0.050	-25.76	-23.92
4338.221	0.086	0.064	0.072	0.050	-29.77	-28.28
4338.237	0.082	0.066	0.071	0.055	-28.23	-25.25
4338.252	0.085	0.062	0.070	0.054	-28.68	-26.49
4338.267	0.084	0.061	0.070	0.053	-28.83	-26.99
4338.281	0.082	0.066	0.072	0.052	-27.24	-26.50
4338.301	0.083	0.062	0.070	0.055	-27.72	-25.38
4338.317	0.085	0.059	0.071	0.054	-28.81	-25.71
4338.332	0.083	0.065	0.071	0.053	-21.91	-19.55
4338.348	0.085	0.065	0.068	0.055	-23.08	-21.42
4348.217	0.082	0.060	0.073	0.051	-30.32	-29.77
4690.184	0.086	0.060	0.070	0.054	-26.10	-23.94
4690.214	0.087	0.065	0.072	0.052	-30.89	-29.55
4690.243	0.087	0.066	0.070	0.052	-25.53	-22.80
4715.183	0.087	0.070	0.071	0.060	-21.23	-16.20
4715.227	0.085	0.061	0.070	0.054	-20.58	-17.43
5029.750	0.086	0.069	0.070	0.056	-16.45	-14.89
5029.781	0.083	0.068	0.070	0.052	-12.98	-11.39
5029.809	0.082	0.066	0.073	0.053	-11.19	-10.47
5030.740	0.084	0.066	0.070	0.051	-14.85	-13.86
5033.788	0.083	0.064	0.069	0.054	-12.91	-11.38
5033.818	0.085	0.067	0.070	0.056	-16.30	-15.78

Лучевые скорости исследуемых линий определены совмещением прямых и зеркальных изображений указанных линий поглощения на уровне половинной глубины. Лабораторные длины волн линий дублета D_2 и D_1 принимались равными $\lambda = 588.9950$ и 589.5924 нм соответственно. Определенные нами значения лучевых скоростей приведены в двух последних графах таблицы.

Отметим, что найденные нами значения эквивалентных ширин указанного дублета натрия незначительно отличаются от значений эквивалентных ширин для этих линий, определенных в работе [10].

На рисунке приводятся профили линий поглощения Na I 589.0 нм (D_2) и Na I 589.6 нм (D_1) в спектрах звезд HD 192163 = WR 136, HD 191765 = WR 134 и HD 189847. Как видно, только в спектре звезды



Профили линий Na I λ 589.0 нм (D_2) и Na I λ 589.6 нм (D_1) в спектрах звезд HD 192163 = WR136, HD 191765 = WR134 и HD 189847

HD 192163 профили линий дублета Na I асимметричны, причем асимметрия обеих линий обнаруживается в фиолетовых крыльях. На рисунках штриховыми линиями показаны симметричные профили дублета Na I, который получается совмещением красного крыла с гауссовским профилем.

При наблюдении исследуемых объектов имеет большое значение изучение стабильности работающего комплекса «телескоп — приемник». С целью выполнения таких исследований помимо спектров исследуемой звезды нами получены спектр стандартной звезды HD 189847, спектр дневного неба, темновой спектр, а также спектры плоского поля. В качестве спектра сравнения мы использовали солнечный спектр, полученный в светлое время суток до и после наблюдений. Для того чтобы проводить измерения лучевой скорости, необ-

ходимо построить дисперсионную кривую с высокой точностью для каждого порядка. Для построения кривой дисперсии использовался спектр дневного излучения. Совмещением теллурических линий в спектре сравнения и в спектре звезды определены смещения в каждом порядке. Каталог длин волн с точностью ± 0.01 нм для солнечного спектра имеется в пакете программы обработки DECH20. При определении лучевой скорости учитывается гелиоцентрическая поправка, учитывающая движение Земли по орбите, ее суточное вращение и возмущающее действие Луны и больших планет Солнечной системы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Впервые о наличии асимметрии межзвездных линий поглощения дублета Na I в спектре звезды HD 192163 сообщалось в 1979 г. в работе [10], однако отмечалось, что этот вывод нуждается в подтверждении на основе спектральных исследований с высоким разрешением. Наши наблюдения соответствуют этим требованиям. Известно, что линии поглощения дублета Na I являются в основном межзвездными линиями. Поэтому профили этих линий должны быть симметричными. Асимметрия этих профилей является аргументом в пользу вклада других источников в формирование этих линий. В нашем случае разумно предполагать, что в формировании этих линий участвует кольцевая туманность NGC 6888, генетически связанная со звездой HD 192163. Поскольку асимметрия этих линий не обнаружена в спектрах других звезд, это является дополнительным аргументом в пользу реальности выявленной асимметрии линий поглощения дублета Na I в спектре звезды HD 192163. Как видно из таблицы, значения эквивалентных ширин линий поглощения дублета Na I в спектре звезды HD 192163 почти не изменяются в пределах ошибок, однако значения лучевых скоростей показывают значительные изменения. Переменность значений лучевых скоростей может быть связана с динамическими процессами, происходящими в кольцевой туманности NGC 6888.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа 46 эшеле-спектрограмм звезды HD 192163 выявлена асимметрия межзвездных линий поглощения дублета Na I в спектре этой звезды. Отметим, что асимметрия этих линий поглощения во всех случаях обнаружена только в фиолетовых крыльях профилей этих линий. Не выявлена асимметрия этих линий в спектрах другой звезды типа WR, HD 191765, и стандартной звезды HD 189847. Этот наблюдательный факт трактуется в пользу реальности обнаруженной в спектре звезды HD 192163 асимметрии профилей дублета Na I. Так как все эшеле-спектрограммы получены и обработаны с одной и той же методикой.

Обнаруженная в данной работе асимметрия указанных линий поглощения в спектре звезды типа WR, HD 192163, можно объяснить вкладом генетически связанной с этой звездой кольцевой туманности NGC 6888 в формирование этих линий. Выявлена переменность определенных нами значений лучевых скоростей линий поглощения дублета Na I в спектре звезды HD 192163, которая, по-видимому, связана с динамическими процессами, происходящими в кольцевой туманности NGC 6888.

1. *Галазутдинов Г. А.* Обработка астрономических спектров в ОС Windows с помощью программ DECH. — Нижний Архыз, 1992. 52 с. (Препринт / Спец. астрофиз. обсерватория РАН; № 92).
2. *Лозинская Т. А.* Кольцевые туманности вокруг звезд Вольфа — Райе: волокна и диффузная среда в NGC 6888 // Письма в Астрон. журн.—1980.—**6**.—С. 350—355.
3. *Микаилов Х. М., Халилов В. М., Алекберов И. А.* Эшеле-спектрометр фокуса Кассегрена 2-х метрового телескопа ШАО НАН Азербайджана // ShAR Sirkulyari.—2005.—**109**.—С. 21—29.
4. *Рустамов Д. Н.* Исследование спектральной переменности звезды типа Вольфа — Райе HD 192163 // Письма в Астрон. журн.—2010.—**109**.—С. 372—379.
5. *Castor J. I., van Blerkom D.* Excitation of He II in WR envelopes // *Astrophys. J.*—1970.—**161**.—P. 485—502.
6. *Chu Y. H., Treffers R. R., Kwitter K. B.* Galactic ring nebulae associated with Wolf-Rayet stars.VIII. Summary and atlas // *Astrophys. J. Suppl. Ser.*—1983.—**53**.—P. 937—944.
7. *Johnson H. M., Hogg D. E.* NGC 2359, NGC 6888 and Wolf-Rayet stars // *Astrophys. J.*—1965.—**142**.—P. 1033—1040.
8. *Kwitter K. B.* The chemical composition and origin of the Wolf-Rayet ring nebula NGC 6888 // *Astrophys. J.*—1981.—**245**, N 1.—P. 154—162.
9. *Treffers R. R., Chu Y. H.* Non-LTE spectral analyses of Wolf-Rayet stars: the nitrogen spectrum of the WN6 prototype HD 192163 (WR136) // *Astrophys. J.*—1982.—**254**, N 1.—P. 569—577.
10. *Whittet D. C. B., Somerville W. B., McNally D., Blades J. C.* The optical interstellar spectra of the Wolf-Rayet stars HD 192163 and HD 191765 // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*—1979.—**189**.—P. 519—525.

Статья поступила в редакцию 17.04.14