

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, AZ 1143, Азербайджан
e-mail: janmamed@yahoo.com

Исследование линий H и H в спектре звезды HD 206267

Приводятся результаты исследований линий H и H в спектре звезды HD 206267. Наблюдения были проведены в 2011—2014 гг. в кассегреновском фокусе 2-м телескопа Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси НАН Азербайджана с помощью эшелле-спектрометра. Впервые было выявлено движение дискретных абсорбционных компонентов (DAC) в ядре линии H , от красной стороны к фиолетовой. Впервые были выявлены: стабильная эмиссия в фиолетовом крыле линии H , изменение в противофазе лучевых скоростей и эквивалентных ширин линии H , независимость изменений эквивалентных ширин линии H от фазы орбитального периода. Спектральных признаков (например, сильных эмиссий), согласно которым эту звезду можно было бы считать источником рентгеновского излучения, не обнаружено.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНІЙ H І H У СПЕКТРІ ЗІРКИ HD 206267, Рустамов Д. Н., Абдулкеримова А. Ф. — Приводяться результати досліджень ліній H і H у спектрі зірки HD 206267. Спостереження було проведено в 2011—2014 рр. в кассегрєнівському фокусі 2-м телескопа Шамахинської астрофізичної обсерваторії ім. Н. Тусі НАН Азербайджану за допомогою ешелле-спектрометра. Вперше було виявлено рух дискретних абсорбційних компонентів (DAC) в ядрі лінії H , від червоного боку до фіолетового. Вперше було виявлено: стабільну емісію у фіолетовому крилі лінії H , зміни у протифазі променевих швидкостей та еквівалентних ширин лінії H , незалежність змін еквівалентних ширин лінії H від фази орбітального періоду. Спектральних ознак (наприклад, сильних емісій), згідно з якими цю зірку можна було б вважати джерелом рентгєнівського випромінювання, не виявлено.

INVESTIGATION OF THE LINES H AND H IN THE SPECTRUM OF STAR HD 206267, by Rustamov J. N., Abdulkerimova A. F. — The results of investigations of the H and H lines in the spectrum of the star HD 206267 are presented. Observations were carried out in 2011—2014 at the Cassegrain focus of the 2-m telescope of the N. Tusi Shamakhy Astrophysical Observatory of NAS of Azerbaijan by using an echelle spectrometer. The moving discrete absorption components in the core of line H from the red side to the violet, the stable emission in the violet wing of the line H, the antiphase variation of the radial velocities and equivalent widths of the line H, and the independence of the changes of the equivalent widths of the line H from the phase of the orbital period have been revealed for the first time. A spectral feature according to which this star can be considered as a source of X-ray radiation has not been found.

ВВЕДЕНИЕ

Спектральная двойная звезда HD 206267 (HR 8281, O6.5 V((f)) + O9 V, $V = 5.62^m$) является одной из звезд из нашей программы исследования массивных тесных двойных систем (МТДС), находящихся на различных стадиях эволюции. Согласно современным представлениям [3] эволюция МТДС происходит по следующему сценарию:

$$O_1 \quad O_2 \quad WR_1 \quad O_2 \quad C \quad O_2 \quad C \quad WR_2 \quad C \quad C.$$

Были выполнены несколько работ по спектральным и фотометрическим исследованиям МТДС, находящихся на стадии $C \quad WR_2$ [6, 7]. В данной работе приводятся результаты спектральных исследований спектрально-двойной ТДС системы HD 206267, находящейся на стадии $O_1 \quad O_2$. Звезда HD 206267 является членом кратной звездной системы типа трапеции — Трап 857 [8]. Системы типа трапеции весьма похожи на рассеянные скопления и отличаются от них лишь тем, что число членов в трапеции мало. Отметим, что трапеция Трап 857 является членом молодого (возраст около 3 млн лет) рассеянного звездного скопления Trumpler 37. Это скопление, в свою очередь, входит в ассоциацию Сер OB2.

Звезда HD 206267 является ярким компонентом А ($V = 5.6^m$) трапеции Трап 857, и в литературе часто обозначается как HD 206267А. Остальные три компонента этой трапеции более слабы: В ($V = 13.6^m$, спектральный класс неизвестен), С ($V = 8.1^m$, В1 V), D ($V = 8.0^m$, В2 IV). Компоненты В, С и D находятся на расстояниях 1.6, 11.7 и 19.9 от компонента А соответственно. Компонент А известен как спектрально-двойная система и в целом классифицируется как O6.5 V. Согласно результатам спектральных исследований в оптическом и УФ-диапазонах компонент А состоит из трех звезд: А1 (O5 V), А2 (более ранний, чем В1 или O9) и А3 (O7 V или O8 V) [21]. Звезды А1 и А2 образуют спектрально-двойную систему с периодом 3.709784^d . Однако гравита-

ционная связь третьей звезды A3 со звездами A1 и A2 пока окончательно не установлена [21]. В связи с обнаружением рентгеновского излучения Сер X-4 (GS 2138+56) из окрестности этой звезды в 1972 г. [22] интерес к ней сильно возрос. Звезда HD 206267 находилась на расстоянии всего на 5 от «окна ошибки». Спектральный тип этой звезды и ее двойственность позволяют заподозрить ее как источник рентгеновского излучения.

Спектральные исследования звезды проводились в работах [2, 9, 13]. Основной целью этих работ был поиск признаков, по которым можно было бы отождествить эту звезду с рентгеновским источником Сер X-4, например возможных сильных эмиссионных линий как признака интенсивной потери массы. Однако в этих работах в области длин волн $\lambda = 375...668$ нм никаких эмиссионных линий не было обнаружено. Также не были найдены признаки быстрого переноса массы или других эффектов, которые могли бы возбудить рентгеновское излучение. В результате всестороннего исследования спектра звезды HD 206267 в области $\lambda = 365...495$ нм [2] был сделан вывод, что вокруг главного компонента есть протяженная оболочка с неравномерной плотностью, а лучевая скорость главного компонента изменяется в пределах ± 80 км/с.

Другой отличительной особенностью этой звезды является высокий темп потери ее массы. Согласно [18] звезда HD 206267 отличается большой скоростью звездного ветра. Для O-звезд раннего подтипа скорость ветра заключена в пределах 1000...3000 км/с [18]. В частности, для звезд класса O6-O7 скорость ветра составляет 1425...2420 км/с. Однако для звезды HD 206267 скорость ветра равна 3225 км/с, т. е. терминальная скорость ветра является максимальной среди 181 исследованных O-звезд [18]. Отметим, что к настоящему времени не найдено убедительных признаков в пользу отождествления звезды HD 206267 с рентгеновским источником Сер X-4, и этот вопрос на сегодняшний день остается открытым.

По результатам исследования УФ-спектра в работах [10, 12] получены оценки масс главного и вторичного компонентов этой звезды:

$$m_1 \sin^3 i_1 = (28 \pm 1.8) M_{\odot}$$

и

$$m_2 \sin^3 i_2 = (15.3 \pm 1.5) M_{\odot}.$$

Согласно работе [10] значение i может составлять $55^{\circ}...65^{\circ}$. С помощью метода доплеровской томографии определены спектральные типы компонентов, построены эволюционные треки [17].

В табл. 1 приведены некоторые физические параметры звезды HD 206267.

В работе [24] проводилось исследование динамики звездного ветра звезды HD 206267 с использованием рентгеновского спектра, в результате которого никаких признаков столкновения ветров не было обнаружено.

Таблица 1. Физические параметры звезды HD 206267 [9, 23]

Параметр	Значение
Спектры компонентов	O 6 V((f)) и O9V
Расстояние	0.75 кпк
Массы компонентов	$m_1 \sin^3$ (28 1.8) M_{\odot}
	$m_2 \sin^3$ (15.3 1.5) M_{\odot}
Полуоси орбит	$a_1 \sin$ 7.6 R_{\odot}
	$a_2 \sin$ 22 R_{\odot}
Темп потери массы	$0.63 \cdot 10^{-6} M_{\odot} \text{ год}^{-1}$
V	3225 км/с

Спектральные наблюдения звезды HD 206267 в красной области спектра проведены лишь эпизодически: получены несколько спектрограмм с целью поиска эмиссии в линии H γ . Результаты оказались отрицательными.

Основной целью данной работы является исследование характера переменности спектральных линий H γ и H δ , а также выявление возможных эмиссий.

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА СПЕКТРОГРАММ

Спектральные наблюдения звезды HD 206267 были проведены в 2011—2014 гг. в касегреновском фокусе 2-м телескопа фирмы Карл Цейс Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси НАН Азербайджана. При наблюдениях использовался эшелле-спектрометр с ПЗС-матрицей 530 × 580 пкп в спектральном диапазоне $\lambda = 400 \dots 700$ нм при спектральном разрешении $R = 13600$ и отношении сигнала к шуму порядка 100. (Используемая аппаратура подробно описана в работе [4]). Время экспозиции составляло 15 мин. Всего было получено 50 эшелле-спектрограмм звезды по две спектрограммы в каждую ночь. Спектрограммы были получены и обработаны с использованием пакетов программ DECH20 и DECH20T, разработанных в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук [1]. С помощью усреднения двух эшелле-спектрограмм, полученных одна за другой в течение каждой ночи, были удалены следы космических лучей.

Помимо спектров исследуемой звезды, наблюдались спектры дневного излучения, спектры плоского поля и спектры сравнения. Нахождение теллурических линий ($\lambda = 654.7693, 654.8622, 655.2627$ нм) в первом порядке позволило определить лучевую скорость линии H γ с высокой точностью, так как эта линия также находится в первом порядке. Были отождествлены следующие абсорбционные линии: H γ , H δ ,

H, He II 541.1 нм, He I 587.5 нм, дублет Na I (588.9953 и 589.5923 нм). Линии дублета Na I достаточно симметричны, что свидетельствует об их межзвездном происхождении. Когда в формировании этих линий имеется вклад звезды, наблюдается их асимметрия [5].

Для спектральных линий H и H были определены эквивалентные ширины и лучевые скорости (см. табл. 2), построены кривые лучевых скоростей. Лучевые скорости линий H и H были определены совмещением прямых и зеркальных изображений на уровне половинной интенсивности. Лабораторные длины волн этих линий принимались равными $\lambda = 656.2816$ нм и $\lambda = 486.1337$ нм соответственно. В первой и второй графах табл. 2 приведены юлианские даты наблюдения (середина экспозиции) и фазы орбитального периода $P = 3.709784^d$. При вычислении фазы начальной считалась эпоха $JD_0 = 2441818.64$, как в работе [9]. В программе DECH20 имеются три возможности определения эквивалентных ширин: прямое интегрирование, построение профиля ручным образом, использованием метода Гаусса. Мы применяли метод прямого интегрирования для определения эквивалентных ширин.

Таблица 2. Измеренные нами лучевые скорости и эквивалентные ширины линий H и H в спектре звезды HD 206267

JD2450000+...		H		H	
		V_r , км/с	W , нм	V_r , км/с	W , нм
5745.388	0.06	-66.12	0.200	-42.99	0.155
5749.379	0.14	-42.15	0.229	-13.42	0.157
5757.342	0.28	19.63	0.180	59.96	0.128
5762.360	0.63	-65.99	0.226	-49.62	0.171
5764.319	0.16	-49.31	0.195	-21.56	0.145
5764.340	0.17	-41.47	0.209	-34.16	0.150
5764.366	0.17	-46.85	0.194	-23.53	0.131
5768.409	0.26	9.89	0.176	22.91	0.143
5769.416	0.54	-29.11	0.230	10.82	0.129
5771.341	0.06	-62.53	0.222	-42.99	0.131
5771.364	0.06	-65.39	0.199	-50.49	0.121
5807.228	0.73	-95.02	0.207	-88.28	0.126
5807.251	0.74	-97.23	0.210	-74.90	0.115
5807.262	0.74	-91.72	0.221	-75.67	0.129
6850.318	0.90	-116.48	0.176	-113.86	0.139
6855.154	0.21	-10.04	0.185	16.44	0.160
6874.157	0.33	54.64	0.187	65.01	0.161
6874.179	0.33	51.26	0.180	69.08	0.141
6874.201	0.34	58.18	0.188	58.92	0.150
6875.167	0.60	-70.95	0.242	42.35	0.16
6876.185	0.87	-121.93	0.196	-128.66	0.142
6877.165	0.14	-28.76	0.225	-27.16	0.168
6878.192	0.41	51.36	0.186	55.43	0.153
6891.130	0.90	-109.09	0.195	-102.64	0.129
6892.152	0.18	-43.32	0.216	18.11	0.150
6893.162	0.45	29.75	0.210	64.07	0.164

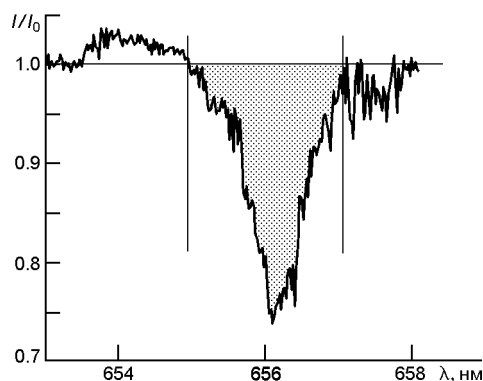


Рис. 1. Определение эквивалентной ширины линии Н методом интегрирования. Вертикальными линиями показаны границы интегрирования

На рис. 1 показано определение эквивалентной ширины линии Н методом интегрирования. Двумя вертикальными линиями указаны границы интегрирования. Как видно, эквивалентная ширина линии Н определена без учета стабильной эмиссии, наблюдаемой в фиолетовом крыле этой линии.

ОБСУЖДЕНИЕ

Переменность профилей спектральных линий. Переменность спектральных линий в спектре звезды HD 206267 впервые была исследована в работе [20]. Было установлено, что звезда является спектрально-двойной с одиночными линиями, с периодом около 3.7 сут. Линий вторичного компонента тогда выявлено не было. В работе [9] была обнаружена слабая эмиссия в линии N III 463.4...464.1 нм, которая обнаруживается во всех фазах периода, и слабая эмиссия в красном крыле линии He II 468.6 нм в момент удаления главной звезды, т. е. при фазах $\phi = 0.95...0.20$ орбитального периода $P = 3.709784^d$ ($T_0 = 2441818.64$). Эти эмиссии могут образоваться в оболочке, окружающей главный компонент. Наблюдаемый спектр звезды HD 206267 достаточно хорошо соответствует спектрам ранних O-звезд, находящихся вблизи главной последовательности.

Согласно результатам нашего исследования профили линий Н и Н в разные даты различаются. Крылья линий Н и Н оказались асимметричными. С целью выявления кратковременных спектральных переменностей этих линий было получено 10 эшеле-спектрограмм исследуемой звезды (по пять в течение двух ночей) для момента, когда главный компонент удаляется от наблюдателя, при фазах $\phi = 0.002...0.173$ орбитального периода $P = 3.709784^d$. Оказалось, что профиль линии Н в течение обеих ночей оставался неизменным. Профиль линии Н, полученный в первую ночь, также не изменялся, однако во вторую ночь он обнаружил значительную переменность (рис. 2): в ядре линии появлялись и двигались дискретные абсорбционные компоненты (discrete absorption components — DACs). Дискретный абсор-

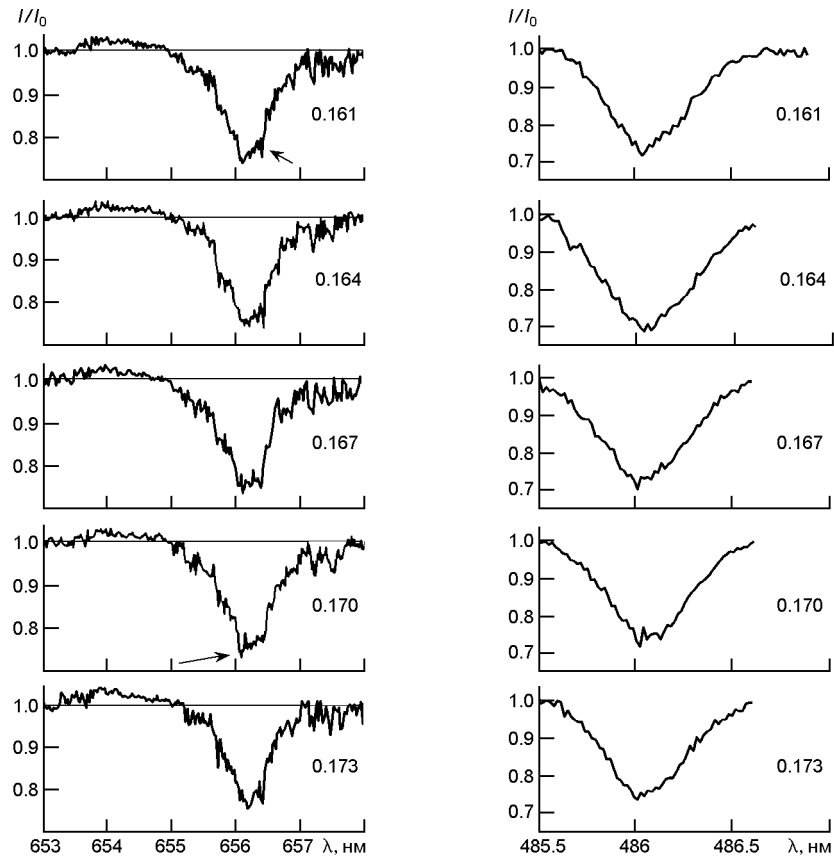


Рис. 2. Профили линий H α , полученные в течение одной ночи. Для каждого профиля указано значение фазы орбитального периода. Стрелками указаны дискретные абсорбционные компоненты

Рис. 3. Профили линий H α , полученные в ту же ночь

абсорбционный компонент появился в красной стороне ядра линии H α (отмечен стрелкой при фазе $\phi = 0.161$ на рис. 2), и в течение примерно 1.5 ч он переместился в фиолетовую сторону (отмечен стрелкой при фазе $\phi = 0.170$ на рис. 2). Проверка не обнаружила в этом участке длин волн никаких теллурических линий. Этот наблюдательный факт является свидетельством в пользу реальности обнаруженных нами линий DACs.

На рис. 3 показаны профили линии H α , полученные в ту же ночь, когда были обнаружены линии ДАК в ядре линии H α . Как видно, значительной переменности профилей линий H α нет.

Линии DACs в большинстве случаев наблюдаются в УФ-спектрах некоторых горячих звезд [16, 19]. Отметим, что линии DACs являются довольно узкими, и в спектрах с низким спектральным разрешением могут быть не обнаружены. Линии DACs иногда наблюдаются в линиях с низкими и средними потенциалами ионизации в оптической [17] и

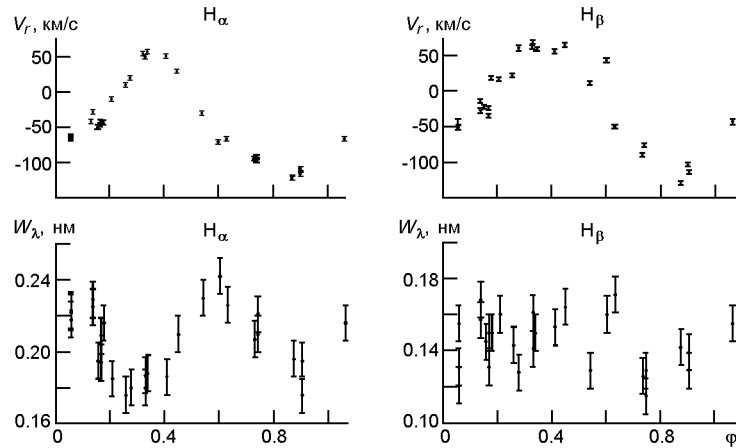


Рис. 4. Кривые лучевых скоростей и зависимость эквивалентных ширин линий H_α и H_β от фазы орбитального периода

УФ-области спектра. Эти линии обычно наблюдаются в линиях бальмеровской серии водорода с большими номерами ($9 < n < 15$) [14]. Об обнаружении DACs в линии H_β впервые было сообщено в работе [15], а в работе [23] DACs были обнаружены в линии H_α для звезды HD 92207.

Согласно современным теоретическим представлениям появление линий DACs в спектре звезды может быть объяснено образованием и движением так называемых CIR (co rotating interacting regions) в оболочке, окружающей главную звезду.

Впервые были обнаружены следующие особенности спектра звезды HD 206267:

- 1) стабильная эмиссия в фиолетовом крыле линии H_α ;
- 2) появление и движение линий DAC в ядре линии H_α .

Заметных изменений в профилях линии H_α не было обнаружено.

Кривые лучевых скоростей. На рис. 4 приведены зависимости от фазы орбитального периода лучевых скоростей, полученных нами по линиям H_α и H_β (см. табл. 2) и фазовые зависимости эквивалентных ширин этих линий. Начальной эпохой приняли $JD_0 = 2441818.64$, как в работе [9]. Сравнение наших кривых лучевых скоростей с кривыми, построенными в работе [2], показало, что амплитуды кривых лучевых скоростей, построенные по различным линиям, различаются. Это может быть проявлением того факта, что разные линии образуются в разных областях оболочки, окружающей главную звезду.

Согласно [2] лучевая скорость главного компонента изменяется в пределах ± 80 км/с по линии He II. Лучевая скорость вторичного компонента изменяется в пределах ± 120 км/с, и линии вторичного компонента видны в линии He II. Из рис. 4 видно, что лучевая скорость и эквивалентная ширина линии H_α изменяются в противофазе, а эквивалентная ширина линии H_β не зависит от фазы орбитального периода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из спектральных исследований спектрально-двойной звезды HD 206267 впервые обнаружены следующие особенности спектра:

- 1) стабильная эмиссия в фиолетовом крыле линии H I ;
- 2) появление и движение линий DAC в ядре линии H I ;
- 3) изменение в противофазе лучевых скоростей и эквивалентных ширин линии H I ;

4) независимость изменений эквивалентных ширин линии H I от фазы орбитального периода $P = 3.709784$ сут.

5) не найдено никаких спектральных признаков (например, сильной эмиссии в линии H I), которые бы указывали на эту звезду как на источник рентгеновского излучения.

Все эти перечисленные особенности могут быть объяснены наличием иррегулярной плотной оболочки вокруг главного компонента. Появлению и движению линий DACs в ядре линии H I может способствовать плотный и движущийся наружу так называемый спиралевидный со-rotating interacting regions (CIR) в оболочке, окружающей главную звезду.

Выражаю благодарность рецензенту за полезные замечания.

1. *Галазутдинов Г. А.* Система обработки звездных эшеле-спектров. I. Обработка изображений. II. Обработка спектров. — Нижний Архыз, 1992.—52 с.— (Препринт / РАН. Спец. астрофиз. обсерватория, № 92).
2. *Галкина Т. С.* Спектральные наблюдения HD 206267, отождествляемой с рентгеновским источником Сер X-4 // Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.—1981.—**63**.—С. 86—92.
3. *Масевич А. Г., Тутуков А. В.* Эволюция звезд, теория и наблюдения. — М.: Наука, 1988.—224 с.
4. *Микашлов Х. М., Халилов В. М., Алекберов И. А.* Эшеле-спектрофотометр фокуса Кассегрена 2-х метрового телескопа ШАО НАН Азербайджана // Циркуляр Шемахин. астрофиз. обсерватории НАН Азербайджана.—2005.—**109**.—С. 21—30.
5. *Рустамов Д. Н., Абдулкеримова А. Ф.* Асимметрия межзвездных линий Na I 589.0 и 589.6 нм в спектре звезды HD 192163 типа Вольфа — Райе // Кинематика и физика небес. тел.—2015.—**31**.—С. 73—80.
6. *Рустамов Д. Н., Черпацук А. М.* Звезда WR HD 192163 как возможный эволюционный предшественник маломассивной рентгеновской двойной систем // Астрон. журн.—2011.—**88**, № 4.—С. 380—392.
7. *Рустамов Д. Н., Черпацук А. М.* Спектральные и фотометрические исследования звезд типа Вольфа-Райе WR 134 = HD 191765 // Астрон. журн.—2012.—**89**, № 10.—С. 843—856.
8. *Abt H. A.* The ages and dimensions of Trapezium systems // *Astrophys. J.*—1986.—**304**.—P. 688—694.
9. *Crampton D., Redman R. O. D.* Binary O star HR 8281 // *Astron. J.*—1975.—**80**.—P. 454—457.
10. *Doppler tomography of massive compact binary stars in multiple star systems // Bull. Amer. Astron. Soc.*—2001.—**33**.—P. 1532.

11. *Harvin J. A.* Doppler tomography of the massive compact binary stars in the multiple star systems delta Orionis and HD 206267 // *Publs Astron. Soc. Pacif.*—2004.—**116**.—P. 186—186.
12. *Harvin J. A., Gies D. R., Penny L. R.* The components of the HD 206267 a triple star system // *Bull. Amer. Astron. Soc.*—2003.—**35**.—P. 1223.
13. *Hensberge G., Hammerschlag R. H.* HD 206267, a candidate star for the transient X-ray source Cepheus X-4? // *Astron. and Astrophys.*—1975.—**39**.—P. 157—158.
14. *Kaper L., Henrichs H. F., Nichols J. S., Telting J. H.* Long- and short-term variability in O-star winds. II. Quantitative analysis of DAC behavior // *Astron. and Astrophys.*—1999.—**344**.—P. 231—262.
15. *Kaufner A., Stahl O., Wolf B., Gang Th., Gummersbach C. A., Kovacs J., Mandel H., Szeifert Th.* Long-term spectroscopic monitoring of BA-type supergiants. I. H line-profile variability // *Astron. and Astrophys.*—1996.—**305**.—P. 887—901.
16. *Lobel A., Blomme R.* Modeling ultraviolet wind line variability in massive hot stars // *Astrophys. J.*—2008.—**678**, N 1.—P. 408—430.
17. *Markova N.* New aspects of line-profile variability in P Cygni's optical spectrum // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—2000.—**144**.—P. 391—404.
18. *Prinja R. K., Barlow M. J., Howarth I. D.* Terminal velocities for a large sample of O stars, B supergiants, and Wolf-Rayet stars // *Astrophys. J.*—1990.—**361**.—P. 607—620.
19. *Puls J. T., Vink J. S., Najarro F.* Mass loss from hot massive stars // *Astron. and Astrophys. Rev.*—2008.—**16**.—P. 209—325.
20. *Rufus W. C.* The variable radial velocity of the star, BD+56[degrees]2617(A) // *Publ. Observ. Univ. Michigan.*—1937.—**6**.—P. 45—47.
21. *Stickland D. J.* Spectroscopic binary orbits from ultraviolet radial velocities // *Observatory.*—1995.—**115**.—P. 180—185.
22. *Ulmer M. P., Baity W. A., Wheaton W. A., Peterson L. E.* New transient source, Cepheus X-4, observed by OSO-7 // *Astrophys. J.*—1973.—**184**.—P. L117—L120.
23. *Waldron W. L., Cassinelli J. P.* An extensive collection of stellar wind X-Ray source region emission line parameters, temperatures, velocities, and their radial distributions as obtained from CHANDRA observations of 17 OB stars // *Astrophys. J.*—2007.—**668**.—P. 456—480.
24. *Wojdowski P. S., Schulz N. S., Ishibashi K., Huenemoerder D. P.* The hot star triplet HD 206267A // *High resolution X ray spectroscopy with XMM-Newton and Chandra, MSSL, 24—25 October.*—2002.—P. 1—4.

Статья поступила в редакцию 10.10.16