

УДК 524.3-13+524.3-355

Я. М. Магеррамов

Шамахинская астрофизическая обсерватория им. Н. Туси НАН Азербайджана
пос. Ю. Мамедалиева, Шамахинский район, Азербайджан

О переменности профилей линий H и H в спектрах звезды 55 Cyg

Исследуется переменность профилей линий H и H в спектре 55 Cyg по наблюдениям 2010 г. в кассегреневском фокусе 2-м телескопа ШАО НАН Азербайджана. Спектральное разрешение составило примерно 15000. Обнаружено, что в некоторые дни эмиссионные и абсорбционные компоненты профиля H исчезают, а на одной из полученных спектрограмм у линии H наблюдается инверсный P-Cyg-профиль. Предполагается, что полученные наблюдательные факты нестационарности атмосферы звезды 55 Cyg частично могут быть связаны с несферичностью звездного ветра.

ПРО ЗМІННІСТЬ ПРОФІЛІВ ЛІНІЙ H ТА H У СПЕКТРАХ ЗІРКИ 55 CYG, Магеррамов Я. М. — Досліджується змінність профілів ліній H і H у спектрі 55 Cyg за спостереженнями 2010 р. в кассегренівському фокусі 2-м телескопа ШАО НАН Азербайджану. Спектральне розділення складо приблизно 15000. Виявлено, що у деякі дні емісійні і абсорбційні компоненти профіля H зникають, а на одній із отриманих спектрограм для лінії H спостерігається інверсний P-Cyg-профіль. Вважається, що отримані спостережні факти нестационарності атмосфери зірки 55 Cyg частково можуть бути пов'язаними з несферичністю зоряного вітру.

H AND H PROFILE VARIATIONS IN SPECTRA OF THE 55 CYG STAR, by Maharramov Y. M. — Profile variations for the H and H lines in spectra of the 55 Cyg star are investigated using some observations in the Cassegrain focus of the 2-m telescope of the ShAO (Azerbaijan, NAS) which were obtained in 2010 with a spectral resolution of about 15000. It is found that emission and absorption components of the H profile are absent for some observational days and the inverse P Cyg profile is present for one observation. We suppose that the obtained observational facts of the 55 Cyg

atmosphere nonstationarity can be partially connected with the stellar wind nonsphericity.

ВВЕДЕНИЕ

Исследование горячих сверхгигантов, являющихся звездами наибольшей светимости, представляет огромный интерес с точки зрения звездной и химической эволюции Галактик. Практически у всех ранних сверхгигантов наблюдается спектральная и фотометрическая переменность. Из-за переменного звездного ветра и темпа потери вещества в спектрах горячих сверхгигантов наблюдаются вариации интенсивности, лучевых скоростей и профилей типа P Cyg линий водорода, гелия и ионов с высокой степенью ионизации (C II, C III, C IV, Si IV, N IV, N V и т. д.). Значительный темп потери массы свойствен звездам наибольшей светимости. Например, для горячего сверхгиганта 55 Cyg, исследуемого в данной работе, темп потери массы составляет $0.6 \cdot 10^{-6}$ M/год [8]. В оптической области спектра особенно чувствительным индикатором темпа истечения вещества является эмиссионная линия H α . В спектрах сверхгигантов спектральных классов O и B линия H α имеет четкие профили типа P Cyg.

Исследуемая здесь звезда 55 Cyg (HD 198478) принадлежит к числу горячих сверхгигантов (B3Ia) и характеризуется следующими параметрами [7, 10, 11, 13]:

$$m_v = 4.9, \quad T_{\text{эф}} = 17500 \text{ К}, \quad M/M_{\odot} = 13,$$

$$R_*/R_{\odot} = 49, \quad \sin i = 61 \text{ км/с.}$$

Основной характерной особенностью звезды 55 Cyg является значительная изменчивость спектра. А. Б. Андерхилл [15] на основе спектральных наблюдений звезды обнаружила широкомасштабные нерегулярные движения, происходящие в ее атмосфере. Исследуя спектры, полученные в 1937—1959 г. с посредственным качеством, она установила факт быстрой изменчивости профилей линии H α в спектре звезды 55 Cyg.

В работе Гранес [12] на основе спектральных наблюдений в течение 15 последовательных ночей отмечено, что профиль линии H α имеет переменную форму. По кривым зависимости лучевых скоростей линий водорода от времени было установлено наличие повторных движений атмосферы внутри оболочки звезды. Автор пришел к заключению, что в атмосфере звезды при наличии 15-сут циклов изменчивости наблюдаются 4-5-суточные периодически повторяющиеся изменения.

Таким образом, интерес к наблюдениям звезды 55 Cyg связан с тем, что изменения в ее атмосфере очень быстрые, а также с тем, что несмотря на нестационарность атмосферы этой звезды там наблюдаются повторяющиеся события.

Основной целью настоящей работы является изучение наблюдаемых особенностей профиля линии $H\beta$ и $H\gamma$ в спектре звезды 55 Cyg.

НАБЛЮДЕНИЯ И ИХ ОБРАБОТКА

Спектральные наблюдения сверхгиганта 55 Cyg в 2010 г. проводились в спектральном диапазоне 470—670 нм с помощью эшелле-спектрометра, установленного в касегреновском фокусе 2-м телескопа Шамахинской астрофизической обсерватории им. Н. Туси НАН Азербайджана. Использовался ПЗС-приемник 530–580 пкл [3]; спектральное разрешение составляло $R = 15000$. Обработка эшелле-спектров проводилась по стандартной методике с помощью пакета программ DECH20 и DECH20t [1].

В каждую наблюдательную ночь было получено по 2—4 спектра исследуемой звезды. Отношение сигнала к шуму равнялось $S/N = 200$, средняя экспозиция — 600...900 с, в зависимости от качества изображения.

С целью изучения стабильности аппаратуры и комплекса телескоп — приемник было получено множество спектров стандартных звезд, дневного и темневого фона, плоского поля и спектра сравнения.

Ошибка измерения эквивалентных ширин W составляла не больше 5 %. Ошибка измерения лучевой скорости V_r составляет ± 2 км/с.

Многочисленные спектральные наблюдения показывают, что в спектрах звезды 55 Cyg наибольшая переменность отмечается в интенсивностях и профилях линий $H\beta$. Таким образом, профиль линии $H\beta$ наблюдается в следующих видах [2, 7, 12, 15]: а) линия $H\beta$ находится в поглощении, б) линия $H\beta$ показывает P-Cyg-профиль, в) линия $H\beta$ находится в эмиссии, г) линия $H\beta$ показывает трехкомпонентную структуру: состоит из двух эмиссионных и одного компонента поглощения, или наоборот, из одного эмиссионного и двух компонентов поглощения.

На рис. 1 показаны фрагменты полученных спектров включающие область $H\beta$. Как видно, в спектрах 27—30 июня линия $H\beta$ имеет обыкновенный профиль типа P Cyg. При этом спектральные параметры (W , λ_{rest} , λ_{obs} , r) и лучевые скорости абсорбционного и эмиссионного компонента $H\beta$, а также линии других элементов со временем изменяются (табл. 1). Наибольшие вариации показывает эмиссионный компонент в профиле $H\beta$, что свидетельствует об изменении физических условий в расширяющейся оболочке звезды.

Более интересные спектры получены 2, 3 и 4 июля 2010 г. (рис. 1 и 2). Видно, что в этих спектрах отсутствует только линия $H\beta$, а на ее месте ($\lambda = 656.2816$ нм) кроме слабых атмосферных линий и шумов никакие спектральные детали не наблюдаются. В то же время в порядке, где расположена линия $H\beta$ в области 640—660 нм, наблюдаются две заметные углеродные линии C II ($\lambda = 657.8, 658.3$ нм), неко-

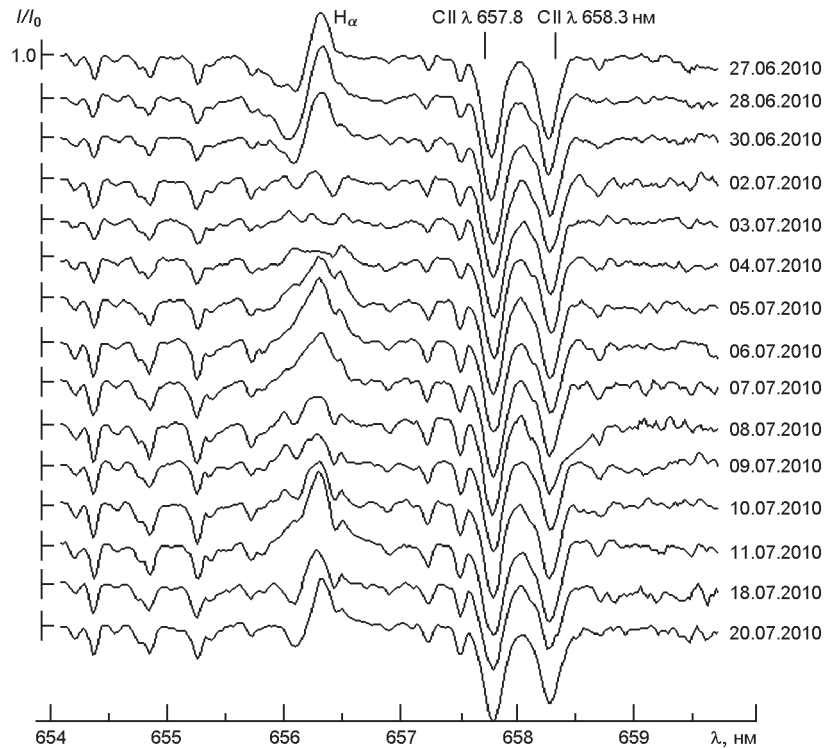


Рис. 1. Спектрограммы области линии H α звезды 55 Cyg, полученные в 2010 г.

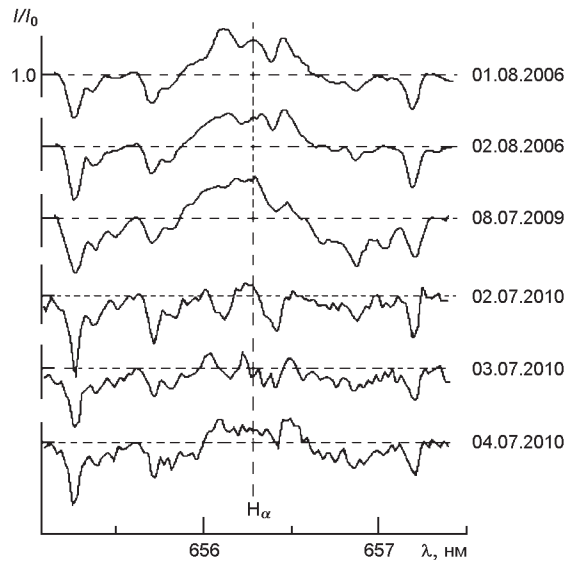


Рис. 2. Профили линии H α звезды 55 Cyg в разные даты

торые слабые звездные и атмосферные линии (654.231, 654.391, 655.263 нм и др.).

Интересно, что в этих же спектрах кроме H α наблюдаются все остальные линии, в том числе и H β , которые являются характерными для горячих сверхгигантов типа 55 Cyg.

С 5 по 6 июля 2010 г. эмиссионный компонент усиливается и полностью заливает абсорбцию. Поэтому в этих датах абсорбционный

Таблица 1. Результаты измерений спектральных параметров линии Н

Дата, 2010 г.	$V_r(\text{abs}),$ км/с	$V_r(\text{em}),$ км/с	r (abs)	r (em)	$^{1/2}$ (abs), нм	$^{1/2}$ (em), нм	(abs), нм	(em), нм	W (abs), нм	W (em), нм
25.05	-99	38	0.88	1.16	0.23	0.23	0.58	0.48	0.030	0.036
08.06	-64	36	0.93	1.16	0.07	0.20	0.19	0.45	0.006	0.032
12.06	-73	15	0.92	1.08	0.11	0.13	0.31	0.22	0.011	0.011
14.06	-56	59	0.89	1.06	0.14	0.24	0.27	0.44	0.017	0.013
26.06	-99	24	0.91	1.05	0.24	0.12	0.63	0.16	0.026	0.005
27.06	-133	24	0.91	1.10	0.31	0.16	0.60	0.31	0.031	0.016
28.06	-112	27	0.89	1.12	0.25	0.16	0.56	0.38	0.033	0.022
30.06	-97	23	0.93	1.11	0.19	0.18	0.55	0.41	0.017	0.022
02.07	?	?	1.00	1.00	?	?	?	?	?	?
03.07	?	?	1.00	1.00	?	?	?	?	?	?
04.07	?	?	1.00	1.02	?	?	?	?	?	?
05.07	—	13	—	1.10	—	0.37	—	0.63	—	0.032
06.07	—	23	—	1.15	—	0.32	—	0.70	—	0.046
07.07	—	5	—	1.11	—	0.32	—	0.61	—	0.034
08.07	—	2	—	1.06	—	0.35	—	0.60	—	0.012
09.07	—	3	—	1.06	—	0.48	—	0.64	—	0.018
10.07	—	6	—	1.10	—	0.37	—	0.63	—	0.023
11.07	—	6	—	1.20	—	0.28	—	0.84	—	0.048
18.07	-90	6	0.95	1.08	0.15	0.22	0.26	0.40	0.007	0.014
19.07	-84	21	0.93	1.09	0.14	0.25	0.25	0.46	0.010	0.017
20.07	-82	26	0.94	1.11	0.14	0.18	0.27	0.51	0.008	0.020
21.07	-162	18	0.94	1.10	0.46	0.14	0.57	0.39	0.020	0.017
24.07	-112	42	0.91	1.05	0.16	0.26	0.57	0.42	0.014	0.009
25.07	-100	38	0.94	1.08	0.16	0.23	0.28	0.40	0.010	0.016
28.07	—	7	—	1.12	—	0.16	—	0.31	—	0.020
30.07	-201	3	0.98	1.11	0.34	0.18	0.43	0.37	0.007	0.021
31.07	-189	4	0.96	1.13	0.36	0.18	0.45	0.34	0.011	0.023
02.08	-132	-10	0.93	1.07	0.20	0.25	0.55	0.45	0.019	0.014
04.08	-116	30	0.92	1.11	0.23	0.20	0.57	0.61	0.024	0.024
06.08	-113	12	0.91	1.05	0.22	0.19	0.57	0.42	0.028	0.007
16.08	-97	28	0.92	1.15	0.19	0.18	0.57	0.42	0.022	0.031
01.09	-101	52	0.89	1.12	0.30	0.23	0.64	0.40	0.037	0.026
02.09	-85	86	0.88	1.06	0.27	0.23	0.65	0.32	0.040	0.013
07.09	-108	40	0.96	1.11	0.23	0.26	0.58	0.58	0.015	0.027
21.09	-91	65	0.95	1.10	0.29	0.19	0.67	0.38	0.017	0.018
10.10	+114	-53	0.94	1.07	0.24	0.21	0.42	0.36	0.014	0.014
12.10	-156	10	0.97	1.16	0.22	0.24	0.30	0.42	0.007	0.037
16.10	—	5	—	1.18	—	0.36	—	0.70	—	0.059
13.11	-106	10	0.96	1.08	0.18	0.15	0.54	0.37	0.009	0.013
15.11	-147	-2	0.97	1.07	0.16	0.15	0.47	0.38	0.006	0.012
28.11	-140	-12	0.96	1.14	0.17	0.23	0.47	0.49	0.009	0.034
25.12	-135	23	0.91	1.10	0.22	0.29	0.55	0.55	0.024	0.029

компонент в профили Н не наблюдается. В последующие даты (8 и 9 июля) изложенная картина повторяется.

Для выяснения причины исчезновения профиля линии Н в спектрах, полученных до и после 2, 3 и 4 июля 2010 г., были обработаны

Таблица 2. Результаты измерений спектральных параметров линии H α

Дата, 2010 г.	V_r , км/с	r	$\lambda_{1/2}$, нм	λ , нм	W , нм
25.05	-35	0.67	0.32	1.18	0.123
08.06	-27	0.71	0.30	1.23	0.108
12.06	-24	0.68	0.33	1.05	0.120
14.06	-21	0.65	0.28	1.18	0.122
26.06	-15	0.68	0.36	1.17	0.123
27.06	-24	0.69	0.35	1.10	0.123
28.06	-39	0.68	0.30	1.15	0.125
30.06	-22	0.67	0.30	1.14	0.127
02.07	-15	0.66	0.31	1.18	0.131
03.07	-13	0.66	0.31	1.18	0.131
04.07	-14	0.70	0.31	1.26	0.117
05.07	-20	0.73	0.30	1.30	0.104
06.07	-23	0.75	0.36	1.14	0.103
07.07	-20	0.73	0.33	1.13	0.110
08.07	-16	0.71	0.31	1.19	0.117
09.07	-17	0.70	0.34	1.19	0.118
10.07	-23	0.72	0.31	1.15	0.106
11.07	-29	0.75	0.37	1.13	0.104
18.07	-29	0.69	0.34	1.12	0.122
19.07	-26	0.65	0.30	1.15	0.128
20.07	-25	0.67	0.35	1.15	0.127
21.07	-27	0.70	0.36	1.10	0.120
24.07	-30	0.69	0.34	1.18	0.127
25.07	-28	0.69	0.32	1.16	0.118
28.07	-1	0.70	0.36	1.12	0.127
30.07	-9	0.72	0.37	1.16	0.119
31.07	-12	0.72	0.36	1.12	0.116
02.08	-12	0.71	0.37	1.25	0.121
04.08	-13	0.72	0.33	1.19	0.110
06.08	-15	0.70	0.35	1.21	0.118
16.08	-28	0.74	0.32	1.14	0.098
01.09	-24	0.68	0.30	1.19	0.119
02.09	-23	0.67	0.30	1.17	0.123
07.09	-16	0.73	0.30	1.01	0.093
21.09	-21	0.72	0.29	1.06	0.093
10.10	+11	0.73	0.43	1.25	0.119
12.10	+6	0.80	0.41	1.05	0.091
16.10	-17	0.78	0.31	1.14	0.084
13.11	-8	0.72	0.34	1.15	0.110
15.11	-13	0.72	0.32	1.08	0.105
28.11	-15	0.77	0.40	1.17	0.099
25.12	-37	0.74	0.32	1.10	0.095

линии H α и других элементов (He I, Na I, C II, N II, Si II, Fe II и т. д.). Были измерены спектральные параметры W , λ , $\lambda_{1/2}$, r и лучевые скорости V_r неблендированных линий (табл. 1, 2). Получено, что спектральные параметры и профили линий, особенно для линии H α , существенно изменяются. В качестве примера на рис. 4 представлены

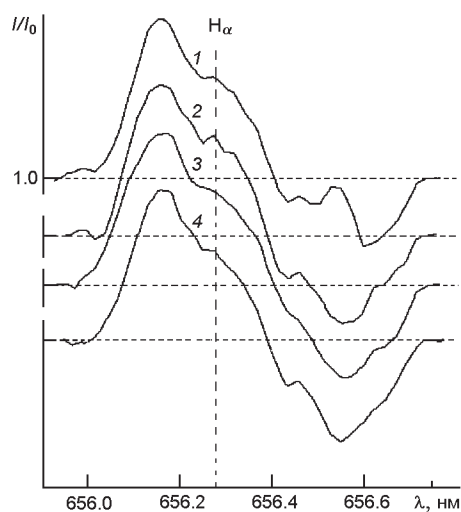


Рис. 3. Инверсный P-Cyg-профиль линии H в спектре звезды 55 Cyg

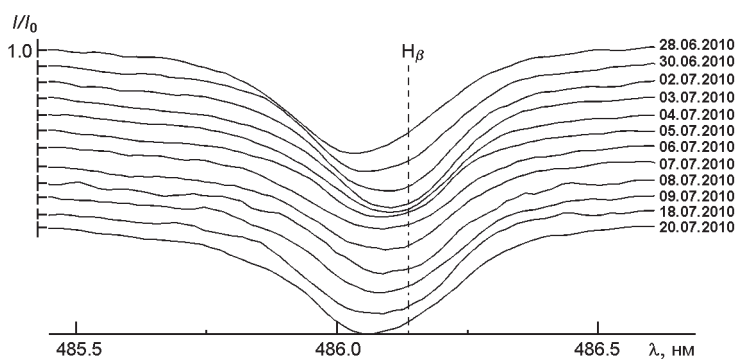


Рис. 4. Профили линии H звезды 55 Cyg, полученные в 2010 г.

профили линии H, полученные в 2010 г. Как видно из табл. 2, во время исчезновения профиля линии H эквивалентная ширина линии H увеличивается. С другой стороны, как видно из табл. 2 и рис. 4, когда отсутствует профиль линии H, наблюдается смещение линии H в красную область. Интересно, что во всех спектрах 55 Cyg, полученных в 2010 г., в профиле линии H эмиссионный компонент не наблюдается.

Кроме этого, отметим, что в спектрах, полученных 1, 2 августа 2006 г. и 8 июля 2009 г., абсорбционный компонент в профиле H не наблюдается. В работе [2] показано, что в области линии H наблюдаются слабые атмосферные линии (655.717, 656.420 нм и т. д.), а в профиле H наблюдается только слабая эмиссионная линия, интенсивность которой заметно изменяется. Это повышает вероятность повторения данного события.

В спектрах, полученных 2009 и 2010 гг., лишь для пяти ночей в профиле линии H наблюдались компоненты (рис. 5, a). Видно, как образуются и исчезают компоненты в профиле линии H.

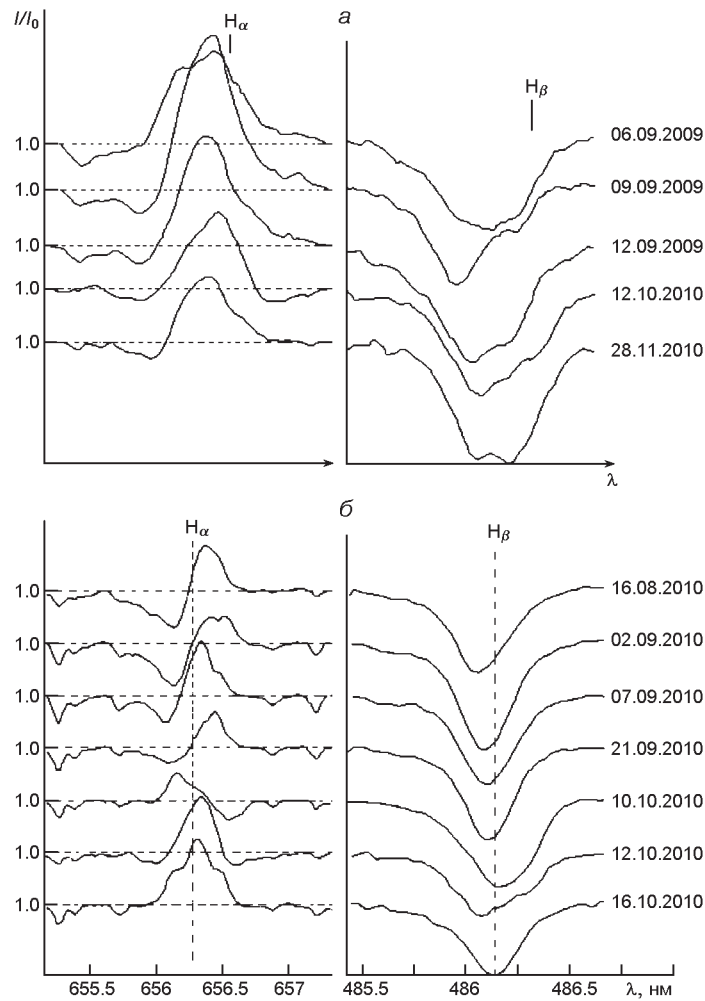


Рис. 5. Профили линий H α и H β звезды 55 Cyg в отдельные даты

Кроме указанного, 10 октября 2010 г. в спектре звезды 55 Cyg профиль линии H α наблюдается в виде инверсного P-Cygni-профиля (рис. 3, 5, б).

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ эмиссионных и поглощательных компонентов линий H α показал, что лучевые скорости быстро изменяются со временем. Эти изменения могут являться признаком сложных движений в атмосфере звезды 55 Cyg.

Наблюдения показали, что 2, 3, 4 июля 2010 г. линия H α исчезает (рис. 1 и 2). Предполагается, что при движении вещества звездного ветра от наблюдателя центральные частоты эмиссионного и поглощательного компонентов могут совпасть, и они могут компенсировать друг друга, что в результате может привести к исчезновению линии H α .

Известно, что линия H_{α} образуется в более глубоких слоях атмосферы чем линия H_{β} . Из табл. 2 видно, что 2, 3, 4 июля 2010 г. контуры линий H_{α} были смещены в длинноволновую сторону спектра. Этот наблюдательный факт может быть аргументом в пользу того, что в период исчезновения линий H_{α} произошло движение вещества ветра звезды от наблюдателя до слоев образования линии H_{α} .

Обнаруженные нами наблюдательные факты дают возможность предположить, что нестационарность атмосферы звезды 55 Cyg частично может быть связана несферичностью звездного ветра [4, 5, 14].

10 октября 2010 г. нами была обнаружена инверсия P-Cyг-профиля линии H_{α} . Появление инверсного P-Cyг-профиля может быть объяснено движением вещества ветра с большой скоростью в направлении от наблюдателя. При этом $V_r(\text{abs}) = 114$ км/с и $V_r(\text{em}) = 53$ км/с (табл. 1). Как видно из табл. 2, в это же время наблюдается большое смещение линии H_{α} в красную область спектра (рис. 5, б). Но, как видно из табл. 1, $V_r(\text{em}) = 53$ км/с является самым низким значением среди наблюдаемых для эмиссионного компонента. Это указывает на то, что в результате сильного звездного ветра компонент поглощения линии H_{α} смещается в красную область профиля, в то же время эмиссионный компонент смещается в фиолетовую область профиля. Это новый и интересный наблюдательный факт. Это невозможно объяснить эффектом Доплера. Отсюда можно предположить, что абсорбционный элемент линии H_{α} вовсе не доплеровский. Отметим, что инверсия P-Cyг-профиля не всегда наблюдается.

Кроме этого, интересно, что образование компонентов в профилях линии H_{α} , заметно уменьшают эквивалентную ширину линии, в то же время линия H_{α} наблюдается в виде нормального P-Cyг-профиля (рис. 5, а и табл. 2). Привлекает внимание то, что эквивалентная ширина эмиссионного компонента H_{α} резко увеличивается, а интенсивность компонента поглощения уменьшается (табл. 1 и 2).

Известно, что линии H_{α} и H_{β} образуются в верхних слоях атмосферы звезды, т. е. в областях формирования звездного ветра. Поэтому, как отмечается в работах [6, 9], образование компонентов в профиле линии H_{α} и H_{β} , их смещение и эпизодические исчезновения можно объяснить вариациями звездного ветра в этих областях.

ВЫВОДЫ

1. Впервые установлено, что в спектрах горячего сверхгиганта 55 Cyg эпизодически исчезает профиль линии H_{α} типа P Cyg. Это может быть проявлением нестационарного и несферического ветра.

2. Инверсный P-Cyг-профиль линии H_{α} в спектре звезды 55 Cyg — это новый интересный наблюдательный факт. Его невозможно объяснить эффектом Доплера. Можно предположить, что абсорбционный элемент линии H_{α} вовсе не доплеровский. Одновременно с его

появлением наблюдается большое смещение контура линии H α в красную область спектра.

3. Компоненты, наблюдаемые в профилях линии H α , уменьшают эквивалентную ширину линии, в то же время эмиссионный компонент линии H α резко увеличивается, а компонент поглощения уменьшается.

Все это реально указывает на сильную переменность, происходящую в атмосфере звезды 55 Cyg.

Автор благодарен А. С. Гулиеву, Х. М. Микаилову, а также Е. Л. Ченцову за обсуждение и внимание при выполнении работы.

1. *Галазутдинов Г. А.* Система обработки звездных эшеле-спектров. 1. Обработка изображений. 2. Обработка спектров. — Нижний Архыз, 1992.—52 с.—(Препринт / Спец. астрофиз. обсерватория РАН; № 92).
2. *Магеррамов Я. М.* Необычные переменности в атмосфере звезды 55 Cyg // *Азерб. астроном. журн.*—2010.—5, № 3.—С. 23—28.
3. *Микаилов Х. М., Халилов В. М., Алекберов И. А.* Эшеле-спектрометр фокуса касегрена 2-м телескопа ШАО НАН Азербайджана // *Циркуляр Шемахин. астрофиз. обсерватории.*—2005.—№ 109.—С. 21—29.
4. *Соболев В. В.* Движущиеся оболочки звезд. — М.: Наука, 1947.—77 с.
5. *Соболев В. В.* Курс теоретической астрофизики. — М.: Наука, 1985.—503 с.
6. *Соколов В. В., Ченцов Е. Л.* Атмосфера сверхгиганта 6 Cas. III. Дифференциальные сдвиги линий и аномалии профилей как проявление расширения атмосферы и потери ею вещества // *Изв. Спец. астроном. обсерватории.*—1984.—18.—С. 8—28.
7. *Aller L. H.* Atmospheres of the B stars. II. The supergiant 55 Cygni // *Amer. Astron. Soc.*—1956.—P. 133—138.
8. *Barlow M. J., Cohen M.* Infrared photometry and mass loss rates for OBA supergiants and of stars // *Astrophys. J.*—1977.—213.—P. 737—755.
9. *Chentsov E. L.* Unstable wind of 6 Cassiopeae // *Astrophys. and Space Sci.*—1995.—232.—P. 217—232.
10. *Crowther P. A., Lennon D. J., Walborn N. R.* Physical parameters and wind properties of galactic early B supergiants // *Astron. and Astrophys.*—2006.—446.—P. 279—293.
11. *Gies D. R., Lambert D. L.* Carbon, Nitrogen and Oxygen abundances in early B-type stars // *Astrophys. J.*—1992.—387.—P. 673—700.
12. *Granes P.* Evolution du spectre de la supergeante 55 Cygni // *Astron. and Astrophys.*—1975.—45.—P. 343—347.
13. *Markova N., Puls J.* Bright OB stars in the Galaxy. IV. Stellar and wind parameters of early to late B supergiants // *Astron. and Astrophys.*—2008.—478.—P. 823—842.
14. *Rosendhal J. D.* A Survey of H-alpha emission in early-type high-luminosity stars // *Astrophys. J.*—1973.—186.—P. 909—937.
15. *Underhill A. B.* Some observations of the supergiants 67 Ophiuchi, 55 Cygni, and Orionis // *Dom. Astrophys. Observ. Vic.*—1960.—11, N 18.—P. 353—361.

Статья поступила в редакцию 21.05.12