

АТМОСФЕРА СВЕРХГИГАНТА α CamI. О ПРОФИЛЕ H_{α}

С. К. Зейналов,* Ф. А. Мусаев,* Е. Л. Ченцов

По спектрограммам с дисперсией около 14 \AA/mm изучены временные изменения профилей H_{α} и других линий красной области спектра α Cam. Нижние слои звездного ветра прослеживаются до уровня, где скорость их расширения достигает 0.3 от предельной. Не подтверждается периодичность изменений лучевой скорости, фиксируемой по фотосферным линиям.

Time variations of profiles of H_{α} and other lines of the red region of α Cam spectrum are investigated from the spectrograms with a dispersion of 14 \AA/mm . The lower layers of the stellar wind are observed up to the level where their expansion velocity reaches 0.3 from the maximum one. Periodicity of the radial velocity variations, registered from the photospheric lines is not confirmed.

α Cam — сверхгигант спектрального класса O 9.5 Ia с отчетливыми признаками расширения атмосферы [1] и темпом потери вещества, оцениваемым в несколько масс Солнца за миллион лет [2, 3]. Переменность лучевой скорости сразу после ее открытия была приписана двойственности звезды [4], а позднее — нестационарности ее атмосферы. В последние годы первоначальная гипотеза возрождена отнесением α Cam к звездам-«бегунам» [5,6]; вновь предприняты попытки выделить периодическую составляющую в изменениях со временем лучевой скорости [7, 8] и профиля линии H_{α} [9].

Начатые нами в ШАО АН АзССР и САО АН СССР совместные спектроскопические наблюдения α Cam нацелены на уяснение природы спектральной переменности этого объекта, основанное на временном факторе: предполагается за 2—3 года получить несколько рядов оценок позиционно-фотометрических параметров линий, каждый из которых охватывал бы не менее 2—3 недель. По сравнению с подобным исследованием, проведенным недавно Эббетсом [10], мы надеемся расширить не только временной интервал наблюдений, но и набор регистрируемых одновременно линий. Последнее — за счет сочетания больших телескопов, высокой дисперсии и фотографической регистрации спектра, способной обеспечить необходимый уровень точности как позиционных, так и фотометрических данных. В настоящей статье приводятся результаты обработки имевшихся у нас спектрограмм α Cam, демонстрирующие изменения со временем профилей некоторых линий красной области спектра и позволяющие (после объединения их с опубликованными данными) проверить наличие в этих изменениях периодичности.

Спектрограммы были получены в 1976—1980 гг. с помощью Основного звездного спектрографа 6-м телескопа САО и кудэ-спектрографа 2-м телескопа обсерватории Ондражейов АН ЧССР (дисперсии 14 и 12 \AA/mm соответственно, спектральный диапазон 5300—6800 \AA), обработаны с помощью осциллокопического компаратора и фотометрического комплекса САО на базе микроденситометра АМД-1 [11]. Первый использован для получения лучевых скоростей v_r , второй — для получения графиков зависимости остаточной интенсивности r от длины волны λ . Для широких эмиссионных крыльев и абсорбций H_{α} лучевые скорости найдены по графикам $r(\lambda)$, к которым шкалы v_r привязывались с помощью более резких деталей профилей, в частности теллурических линий H_2O .

* Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР.

ТАБЛИЦА 1

Дата	Звездные линии						M/z линии, полосы		
	CIV абс. 5801.33 5811.98	CIII эм. 5695.92	HeI абс. 6678.15	HeI абс. 5875.72	Эм. крылья	H α 6562.81		NaI 5889.95 5895.92	5780.41 5797.03 6613.63
						эм. ядро	абс. ядро		
09.10.76	+22	—	—	-22	+20	+50	-190	-10.0	-9
02.01.77	+42	—	+27	+13	+60:	—	+4	-9.2	-4:
05.01.77	+28	—	—	-9	+40:	+85	-180	-7.2	—
16.01.77	—	—	+27:	+1	—	+120:	—	-10.6	-2:
03.02.77	+18:	—	+6:	-3	—	+100	-175	-7.6	-7
08.09.77	—	—	+18	+1:	—	—	—	-9.7	—
07.03.78	+20:	—	+20	-5	+50	+90	-180:	-9.3	-2:
21.03.78	+39	+25:	+45:	-4	+40	+100	-110	-7.8	-5
26.04.78	+21	+12:	—	-16	+55	+110	-230	-7.0	-6
23.02.80	—	—	+29	—	—	+110	-120	—	—

Гелиоцентрические лучевые скорости (в километрах в секунду) для отдельных линий, их деталей и полос звездной, околозвездной и межзвездной природы вместе с использованными лабораторными длинами волн (в ангстремах) приведены в табл. 1. Судя по разбросу значений v_r для межзвездного дублета NaI и отличию их от высокоточных данных атласа Хоббса [12], систематические ошибки наших измерений не превышают 3—5 км/с. Представленный в [12] профиль линии NaI λ 5896 Å кроме основной, насыщенной, компоненты со средней $v_r \approx -2$ км/с имеет еще одну, послабее и поуже, с $v_r \approx -19$ км/с. При нашем спектральном разрешении они сливаются в единую линию с эффективным значением $v_r \approx -7$ км/с. С уменьшением оптической толщи межзвездного вещества это значение должно приближаться к v_r основной компоненты, что, по-видимому, и реализуется при переходе от линий к полосам. В работах, результаты которых предполагается объединить с данными табл. 1, отсутствуют сведения о лучевых скоростях для межзвездных линий или полос. Однако средние значения v_r , найденные по абсорбциям, формирующимся глубже других в атмосфере звезды и потому более стационарным (от +20 до +40 км/с по линиям HeII, CIII, NIII, SiIV в [7] и от +14 до +21 км/с по линиям CIII, CIV в [8]), довольно близки к приводимым в табл. 1 для линий CIII, CIV, систематические различия вряд ли превышают 10 км/с.

Случайные ошибки данных табл. 1 зависят от числа линий и спектрограмм, полученных в одну ночь (1 или 2), для которых приводится общее значение v_r , и от величин градиентов плотности на измеряемых участках спектрограмм. Они минимальны для линий NaI (не более 2 км/с), максимальны для крыльев H α (10—15 км/с), для остальных значений v_r , не помеченных двоеточиями, среднее значение близко к 5 км/с.

На рис. 1 и 2 показаны профили всех звездных линий, уверенно выделенных путем суммирования зависимостей $r(\lambda)$. Для линий H α , CIII λ 5696 Å и HeI λ 5876 Å отдельно суммировались спектры с профилями сходной формы, независимо от времени их получения. Усредненные кривые $r(\lambda)$ даны в масштабе атласа [13], включающего синюю часть спектра α Cam. Шкалы λ соответствуют лабораторным длинам волн линий CIII, CIV, дающих значения v_r , наиболее близкие к лучевой скорости звезды в целом. Относительно этих шкал вряд ли смещены те абсорбции, по которым не удалось измерить лучевых скоростей из-за их слабости (HeII λ 6527, 6683 Å) или отсутствия линий в близлежащем участке спектра сравнения (HeII λ 5411 Å, OIII λ 5592 Å). Остальные абсорбции показывают отрицательные сдвиги. Для линии HeI λ 6678 Å сдвиг лишь намечается на основе данных табл. 1, для более сильной линии с профилем типа P Cyg, HeI λ 5876 Å он уже заметен на рис. 1: в ядре $\Delta V_r \approx -(30 \div 40)$ км/с, в синем крыле — до $-(400 \div 500)$ км/с. Сравнивая рис. 2 и 1, можно заметить, что эмиссионные крылья усиливаются, по-видимому, одновременно у линий H α и CIII λ 5695 Å, а синесмещенная абсорбция — у H α и HeI λ 5876 Å.

Абсорбционная компонента H_{α} , переменная по глубине, ширине и сдвигу, прослеживается непосредственно по верхней части рис. 2 лишь до -350 км/с. Однако кривые изменения лучевой скорости с остаточной интенсивностью, показанные в нижней части рис. 2, свидетельствуют о том, что она простирается в коротковолновую сторону гораздо дальше. Те из кривых, что расположены в области $\Delta v_r \leq 0$, относятся к абсорбционным деталям профилей, остальные —

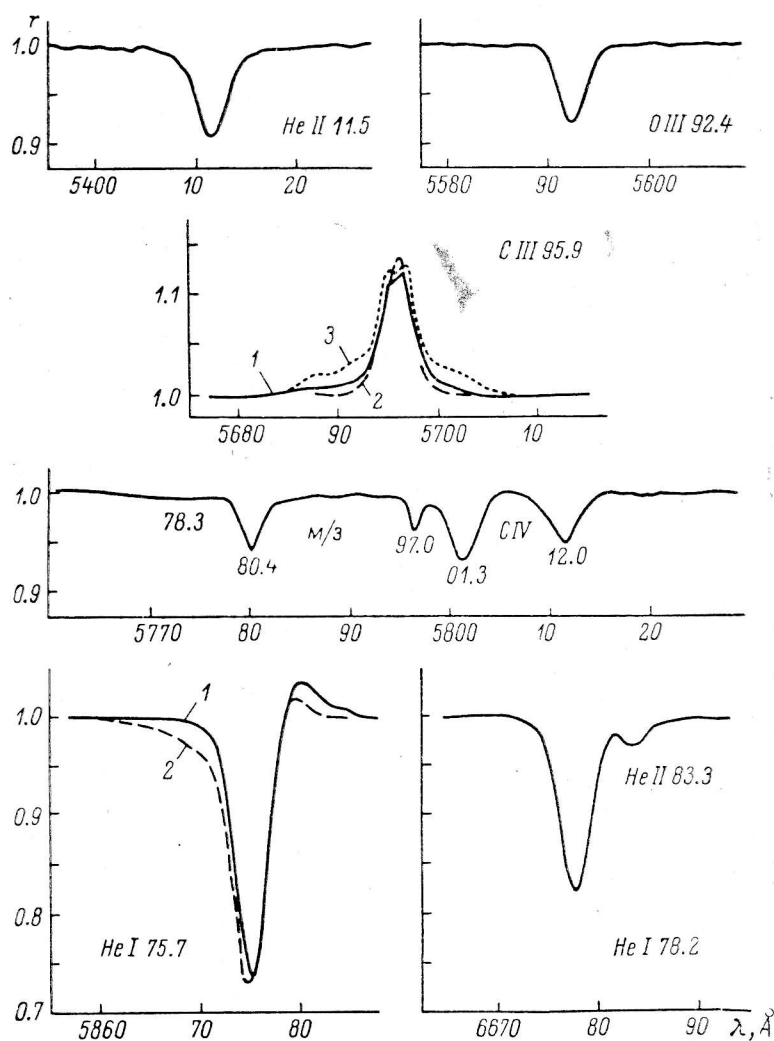


Рис. 1. Усредненные профили линий в красной части спектра α Сам.

Для C III λ 5696 Å и He I λ 5876 Å: 1 — среднее из профилей, наблюдавшихся 05.01, 16.01, 03.02.77 и 07.03.78; 2 — 09.10.76, 21.03 и 26.04.78; 3 — 02.01.77.

к эмиссиям. Как общий сдвиг, так и форма последних зависят от интенсивности абсорбции на синем крыле H_{α} . Чем глубже абсорбция, тем сильнее отклоняется вправо кривая $\Delta v_r(r)$ на рис. 2. На уровне непрерывного спектра $\Delta v_r \approx 0$, т. е. область формирования эмиссионных крыльев, по-видимому, стационарна относительно фотосферы звезды. Но уже при $r \approx 1.02$ синее крыло определенно понижено по сравнению с красным, т. е. абсорбция прослеживается до -700 км/с (0.3 от максимального сдвига, фиксируемого по резонансным линиям ракетного ультрафиолета [2]).

Причину указанного понижения можно, конечно, усмотреть не только в поглощении излучения расширяющейся оболочкой звезды, но и во вкладе в результирующий профиль фотосферной абсорбции, а также в групповом вкладе теллурических линий, особенно обильных именно на синем крыле H_{α} ,

или в некорректном воспроизведении уровня непрерывного спектра. Крылья фотосферного профиля H_α простираются не более чем на ± 400 км/с. Второй эффект исключен с помощью атласа [14]. Сопоставление интенсивностей линий H_2O земной атмосферы в [14] и на наших графиках $r(\lambda)$ позволило передвигать границы свободных от помех участков профиля в зависимости от влажности атмосферы и зенитного расстояния звезды, при которых получена та или иная спектрограмма. Последний эффект связан с локальным понижением чувствительности эмульсии Kodak 103aF в области H_α , маскируемым ее широкой эмиссией, но отслеженным нами с помощью известной кривой реакции для рабочего

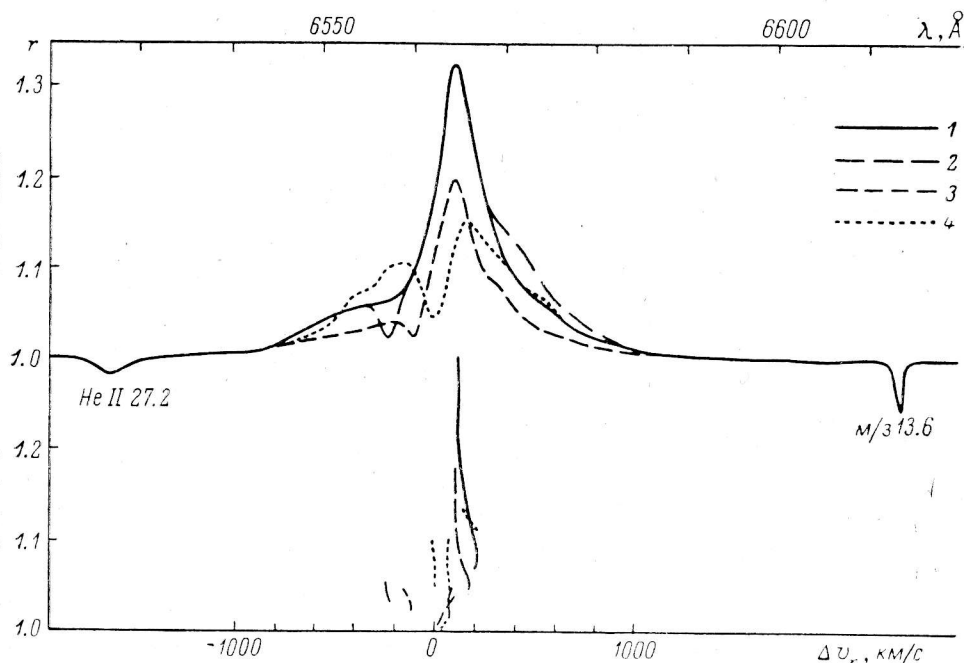


Рис. 2. То же, что на рис. 1, и зависимости v_r от r для переменной части профиля H_α .
1 — 05.01, 16.01, 03.02.77, 07.03.78; 2 — 09.10.76, 26.04.78; 3 — 21.03.78; 4 — 02.01.77.

сочетания эмульсии, решетки и фильтра. Его иллюстрирует табл. 2, в которой сравниваются средние оценки эквивалентных ширин эмиссии H_α и протяженности ее крыльев, сделанные в настоящей и других работах. В последних использовались и пластинки 103aF [15, 16], и многоканальный фотоэлектрический светоприемник, обеспечивающий более высокие разрешение и позиционно-фотометрическую точность [10]. Как укороченность крыльев, особенно синего, так и преуменьшение общей интенсивности эмиссии в [15, 16] явились, скорее всего, следствием завышения уровня непрерывного спектра. Близость же значений двух последних столбцов табл. 2 и одинаковость формы нижних частей кривых $\Delta v_r(r)$ на рис. 2 и в [10] мы рассматриваем как подтверждение правильности воспроизведения нами непрерывного спектра и пригодности фотопластинок для получения вполне уверенных результатов.

В связи с возможной периодичностью изменений лучевой скорости со временем мы попытались сопоставить данные табл. 1 (вместе с данными из [10, 15] и [16]) с фазами, предложенными в [7]. Как и в работе [8], добавление новых

ТАБЛИЦА 2

Параметр H_α	Источник данных			
	[15]	[16]	Данная работа	[10]
W , эм., А	-1.3	-2.3	-2.7	-2.6
Δv_r , синее, км/с	-620	-350	-1100	-1200
Δv_r , красное, км/с	+720	+700	+1100	+1200

значений v_r «разрушило» найденную в [7] регулярность временных колебаний лучевой скорости; гипотеза двойственности α Cam по-прежнему не находит подтверждения. С другой стороны, остается очевидной переменность скорости расширения атмосферы, точнее закона изменения скорости расширения с расстоянием от звезды.

Из табл. 1 (в согласии с результатами других работ) следует, что амплитуда временных изменений v_r возрастает от 20 км/с для фотосферных линий до 200 км/с для абсорбции H_α . Причем особенно интересным представляется тот факт, что, как свидетельствует спектрограмма, полученная 02.01.77, иногда расширение нижних слоев оболочки практически прекращается. Это резко контрастирует с тем, что предельная скорость звездного ветра колеблется, по-видимому, лишь на 5–10 % [17].

Итак, в качестве основных результатов настоящей работы мы рассматриваем следующее.

1. Фотографический способ регистрации спектра обеспечивает получение достаточно точной информации о нижних слоях звездного ветра α Cam.
2. Эти слои простираются до уровня, где скорость расширения достигает 0.3 от предельной.
3. Не подтверждается найденная в [7] периодичность изменений лучевой скорости нижних слоев атмосферы α Cam.

Литература

1. Ченцов Е. Л. Спектроскопические проявления нестационарности ранних сверхгигантов. Каталог параметров и признаков нестационарности для сверхгигантов O, B и A с $v < 6^{m0}$. — Сообщ. САО, 1978, 21, с. 78.
2. Gathier R., Lamers H. J. G. L. M., Snow T. P. Empirical mass-loss rates for 25 O and early B stars, derived from Copernicus observations. — *Astrophys. J.*, 1981, 247, N 1, p. 173–194.
3. Olson G. L., Ebbets D. Mass-loss rates in early-type stars determined by fitting Balmer alpha profiles. — *Astrophys. J.*, 1981, 248, N 3, p. 1021–1030.
4. Lee O. J. The spectroscopic system of Camelopardalis. — *Astrophys. J.*, 1913, 37, N 1, p. 1–24.
5. Bekenstein J. D., Bowers R. L. Do OB runaways have collapsed companions? — *Astrophys. J.*, 1974, 190, N 3, p. 653–659.
6. Stone R. C. Kinematics, close binary evolution, and ages of the O stars. — *Astrophys. J.*, 1979, 232, N 2, p. 520–530.
7. Bohannan B., Garmany C. D. A search for binaries and stellar winds among the O-type stars. — *Astrophys. J.*, 1978, 223, N 3, p. 908–919.
8. Stone R. C. A search for spectroscopic binaries among the runaway O type stars. — *Astrophys. J.*, 1982, 261, N 1, p. 208–219.
9. Ebbets D. The variable H_α P Cygni profile of Alpha Camelopardalis: O9.5 Ia. — *Astrophys. J.*, 1980, 235, N 1, p. 97–103.
10. Ebbets D. The structure and variability of H_α emission in early-type supergiants. — *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1982, 48, N 4, p. 399–414.
11. Буренкова О. С., Коровяковская А. А., Назаренко И. И. Система сканирования и предварительной обработки спектров на фотометрическом комплексе САО АН СССР. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1982, 16, с. 108–115.
12. Hobbs L. M. Observations of interstellar lines of NaI and/or CaII toward 47 stars. — *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1978, 38, N 2, p. 129–146.
13. Атлас спектров ранних сверхгигантов/Е. А. Барсукова, И. А. Лебедева, К. Б. Чаргейшвили, Е. Л. Ченцов. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1982, 16, с. 34–48.
14. Curcio J. A., Drummer L. F., Knestrick G. L. An atlas of the absorption spectrum of the lower atmosphere from 5400 Å to 8520 Å. — *Appl. Opt.*, 1964, 3, N 12, p. 1401–1409.
15. Rosendhal J. D. A survey of H-alpha emission in early-type high-luminosity stars. — *Astrophys. J.*, 1973, 186, N 3, p. 909–937.
16. Tokada M. Spectroscopic study of two O-type supergiants, Alpha Camelopardalis and 19 Cephei: model-atmosphere analysis. — *Publ. Astron. Soc. Japan*, 1977, 29, N 3, p. 439–476.
17. Short time changes in the terminal velocity of the stellar wind of α Cam (O9.5 Ia)/de C. Jager, H. J. G. L. M. Lamers, F. Macehette, T. P. Snow. — *Astron. a. Astrophys.*, 1979, 79, N 3, p. 128–131.

Поступила в редакцию 02.04.84