

## ДОЛГОВРЕМЕННОЕ И ОРБИТАЛЬНОЕ ПОВЕДЕНИЕ $H_\alpha$ В СПЕКТРЕ HDE 226868 (ЛЕБЕДЬ X-1)

О. Э. Ааб

Исследована линия  $H_\alpha$  в спектре сверхгиганта HDE 226868 — оптического компонента рентгеновского источника Лебедь X-1 по спектрограммам, полученным в течение пяти лет на 6-м телескопе. Измерены позиционные и фотометрические параметры линии, проведена редукция за фотосферную абсорбцию. Показано наличие долговременной и орбитальной переменности интенсивности  $H_\alpha$ . Лучевые скорости, рассчитанные орбитальные кривые свидетельствуют об образовании эмиссии  $H_\alpha$  в основном в истекающей атмосфере сверхгиганта, наблюдаются и дополнительные вклады в линию.

$H_\alpha$  line is studied in the spectrum of HDE 226868 supergiant — optical component of the X-ray source Cygnus X-1 from the spectrograms obtained during five years with the 6-meter telescope. Positional and photometrical line parameters are measured and reduction for the photosphere absorption is made. The presence of long-time and orbital variability of  $H_\alpha$  intensity is shown. The radial velocity curves, the calculated orbital curves testify the formation of  $H_\alpha$  emission, mainly, in the mass-loss atmosphere of the supergiants. Additional contributions into the line are also detected.

Исследование эмиссии  $H_\alpha$  в спектре HDE 226868 (Лебедь X-1) начато работами Брукато и Заппала [1] и Хатчингса и др. [2]. Двойственность объекта, наличие у сверхгиганта необычного компаньона позволяли предполагать не вполне звездное происхождение линии. Хатчингс и др. [2] показали, что эмиссия  $H_\alpha$  образуется в аккреционном диске, окружающем рентгеновский источник. Брукато и Заппала [1], напротив, связали ее с окрестностью В-сверхгиганта. Позже Хатчингс и др. [3] также отнесли излучение в  $H_\alpha$  почти полностью к главному компоненту — сверхгиганту. Таким образом, к настоящему моменту нет определенного ответа на вопрос об области формирования эмиссии  $H_\alpha$  в спектре HDE 226868.

**Наблюдения.** Мы наблюдали HDE 226868 на 6-м телескопе с ноября 1976 г. Спектрограммы в красной области спектра ( $\lambda = 5000 \div 7000 \text{ \AA}$ ) получались реже, нежели в синем диапазоне ( $\lambda = 3500 \div 5000 \text{ \AA}$ ), по ноябрь 1983 г. включительно их получено 23. Использовалась камера II ОЗСП БТА, решетки 600''/мм с концентрацией света в 1-м и 2-м порядках. Высота спектров 0.5—0.6 мм, спектральное разрешение 0.8—1.5  $\text{\AA}$  (дисперсия в основном 28  $\text{\AA}/\text{мм}$ , две спектрограммы получены с дисперсией 14  $\text{\AA}/\text{мм}$ ). Сведения о наблюдательном материале приведены в табл. 1. Указаны юлианская дата, дисперсия и спектроскопические фазы ( $\varphi$ ). Они вычислялись в рамках орбитального решения  $\varphi = (E - 2441556^d.208) / 5^d.5997$  [4].

**Спектрофотометрические методики.** Традиционным образом, с помощью микроденситометра ИФО-451 были получены регистрограммы в шкале плотностей. Вручную, с помощью характеристических кривых строились профили эмиссии  $H_\alpha$ , а также других линий в этом диапазоне — абсорбций HeI  $\lambda 5876$ , 6678  $\text{\AA}$ , межзвездных линий D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> NaI,  $\lambda = 6613 \text{ \AA}$  и др. [5]. Сводный атлас профилей  $H_\alpha$  приведен на рис. 1; указаны даты наблюдений и спектроскопические фазы.

Все спектрограммы были также промерены на астроспидометре САО [6], при этом определялись лучевые скорости линии  $H_\alpha$ , деталей ее профиля, скорости других линий. Результаты измерений приведены в табл. 1. Для исходного профиля  $H_\alpha$  даны лучевые скорости синего и красного компонентов ли-

ТАБЛИЦА 1

ЮЛ 244000+	D, Å/mm	φ	Лучевая скорость v <sub>r</sub> , км/с										-W <sub>λ</sub> (H <sub>α</sub> редуп)
			D <sub>v</sub> , D <sub>z</sub> (NaI)		H <sub>α</sub>		H <sub>α</sub> редуп		HeI		серед		
			эм <sup>-</sup>	абс	эм <sup>+</sup>	цт	5876	6678					
3613.520	14	0.397	-10.8	-25.1	+161.1	+35	-13	-22.5	-17.4	2.71			
4003.504	14	0.041	-8.4	-131.2	+273.0:	+50	+80	+53.1	+70.5	1.99			
4155.250	28	0.140	-8.1	-225.2	+232.4	+57	+57	+55.2	+76.3	1.82			
4184.181	28	0.306	-5.6	-301.0	+258.4	+100	+48	+32.1	+40.6	2.66			
4184.260	28	0.320	-12.7	-259.2	+214.7	—	—	+46.3	+12.1	—			
4485.310	28	0.082	-9.1	-258.6	+267.3	+37	+60	+66.6	+75.4	1.19			
4485.392	28	0.097	-9.0	-181.5	+320.5	+114	+45	+63.6	+77.0	1.84			
4884.213	28	0.318	-22.8	-226.9	+188.9	+45	+22	+12.1	+11.1	2.56			
5035.523	28	0.340	-14.4	-206.4	+221.8	+123	+50	+11.6	+21.0	1.88			
5035.582	28	0.350	-8.2	-251.6	+185.4	+60	+10	+9.6	+16.9	1.85			
5062.488	28	0.155	-10.3	-199.4	+252.5	+10	+25	+49.6	+62.7	1.82			
5062.535	28	0.163	-14.7	-228.2	+314.8	+41	+41	+58.5	+72.3	2.23			
5064.526	28	0.519	—	—	+78.0	+80	-40	—	-103.5	—			
5123.446	28	0.041	-15.6	-150.9	+130.3	+10	+18	+34.4	+44.8	3.08			
5123.520	28	0.054	-7.9	-191.8	+125.4	+30	+12	+49.6	+67.4	—			
5173.370	28	0.956	-4.9	-177.0	+181.2	+74	+55	+33.9	+51.8	—			
5175.450	28	0.328	-3.8	-177.8	+200.7	+125	+125	+31.1	+52.4	—			
5179.328	28	0.020	-11.1	-131.6	+196.8	+80	+65	+27.8	+65.7	1.72			
5222.474	28	0.725	-12.3	-413.7	+203.4	-40	-33	-77.7	-120.4	—			
5626.150	28	0.814	-10.4	-384.4:	+159.2	+30	-10	-50.5	-49.3	2.24			
5648.150	28	0.743	-1.5	-334.6:	+149.5	+30	+5	-70.9	-76.6	2.16			
5648.266	28	0.764	-24.3	-294.1	+122.4	+20	-15	-100.2	-79.6	—			
5649.278	28	0.945	-16.4	-279.5	+132.6	+3	+3	-14.8	+13.1	1.71			

нии и центральной абсорбции. Межзвездные линии служили хорошим контролем точности измерений  $v_r$ , средние их значения составляют  $\bar{v}_r(D_1, \text{NaI}) = -11.8 \pm 1.4$  км/с,  $\bar{v}_r(D_2, \text{NaI}) = -10.2 \pm 1.1$  км/с,  $\bar{v}_r(6613) = -6.0 \pm 2.4$  км/с. Ошибки одного измерения при этом равнялись 6.4, 5.3 и 11.0 км/с соответственно. Последнее значение характеризует типичную точность, с которой

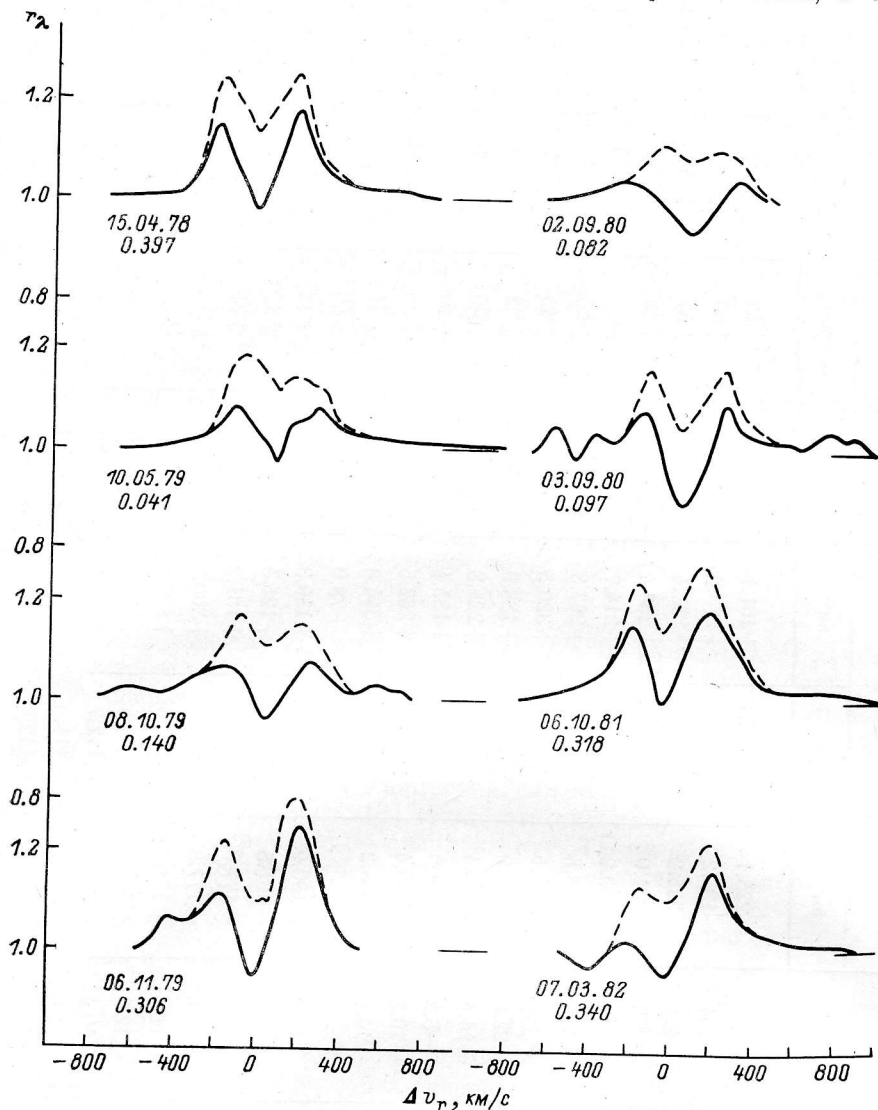


Рис. 1. Профили линии  $H_\alpha$  в спектре HD 226868.

Сплошная линия — исходный профиль, штриховая — редуцированный. Указаны даты наблюдений и спектроскопические фазы, отсчитываемые от момента прохождения периастра.

измерялись детали линии  $H_\alpha$ , сравнимые по интенсивности с абсорбцией  $\lambda = 6613 \text{ \AA}$  ( $R_c = 0.10$ ,  $\bar{W}_\lambda = 0.20 \text{ \AA}$ ). Несколько недодержанные спектрограммы (7) привлекались для позиционных измерений, но не для измерения эквивалентных ширин.

В работах Хатчингса и др. [2, 3] была высказана идея об освобождении профиля  $H_\alpha$  от фотосферной абсорбции сверхгиганта. Мы предприняли аналогичную попытку.

Вычитание фотосферной абсорбции из наблюдаемого профиля  $H_\alpha$  проводилось по методике, аналогичной той, что использовалась при выделении «чистой» эмиссии в линии  $\text{He II } \lambda 4686 \text{ \AA}$  [7]. По измеренным деталям линии  $H_\alpha$  на регистрограмме строилась зависимость ( $x, v_r$ ). Мы полагали, что скорость централь-

ной абсорбции в нередуцированном профиле  $H_\alpha$  характеризует движение сверхгиганта, точнее самых верхних, расширяющихся слоев его атмосферы. Действительно, вычисляя для каждой спектрограммы разность между скоростью абсорбции в  $H_\alpha$  и средней лучевой скоростью абсорбционных линий в этой фазе, взятой по кривой лучевых скоростей [4], мы убедились, что наблюдаем типичное проявление «бальмеровского прогресса». В среднем  $\overline{\Delta v_r} = v_r(H_\alpha \text{ абс}) -$

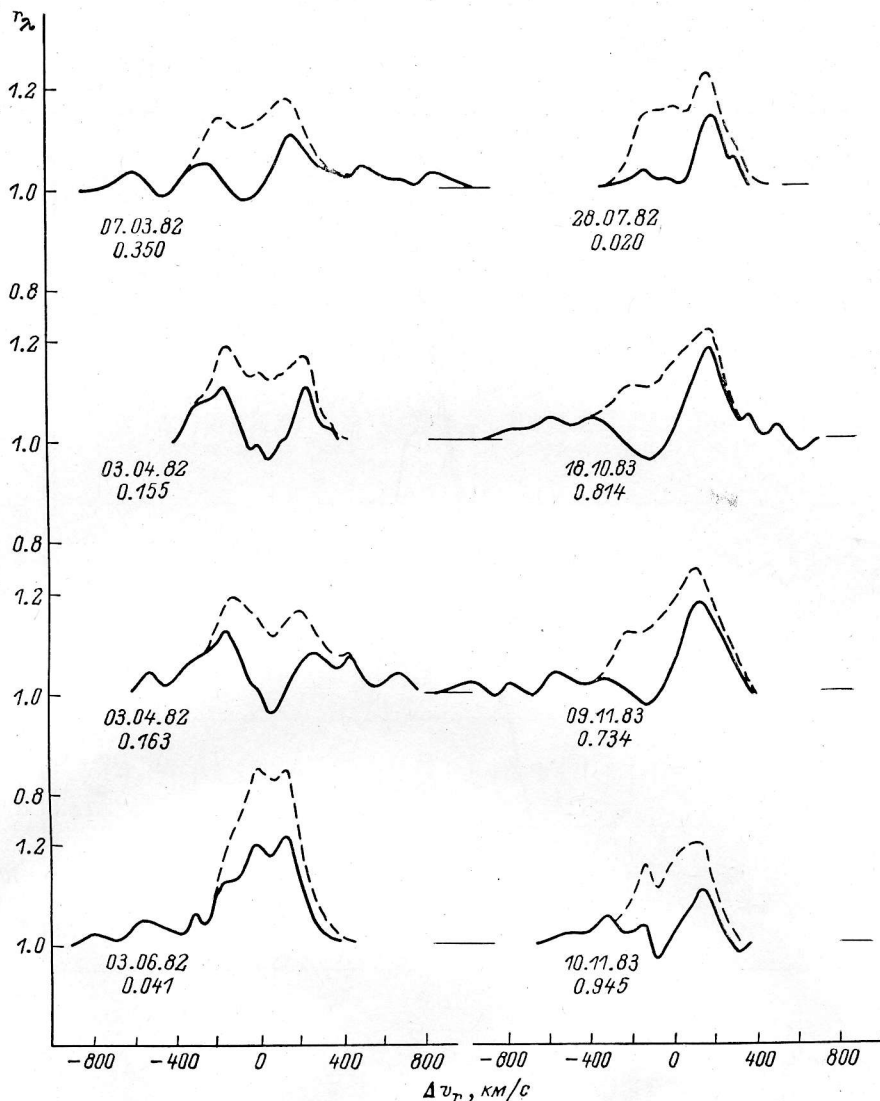


Рис. 1 (продолжение).

$\overline{v_r}(\text{абс}) = -33.0 \pm 6.3$  км/с. Величина ошибки свидетельствует о том, что наблюдается некоторая переменность этой величины с фазой орбитального (либо другого) периода.

В качестве фотосферного использовался профиль  $H_\alpha$  в спектре 19 Сер из работы Хатчингса и др. [3], исправленный авторами за эмиссию в центральной части профиля. Сверхгигант 19 Сер весьма близок по спектральным характеристикам к HDE 226868:  $T_{\text{ef}} = 31500$  К,  $\lg g = 3.25$ ,  $v \sin i = 75$  км/с [8] и  $T_{\text{ef}} = 32900 \pm 200$  К,  $\lg g = 3.07 \pm 0.03$ ,  $v \sin i = 77 \pm 3$  км/с [9]. Профиль  $H_\alpha$  19 Сер помещался на зависимость  $(x, v_r)$  с  $v_r = \overline{v_r}(\text{абс}) + \Delta v_r$ , далее происходило его вычитание из реального, наблюдаемого профиля в спектре HDE 226868. Возможная орбитальная переменность абсорбции  $H_\alpha$  не учитывалась, о значимости этого

эффекта будет сказано ниже. Определялись лучевые скорости середины и центра тяжести эмиссионного редуцированного профиля, они приведены в табл. 1. Полная процедура редукции показана на рис. 2. Редуцированные профили  $H_\alpha$  приведены на рис. 1 штриховыми линиями.

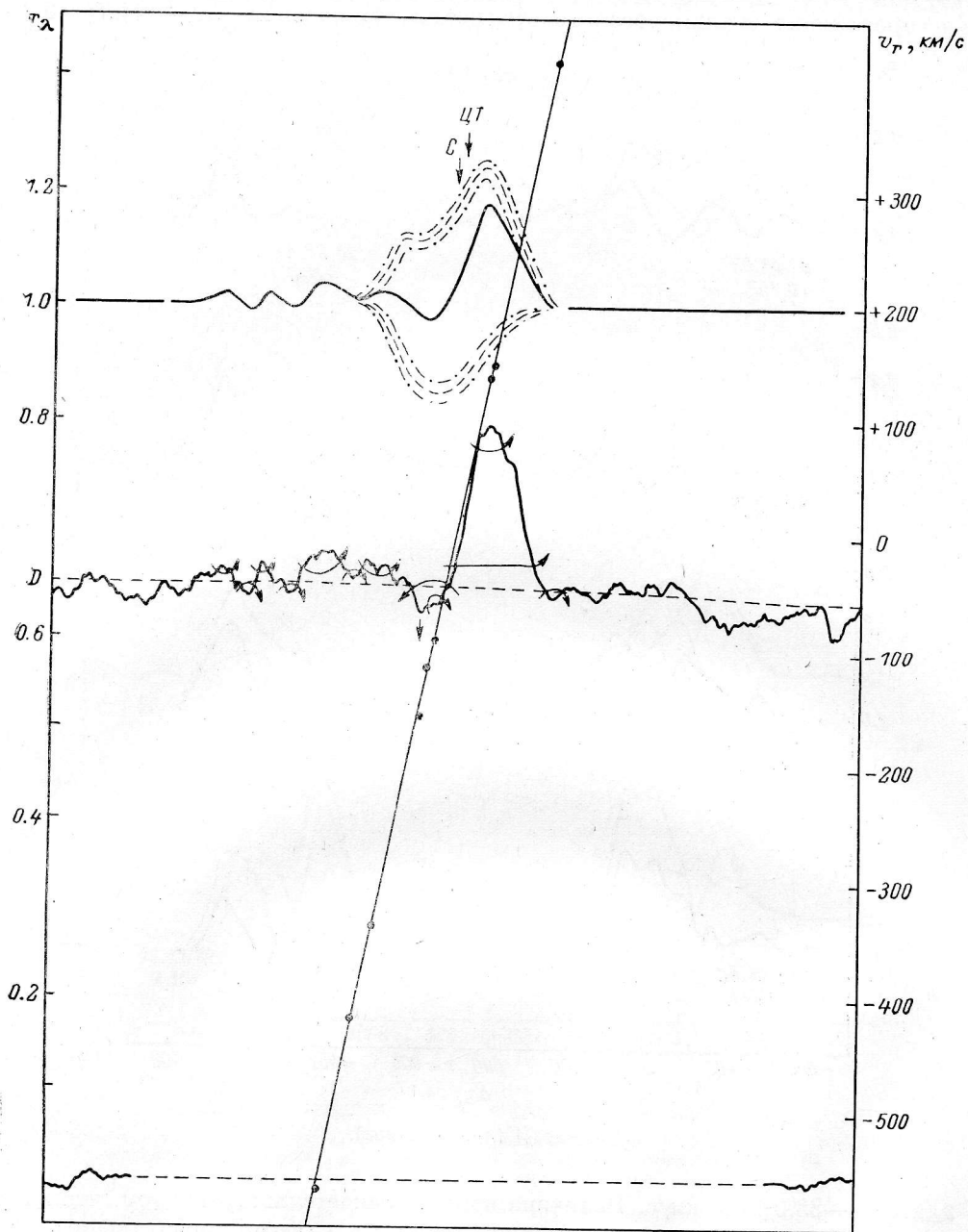


Рис. 2. Редукция профиля  $H_\alpha$  — учет фотосферной абсорбции.

Внизу — микрофотометрическая запись области  $H_\alpha$  ( $\lambda=6530+6600 \text{ \AA}$ ) в плотностях; шкала плотностей слева. Отмечены измерявшиеся детали профиля, их лучевые скорости нанесены в масштабе, показанном справа; проведена зависимость  $(x, v_r)$ . Вверху — профили  $H_\alpha$ : исходный (сплошная линия), фотосферный и редуцированный (штриховая линия). Стрелками отмечены положения центра тяжести и середины редуцированного профиля. Штрихпунктиром отмечена амплитуда изменения фотосферного профиля и редуцированного в предположении, что она подобна таковой в абсорбциях  $H_\gamma$  и  $H_\beta$ .

**Кривые лучевых скоростей, результаты.** Была сделана попытка просчитать орбитальные решения по всему набору данных табл. 1. Результаты расчетов приведены в табл. 2. Использовалась программа, созданная автором совместно с Н. П. Хорунжей на языке FORTRAN для ЭВМ ЕС-1035 [4]. В табл. 2 ука-

ТАБЛИЦА 2

Элемент орбиты	$v (H\alpha)$	Абсорбция $H\alpha$	$R (H\alpha)$	Редуцированная $H\alpha$ , середина
$P$ , дни	$5.6015 \pm 0.0020$	$5.6008 \pm 0.0006$	$5.6019 \pm 0.0002$	$5.6025 \pm 0.0020$
$T (2440000+)$	$3083.42 \pm 1.35$	$3084.55 \pm 0.34$	$3084.80 \pm 0.30$	3086.73
$v_0$ , км/с	$-262.0 \pm 11.3$	$-31.7 \pm 5.9$	$179.1 \pm 6.5$	$19.2 \pm 5.4$
$K$ , км/с	$84.5 \pm 15.8$	$78.4 \pm 7.8$	$83.0 \pm 9.8$	$38.7 \pm 7.3$
$e$	$0.04 \pm 0.82$	$0.30 \pm 0.08$	$0.81 \pm 0.02$	$0.04 \pm 0.44$
$\omega$ , град	$251 \pm 11$	$301 \pm 6$	$310 \pm 10$	$120 \pm 12$
$a \sin i \cdot 10^6$ , км	...	$5.758 \pm 0.658$	...	$2.980 \pm 0.571$
$f(M)$ , $M_\odot$	...	$0.243 \pm 0.075$	...	$0.034 \pm 0.019$
$\varepsilon$ , км/с	11.37	5.90	6.54	5.41

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

Элемент орбиты	Редуцированная $H\alpha$ , центр тяжести	Все абсорбции [4]	$\lambda 5876 \text{ HeI}$	$\lambda 6678 \text{ HeI}$
$P$ , дни	$5.6034 \pm 0.0020$	$5.5997 \pm 0.0002$	$5.6003 \pm 0.0005$	$5.6001 \pm 0.0004$
$T_0 (2440000+)$	$3086.50 \pm 2.45$	$3084.93 \pm 0.30$	$3082.21 \pm 2.65$	$3083.14 \pm 0.83$
$v_0$ , км/с	$45.0 \pm 6.7$	$-3.3 \pm 1.1$	$-14.6 \pm 2.4$	$-10.5 \pm 2.6$
$K$ , км/с	$31.5 \pm 9.6$	$77.3 \pm 1.6$	$77.6 \pm 3.6$	$90.4 \pm 3.7$
$e$	$0.04 \pm 0.84$	$0.06 \pm 0.02$	$0.04 \pm 0.08$	$0.04 \pm 0.15$
$\omega$ , град	$61 \pm 18$	$311 \pm 1$	$142 \pm 3$	$204 \pm 2$
$a \sin i \cdot 10^6$ , км	$2.424 \pm 0.757$	$5.941 \pm 0.124$	$5.973 \pm 0.280$	$6.959 \pm 0.297$
$f(M)$ , $M_\odot$	$0.018 \pm 0.017$	$0.267 \pm 0.17$	$0.271 \pm 0.038$	$0.429 \pm 0.053$
$\varepsilon$ , км/с	6.72	1.12	2.50	2.62

ТАБЛИЦА 3

Элемент орбиты	$v (H\alpha)$	Абсорбция $H\alpha$	$R (H\alpha)$
$P$ , дни	$5.5997 \pm 0.0020$	$5.5997 \pm 0.0020$	$5.5997 \pm 0.0020$
$T_0 (2440000+)$	$3084.93 \pm 0.66$	$3084.93 \pm 1.35$	$3084.93 \pm 3.96$
$v_0$ , км/с	$-270.9 \pm 11.7$	$-37.7 \pm 7.0$	$176.2 \pm 10.4$
$K$ , км/с	$89.9 \pm 16.5$	$83.8 \pm 9.9$	$65.5 \pm 14.7$
$e$	$0.06 \pm 0.80$	$0.06 \pm 0.49$	$0.06 \pm 0.43$
$\omega$ , град	$309 \pm 10$	$310 \pm 7$	$296 \pm 12$
$a \sin i \cdot 10^6$ , км	$6.910 \pm 1.434$	$6.440 \pm 0.849$	$5.037 \pm 1.160$
$f(M)$ , $M_\odot$	$0.420 \pm 0.239$	$0.340 \pm 0.124$	$0.163 \pm 0.110$
$\varepsilon$ , км/с	11.75	7.07	10.42

ТАБЛИЦА 3 (продолжение)

Элемент орбиты	Редуцированная $H\alpha$ , середина	Редуцированная $H\alpha$ , центр тяжести
$P$ , дни	$5.5997 \pm 0.0020$	$5.5997 \pm 0.0020$
$T_0 (2440000+)$	3084.93	3084.93
$v_0$ , км/с	$14.2 \pm 5.9$	$45.9 \pm 7.2$
$K$ , км/с	$40.3 \pm 8.2$	$27.0 \pm 10.2$
$e$	$0.06 \pm 0.21$	$0.06 \pm 0.15$
$\omega$ , град	$308 \pm 12$	$247 \pm 21$
$a \sin i \cdot 10^6$ , км	$3.097 \pm 0.635$	$2.078 \pm 0.785$
$f(M)$ , $M_\odot$	$0.038 \pm 0.023$	$0.011 \pm 0.013$
$\varepsilon$ , км/с	5.95	7.21

заны также среднеквадратичные ошибки орбитальных элементов и  $\epsilon$  — среднеквадратичная ошибка нормального места единичного веса. Приписывание весов проводилось с учетом количества усредняемых спектрограмм и их качества.

Реальное орбитальное решение, как оказалось, существует только для лучевых скоростей центральной абсорбции в  $H_{\alpha}$ . Отличие его от решения по среднему из всех абсорбционных линий, также приведенного в табл. 2, состоит в более отрицательной скорости центра тяжести системы ( $v_0 = -31.7 \pm 5.9$  км/с) и заметном эксцентриситете ( $e = 0.29 \pm 0.09$ ). Первое есть отражение расширения атмосферы сверхгиганта, «бальмеровский прогресс». Второе — появление

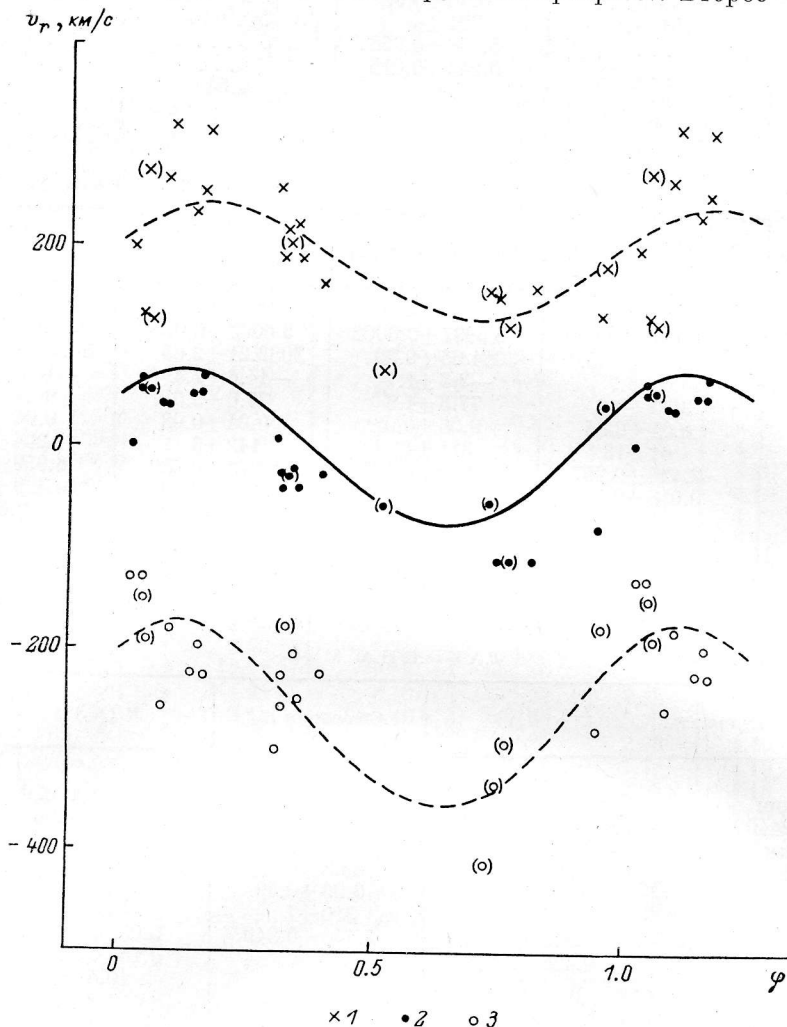


Рис. 3. Лучевые скорости линии  $H_{\alpha}$ .

1 — красный компонент; 2 — центральная абсорбция; 3 — синий компонент. Сплошная линия — орбитальная кривая, рассчитанная нами по абсорбционным линиям [4], штриховая линия — орбитальные решения с фиксированными периодами ( $5^d 5997$ ), моментом прохождения периастра ( $2443084^d 928$ ) и эксцентриситетом (0.06). Неуверенные значения  $v_r$  взяты в скобки.

фигтивного эксцентриситета — обсуждалось для массивных рентгеновских систем в работах Мильгрота [10], ван Парадиза [11] и других. Оно связано главным образом с приливной деформацией главного компонента.

Лучевые скорости красного и синего эмиссионных компонентов  $H_{\alpha}$  в общих чертах повторяют абсорбционную кривую. Это отчетливо видно из рис. 3, где лучевые скорости  $v$ - и  $R$ -компонентов приведены в фазах «абсорбционного» решения. Однако разброс значений в близких фазах довольно велик, что свидетельствует о долговременных вариациях профиля  $H_{\alpha}$ . Формальные орбитальные решения, особенно для  $R$ -компонента, имеют нереально большие эксцентриситеты

ситеты. Для количественного сравнения с абсорбционной орбитальной кривой мы предприняли еще один вариант расчетов, зафиксировав параметры  $P$ ,  $T_0$ ,  $e$  (табл. 3). Ошибки параметров заметно увеличились, возросло  $\epsilon$ , свидетельствуя о неоптимальном решении. Все же амплитуды  $K_V$ ,  $K_R$  в пределах ошибок не отличаются от  $K_{абс}$ ;  $\gamma$  — скорости равны соответственно  $v_0(V) = -270.9 \pm 11.7$  км/с,  $v_0(R) = +176.2 \pm 10.4$  км/с, но ошибки в эксцентриситетах много больше самих значений. На рис. 3 орбитальные кривые с фиксированными параметрами проведены штриховыми линиями. Таким образом, достаточно определенно можно сделать вывод о том, что эмиссия  $H_\alpha$  образуется в области, близкой к атмосфере сверхгиганта, в целом повторяющей его орбитальное движение.

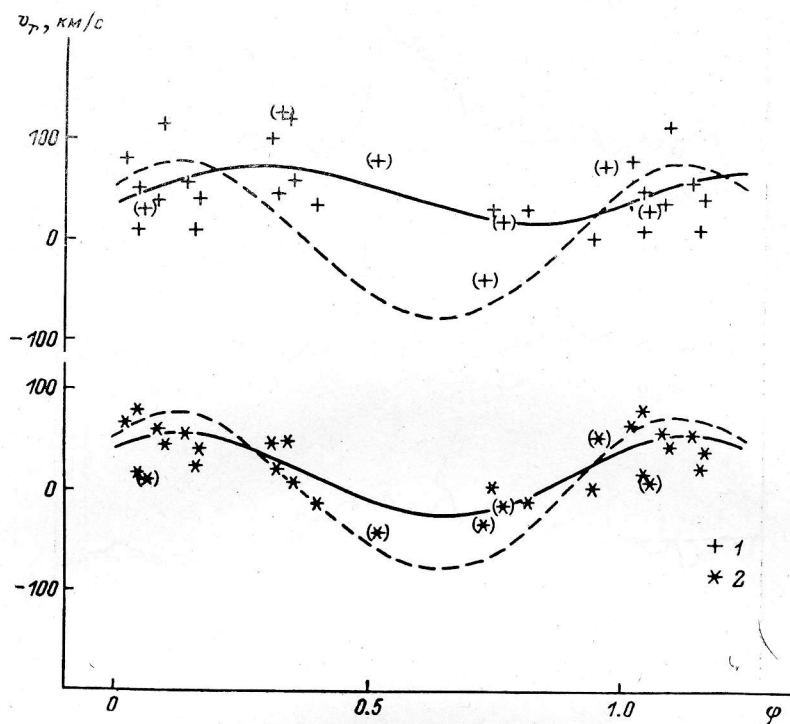


Рис. 4. Лучевые скорости редуцированной эмиссии  $H_\alpha$ .

1 — центр тяжести линии; 2 — ее середина. Сплошной линией проведены строгие решения, штриховой — абсорбционная орбитальная кривая [14].

Учет фотосферной абсорбции, расчет кривых скоростей по редуцированному профилю в основном подтверждают этот вывод. На рис. 4 нанесены значения скоростей центра тяжести и середины редуцированной эмиссии в фазах абсорбционного решения, они проведены штриховыми линиями. Строгие решения приведены в табл. 2, 3, результаты из табл. 3 указаны на рис. 4 сплошной линией. Наблюдается заметное уменьшение амплитуды кривой скоростей центра тяжести эмиссии ( $K_{цт} = 27.0 \pm 10.2$  км/с), когда во внимание принимаются и протяженные крылья линии. Центральная часть профиля, середина, гораздо лучше повторяет орбитальную абсорбционную кривую. Причина такого поведения редуцированной эмиссии может быть отчасти методической, но не исключен и незвездный вклад в крылья линии (общая оболочка в системе?).

**Долговременные изменения профиля  $H_\alpha$ .** К настоящему времени профили эмиссии  $H_\alpha$  в спектрах звезд высокой светимости изучены наблюдательно [12, 13] и теоретически [14] достаточно хорошо. Показано, что эмиссия образуется в области звездного ветра, что форма профиля чрезвычайно различается от звезды к звезде и что для одной звезды профили значительно переменны на временах от нескольких дней до нескольких лет. Теоретическое моделирование профилей  $H_\alpha$  в спектрах сверхгигантов с учетом фотосферной абсорбции [14] позволило выяснить, что профили крайне чувствительны к малым изменениям в законе истечения вещества.



В морфологическом плане профили  $H_\alpha$  в спектре HDE 226868 (рис. 1) на протяжении пяти лет (1978—1983 гг.) можно разделить на три основных типа. Первый представляет собой два эмиссионных пика примерно равной интенсивности с центральной абсорбцией, достигающей  $\sim 10\%$  от уровня непрерывного спектра. Во втором типе сильна ( $\sim 20\%$  от континуума) длинноволновая эмиссионная компонента и очень слаба коротковолновая. Третий случай —

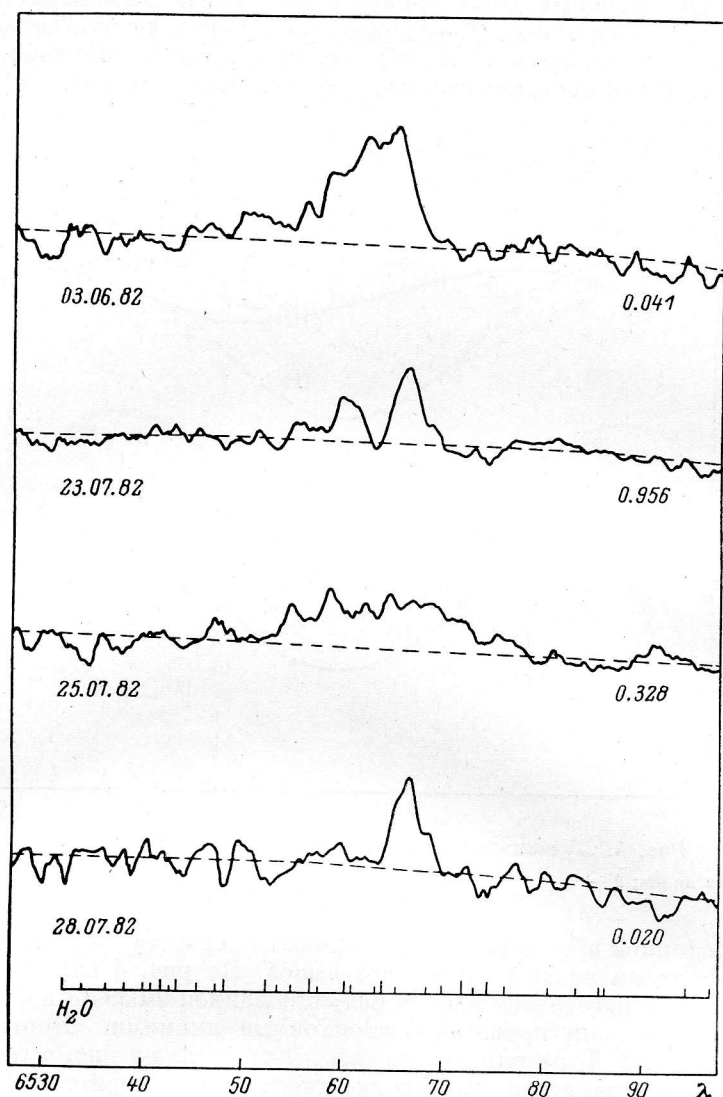


Рис. 5. Область эмиссии  $H_\alpha$  в период июнь—июль 1982 г.

Указаны даты получения спектрограмм (слева) и спектроскопические фазы (справа). Внизу отмечены положения атмосферных линий поглощения воды по [15].

резко ослабевает центральная абсорбция. Все три типа наблюдаются в узких диапазонах орбитальных фаз, так что речь не идет об орбитальных изменениях. Примером могут служить профили  $H_\alpha$  в диапазоне фаз  $\varphi = 0.0 \div 0.1$  (рис. 1). Профиль первого типа был в мае 1979 г. и в сентябре 1980 г., третьего типа — в июне 1982 г. и второго — в июле 1982 г. Очень протяженные крылья наблюдаемых профилей прослеживаются более чем до  $\pm 1200$  км/с.

Сравнивая профили эмиссии  $H_\alpha$  в спектре HDE 226868 с профилями  $H_\alpha$  в спектрах других сверхгигантов [13, 14], можно отметить сходство с  $\alpha$  Cam (09.5 Ia) в те периоды времени, когда профиль имеет тип 2. Тип 1 напоминает

профили  $H_\alpha$  в спектре  $\zeta$  Ori (09.5 Ib) с тем, однако, отличием, что коротковолновый компонент у HD 226868 имеет большую интенсивность. Тип 3 необычен и не имеет аналогов среди других сверхгигантов. Характерное время смены формы профиля — месяцы и даже дни. Так, 23 июля 1982 г. профиль имеет сильную центральную абсорбцию (тип 1), 25 июля абсорбция отсутствует и эмиссия стала шире (тип 3), 28 июля усилился красный компонент (тип 2). На рис. 5 приведены записи спектров в плотностях (для перевода в интенсивности часть

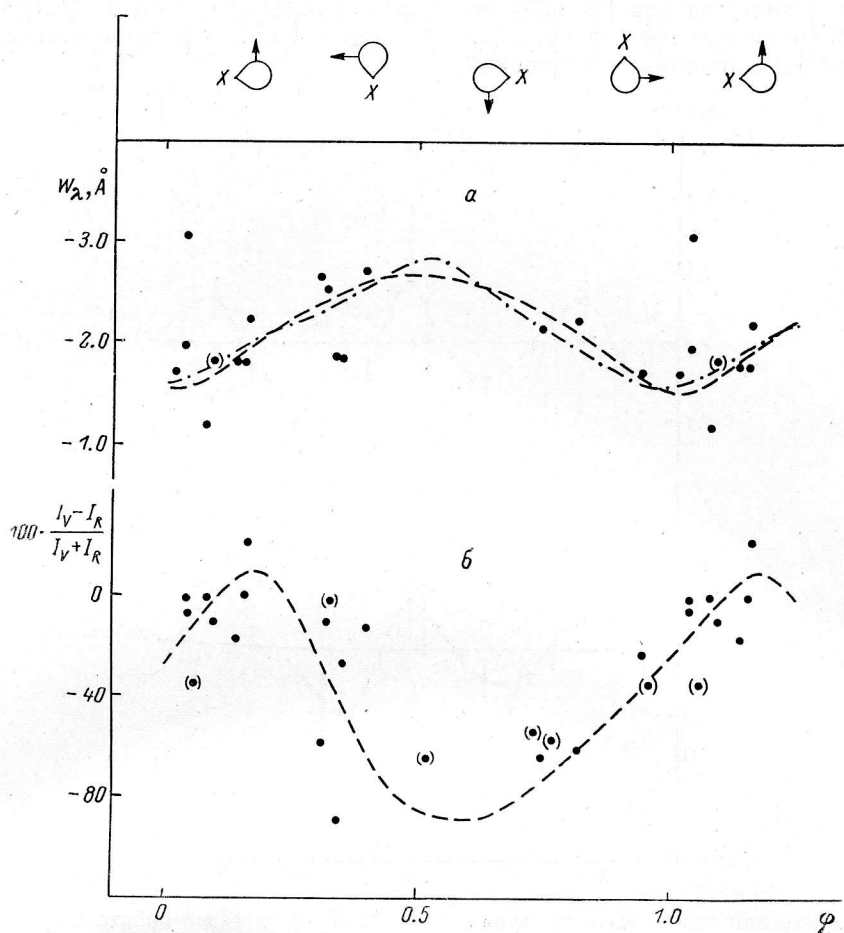


Рис. 6. Изменение параметров эмиссии  $H_\alpha$  с фазой орбитального периода.

$a$  — эквивалентной ширины редуцированной линии;  $b$  — отношения разности интенсивностей синего и красного компонентов нередуцированного профиля к их сумме. Штрихами изображены возможные зависимости, штрихпунктиром — с учетом орбитальной переменности фотосферного профиля. Вверху указаны положения сверхгиганта и вырожденного объекта через четверть орбитального периода, наблюдатель находится внизу.

из них имеет недостаточную плотность). Штрихами проведен уровень непрерывного спектра. Масштаб по оси абсцисс тот же, что и на рис. 1. Указаны теллурические линии по работе Пирса и Брэкинриджа [15], искажающие профиль  $H_\alpha$ .

**Изменения интенсивности  $H_\alpha$  — орбитальные?** После вычитания фотосферной абсорбции ( $W_\lambda$  абс = 1.30  $\text{\AA}$ ) мы измеряли эквивалентную ширину эмиссии  $H_\alpha$ . В среднем она составила  $\bar{W}_\lambda = -2.09 \text{\AA}$ , меняясь от  $-3.08$  до  $-1.19 \text{\AA}$ , т. е.  $\pm 45\%$  от среднего значения. Мы попытались свернуть эти изменения с орбитальным периодом, результат показан на рис. 6,  $a$ . В целом можно говорить о некоторой переменности эквивалентной ширины  $H_\alpha$  эмиссии с орбитальным периодом; вероятная зависимость с амплитудой  $\pm 26\%$  от среднего значения проведена штриховой линией.

Можно попытаться также учесть возможную переменность абсорбционной составляющей профиля  $H_\alpha$ . Идея наличия такой переменности основана на том, что некоторый орбитальный тренд был обнаружен в эквивалентных ширинах других водородных абсорбционных линий [7]. На рис. 7 приведены изменения эквивалентных ширин линий  $H_\beta$ ,  $H_\gamma$  с фазой орбитального периода. Проводилось усреднение в пределах  $0.1\varphi$ , указаны среднеквадратичные ошибки указанных значений по стандартной зависимости ( $W_\lambda$ ,  $\sigma_1$ ) из работы Ааб и др. [5] с учетом количества усредненных значений. Штриховой линией представлена возможная орбитальная зависимость; отметим, однако, что амплитуда изменений сравнима с ошибками измерений.

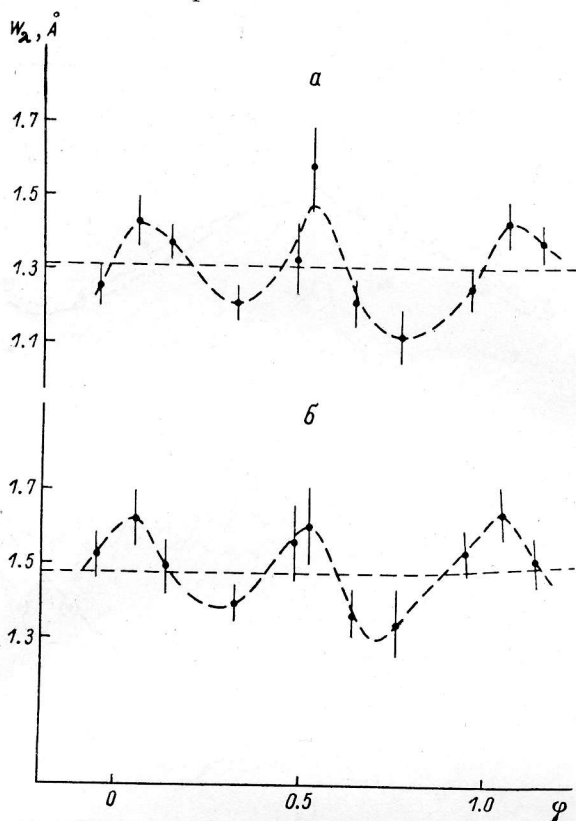


Рис. 7. Изменения эквивалентных ширин  $H_\beta$  (а) и  $H_\gamma$  (б) с фазой орбитального периода. Приведены стандартные ошибки значений  $W_\lambda$ , усредненных внутри 0.1-фазы.

В предположении, что амплитуда изменения абсорбции  $H_\alpha$  сравнима с таковой в  $H_\gamma$  ( $\pm 9\%$  от среднего значения  $W_\lambda = 1.48 \text{ \AA}$ ) и  $H_\beta$  ( $\pm 14\%$  от среднего значения  $W_\lambda = 1.31 \text{ \AA}$ ), мы можем указать влияние орбитального тренда. Редуцированная зависимость указана на рис. 6, а штрихпунктиром. От среднего значения  $\bar{W}_\lambda = 2.09 \text{ \AA}$  эти изменения составляют около  $\pm 8\%$  и не меняют характера зависимости эмиссии  $H_\alpha$  от орбитального периода. Некоторые вариации фотосферного профиля при получении редуцированного практически не влияют на положение центра тяжести и середины последнего, так как дополнительные вклады симметричны относительно середины абсорбции (на рис. 2 штрихпунктиром отмечена амплитуда изменения фотосферного и редуцированного профилей).

Отметим, однако, что разброс значений эквивалентных ширин  $H_\alpha$  в близких фазах велик, и долговременные изменения сравнимы с амплитудой орбитальной переменности.

Несмотря на весьма сильную переменность профилей во времени, мы рассмотрели также поведение соотношения интенсивностей красного и синего

компонентов редуцированной эмиссии с фазой. На рис. 6, б приведено изменение величины  $I_V - I_R / (I_V + I_R)$  с фазой орбитального периода. С заметным разбросом прослеживается зависимость с минимумом в одной из квадратур и максимумом в другой квадратуре, когда сверхгигант имеет максимальную положительную лучевую скорость. Такая зависимость достаточно естественна, если предполагать перемещение абсорбции по неподвижной эмиссии. При удалении сверхгиганта фотосферная абсорбция смещается в длинноволновую сторону, разность  $I_V - I_R$  возрастает; когда сверхгигант приближается, ситуация становится симметричной. Это несколько не сочетается с поведением выделен-

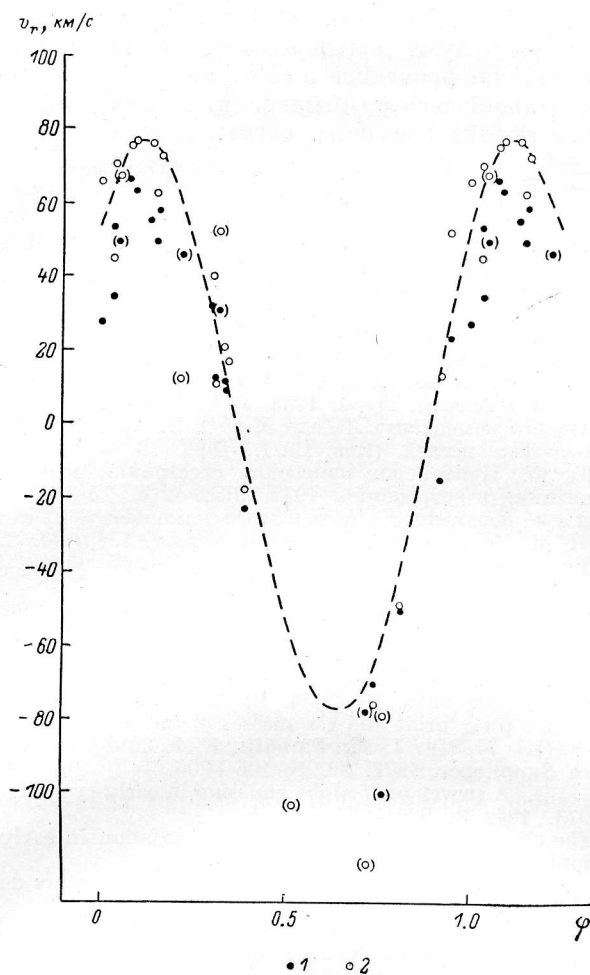


Рис. 8. Лучевые скорости абсорбционных линий гелия  $\lambda 5876 \text{ \AA}$  (1) и  $\lambda 6678 \text{ \AA}$  (2) в фазах абсорбционного орбитального решения [4], изображенного штриховой линией.

Неуверенные значения взяты в скобки.

ной эмиссии — она в основном повторяет движение сверхгиганта. Все же данная зависимость, полученная по реальным наблюдаемым профилям, представляется более надежной, чем данные по редуцированному профилю.

**Линии гелия.** В исследуемом спектральном диапазоне ( $\lambda = 5000 \div 7000 \text{ \AA}$ ) присутствуют две сильные абсорбционные линии He I:  $\lambda = 5876 \text{ \AA}$  ( $\bar{W}_\lambda = 1.27 \text{ \AA}$ ,  $\bar{R}_c = 0.31$ ) и  $\lambda = 6678 \text{ \AA}$  ( $\bar{W}_\lambda = 0.96 \text{ \AA}$ ,  $R_c = 0.28$ ). В литературе есть упоминания о необычном поведении лучевых скоростей красных абсорбций He I, отличающемся от средней орбитальной кривой [10]. Наши расчеты (табл. 2) не подтверждают этого. Присутствует эффект звездного ветра, он сильнее выражен, чем у линий He I в синем диапазоне:  $v_0 (\lambda = 5876 \text{ \AA}) = -14.6 \pm 2.4 \text{ км/с}$ ,  $v_0$

$(\lambda = 6678 \text{ \AA}) = -10.5 \pm 2.6 \text{ км/с}$ ,  $\bar{v}_0 (\text{He I, син}) = -7.4 \pm 0.6 \text{ км/с}$ . Заметно также некоторое увеличение полуамплитуды кривой скоростей в линии  $\lambda = 6678 \text{ \AA}$ :  $K = 90.4 \pm 3.7 \text{ км/с}$  [в сравнении с  $K (\text{He I, син}) = 77.1 \pm 1.0 \text{ км/с}$ ]. Для иллюстрации дифференциальных сдвигов на рис. 8 приведены лучевые скорости абсорбций  $\lambda = 5876, 6678 \text{ \AA}$  в фазах среднего абсорбционного решения.

**Заключение.** Изучение линии  $H_\alpha$  в спектре сверхгиганта HDE 226868 — оптического компонента рентгеновского источника Лебедь X-1 показало, что ее профиль формируется главным образом в протяженной расширяющейся атмосфере и истекающей оболочке сверхгиганта. Не исключены дополнительные вклады в линию, так как временами профиль имеет нетипичную для сверхгигантов форму. Присутствуют долговременная и орбитальная переменности интенсивности  $H_\alpha$ , наличие последней в соотношении красного и синего компонентов  $H_\alpha$  требует дальнейшего размышления. Линии гелия в красном диапазоне демонстрируют эффект звездного ветра.

#### Литература

1. Brusato R. J., Zappala R. R. Observations of  $H_\alpha$  in HDE 226868 // *Astrophys. J. (Letters)*. 1974. 189. P. L71—L74.
2.  $H_\alpha$  emission in Cyg X-1/J. V. Hutchings, A. P. Couley, D. Crampton, G. Fahlmann, J. W. Glaspey, G. A. H. Walker // *Astrophys. J.* 1974. 191. P. 743—748.
3. Hutchings J. V., Crampton D., Bolton C. T.  $H_\alpha$  emission in Cygnus X-1 1977 // *Publ. Astron. Soc. Pacif.* 1979—1980. 91. P. 769—799.
4. Ааб О. Э. Эмиссионная линия He II  $\lambda$  4686 и масса релятивистской звезды в системе Лебедь X-1 // Письма в Астрон. журн. 1983. 9. С. 606—611.
5. Спектр оптического компонента Лебеда X-1 / О. Э. Ааб, Л. В. Бычкова, И. М. Копылов и др. // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1982. 16. С. 3—11.
6. Антропов Ю. Ф. Прибор для измерения расстояний между спектральными линиями // *Новая техника в астрономии*. 1972. Вып. 4. С. 75—77.
7. Спектральная переменность оптического компонента Лебеда X-1 / О. Э. Ааб, Л. В. Бычкова, И. М. Копылов и др. // *Астрон. журн.*, 1983. 60. С. 1041—1050.
8. Ebbets D. Photospheric velocity fields in the O-type stars // *Astrophys. J.* 1979. 227. P. 510—518.
9. Спектроскопическое исследование оптической компоненты Лебеда X-1 / О. Э. Ааб, Л. В. Бычкова, И. М. Копылов и др. // *Письма в Астрон. журн.* 1981. 7. С. 417—421.
10. Milgrom M. Distortion of absorption-line velocity curves due to X-ray heating in X-ray binaries // *Astron. and Astrophys.* 1977. 54. P. 725—731.
11. The spectroscopic orbit and the masses of the components of the binary X-ray source 3U 0900—40 (HD 77581) / J. van Paradijs, E. J. Zuiderwijk, R. J. Takens et al. // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1977. 30. P. 195—206.
12. Rosendhal J. D. A survey of  $H$ -alpha emission in early-type high-luminosity stars // *Astrophys. J.* 1973. 186. P. 909—937.
13. Ebbets D. The structure and variability of  $H_\alpha$  emission in early-type supergiants // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1982. 48. P. 399—414.
14. Olson G. L., Ebbets D. Mass-loss rates in early-type stars determined by fitting balmer-alpha profiles // *Astrophys. J.* 1981. 248. P. 1021—1030.
15. Pierce A. K., Breckinridge J. B. The Kitt Peak table of photographic solar spectrum // *Contr. Kitt Peak National Obs.* 1973, 1974. P. 1—43.

Поступила в редакцию  
6 февраля 1986 г.