

## НОВЫЕ ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ СВЕРХГИГАНТА В СИСТЕМЕ ЛЕБЕДЬ X-1

О. Э. Ааб

Приведены результаты измерений лучевых скоростей HDE 226868 по 29 спектрограммам, полученным на 6-метровом телескопе в период 1976—1981 гг. Обсужден вопрос о точности измерений. Показано наличие звездного ветра, темп потери массы составляет  $\dot{m}=6.8 \cdot 10^{-6} m_{\odot}/\text{год}$ . Рассмотрено влияние второго компонента.

Results are presented of measuring the radial velocities of HDE 226868 from 29 spectrograms obtained with the 6-meter telescope in the period from 1976 to 1981. An accuracy of measurements is discussed. It is shown the presence of the stellar wind. Mass loss speed is  $\dot{m}=6.8 \cdot 10^{-6} m_{\odot}/\text{year}$ . Effect of the second component is considered.

**I. Введение.** Сверхгигант HDE 226868, входящий в двойную систему с компактным объектом, продолжает оставаться интересным объектом изучения. Исследование лучевых скоростей линий сверхгиганта, периодически изменяющихся с  $P=5^d6$ , является одним из источников информации как о самой звезде, так и о ее компоненте. Опубликованные лучевые скорости абсорбционных линий даны Болтоном [1, 2], Вебстером и Мардином [3], Хатчингсом и др. [4], Брукато и Кристианом [5], Смитом и др. [6], Брукато и Цапшала [7], Мэсоном и др. [8]. Болтон [2] провел анализ всех этих данных, нашел хорошее согласие между различными измерениями и получил надежные параметры орбиты:  $P=5^d5998$ ,  $K=72.2$  км/с,  $v_0=-1.7$  км/с,  $e=0.06$ ,  $f(M)(M_{\odot})=0.217$ . Эти параметры получены на основе средних по всем линиям лучевых скоростей. В последнее время появилось сообщение, в котором рассматриваются дифференциальные сдвиги между лучевыми скоростями линий различных групп, утверждается их отсутствие [9]. Настоящая статья содержит основные данные для изучения лучевых скоростей, измеренных по 29 спектрограммам, полученным на 6-метровом телескопе. В ней рассматриваются также эффекты, связанные со звездным ветром.

**II. Наблюдения.** Спектрограммы HDE 226868 получены сотрудниками отдела физики и эволюции звезд на II камере Основного звездного спектрографа БТА. Использовались дисперсии 9 и 28 Å/мм в синей области спектра ( $\lambda\lambda$  3800—5000 Å), 14 и 28 Å/мм в красной области ( $\lambda\lambda$  5000—7000 Å). Несколько спектрограмм с дисперсией 28 Å/мм получены для большой области длин волн ( $\lambda\lambda$  3500—7000 Å). Высота спектров на пластинках 0.5—0.6 мм, пластинки Kodak ПаО, 103аО, 103аF. Наблюдения выполнялись в период с ноября 1976 г. по июнь 1981 г. За этот период Суг X-1 находился в «высоком» состоянии рентгеновского излучения в июне 1980 г. [10, 11], других данных в литературе мы не смогли обнаружить.

**III. Измерения и редукция.** Все пластинки были промерены с помощью астроцидометра САО — прибора, сконструированного на базе шнельфотометра «Цейс», дополненного сканирующим устройством, осциллографом и спиральным микрометром. Точность наведения на линию, как правило, составляла 1 мкм. Лучевые скорости на каждом из измеряемых участков пластинки вычислялись первоначально в линейном приближении как для линий звезды, так и для линий лампы полого катода (ЛПК). Затем строилась редукционная кривая второго порядка по линиям ЛПК и в значения звездных скоростей вносились

ТАБЛИЦА 1

№ пп.	Юлианская дата 2440000+	D, Å/мм	φ <sub>1</sub>	φ <sub>2</sub>	Межзвездные линии				HI	
					3933 CaII	3968 CaII	4232 CH+	4300 CH	8	ε
1	3090.203	9	0.530	0.892	-8.8	-8.8	-9.0	-11.5	+24.5	+10.9
2	3092.170	9	0.881	0.244	-13.8	-12.9	-12.8	-13.2	+22.9	+22.6
3	3093.144	9	0.055	0.418	-14.8	-13.6	-15.1	-19.7	-13.1	-32.8
4	3094.193	9	0.242	0.605	-13.6	-9.5	-10.7	-10.2	-61.9	-52.0
5	3566.563	9	0.578	0.960	-	-	-14.5	-8.0	-	-
6	3625.446	9	0.090	0.475	-8.5	-13.4	-11.3	-14.4	-31.8	-23.2
7	3772.215	9	0.294	0.685	-13.8	-10.8	-14.9	-19.1	-87.1	-66.2
8	3772.406	9	0.328	0.719	-7.2	-7.2	-11.6	-6.7	-	-31.1
9	3773.368	9	0.500	0.891	-6.1	-6.6	-14.5	-8.7	-	+36.9
10	3792.244	9	0.866	0.258	-14.9	-10.2	-11.0	-5.7	+23.7	+19.9
11	3792.299	9	0.880	0.271	-10.5	-5.5	-7.8	-2.5	+22.3	+18.2
12	3793.199	9	0.041	0.432	-10.4	-4.3	-5.1	-11.1	-57.5	-27.7
13	4154.278	9	0.506	0.913	-13.2	-7.1	-15.6	-9.6	-	+22.9
14	4155.165	28	0.665	0.071	-12.8	+14.4	-	-	+67.8	+47.9
15	4155.203	28	0.671	0.078	-8.4	+16.9	-6.4	-3.8	+71.4	+64.1
16	4184.133	28	0.837	0.244	-6.6	+26.5	-	-	+32.4	+30.7
17	4388.464	9	0.317	0.733	-8.0	+4.2	-	-	+0.9	+19.7
18	4415.444	9	0.134	0.551	-9.8	-7.9	-7.4	-10.0	-	-57.4
19	4446.434	28	0.667	0.086	-26.1	-44.4	-	-	+72.4	+64.5
20	4446.519	28	0.682	0.100	-6.5	+10.3	-	-	+76.5	+109.2
21	4485.310	28	0.608	0.028	-11.4	+1.6	-	-	+38.0	+69.1
22	4485.392	28	0.622	0.042	-7.2	-1.6	-	-	+78.5	+83.8
23	4764.312	28	0.420	0.851	-3.2	+22.9	-	-	+15.2	+16.9
24	4768.344	28	0.139	0.571	-13.4	+13.0	-	-	-83.7	-86.3

Т А Б Л И Ц А 1 (продолжение)

№ пп.	HI				HeI							
	δ	γ	β		4009	4026	4120	4143	4387	4471	4713	4921
1	+60.6	+25.0	+23.9		+25.2	+14.9	+13.2	-1.7:	+23.7	+26.5	+29.2	—
2	+51.8	+22.9	+22.0		+17.1	+22.1	+17.1	+22.1	+31.0	+24.0	+34.8	+33.2
3	-21.2	-46.0	-50.0		-49.3	-51.3	-52.4	-44.7	-36.6	-52.4	-39.5	—
4	-46.9	-88.2	-112.3		-75.9	-89.9	-61.1	-79.1	-82.8	-87.5	-76.1	-78.0
5	+72.6	+52.8	+48.9		+60.6	+41.9	+38.1:	+59.0	+60.6	+42.4	+46.0	—
6	-37.4	-74.1	-90.1		-6.5:	-74.4	-83.5	-49.6	-49.9	-62.7	-71.6	—
7	-56.9:	-80.7	-90.6		-82.4	-81.6	-83.0	-66.1	-68.5	-77.5	-64.9	-68.9
8	-44.3	-80.4	-75.4		-63.1	-76.2	-62.0	-61.7	-55.3	-66.7	-59.0	-59.8
9	+46.1	+13.2:	+15.6		+38.1	+17.9	+16.7	+33.3	+22.0	+15.9	+20.6	+15.4
10	+41.1	+12.4	+9.2		+11.8	+15.6	+26.7	+29.8	+28.9	+14.7	+31.5	+23.5
11	+55.2	+13.8	+11.4		+11.2	+15.5	+7.8	+15.5	+22.4	+11.3	+23.8	+28.5
12	-18.3	-52.7	-47.6:		-53.0	-61.9	-37.7	-30.3	-51.6	-50.5	-39.9	-55.1
13	+50.8	+17.1	+15.0		—	+15.6	—	+20.4	+30.7	+15.4	+30.8	+26.3
14	+107.4	+75.9	+74.9		+35.7	+66.3	+40.7	—	+76.9	+69.2	+74.4	+88.3
15	+86.8	+61.6	+61.0		+58.5	+51.3	+66.2	+80.7	+92.2	+44.4	+87.6	+81.8
16	+45.7	+44.2	+17.7		+19.5	+33.2	-6.0:	+90.4:	+32.7	+24.0	+41.1	+65.6
17	+14.6	-19.7	—		+22.6:	-32.7	-25.3	-25.3	-49.5	-61.0	—	—
18	-32.1	-70.2	-57.9		-79.0	-98.2	-83.1	-81.6	-63.8	-70.0	-63.8	-48.4
19	+98.8	+76.4	+66.2		—	+67.3	+54.7	+30.3	+77.3	+59.0	+63.4	+105.2
20	+131.7	+78.1	+77.1		+124.2:	+88.4	+91.9	+112.2	+82.8	+65.0	+78.4	+67.0
21	+94.2	+56.2	+50.7		+102.7:	+61.4	+52.4	+86.8	+64.6	+66.0	+72.2	+72.3
22	+86.8	+68.8	+60.4		+71.8	+70.2	+79.1	+95.2	+70.6	+69.7	+79.2	+62.2
23	+17.1	-0.9	-30.3		-12.0	-13.8	+3.6	+28.0	+8.8	+3.9	+25.2	-11.2
24	-40.7	-93.3	-101.5		-62.4	-78.7	-79.5	-88.8:	-69.0	-82.0	-105.9:	-62.1

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

№ пп.	HeII					MgII	OII					
	4199	4541	4686 аос.	4786 эм.	4481		4069	4345	4349	4414	4417	4641
1	+35.4	+34.7	+57.7	-5.9+164.1	+23.4	+3.1	+42.1	+55.2	-	-	-13.4	
2	-	+39.3	+76.3	-103.5	+37.3	+24.1	+23.5	+18.4	+18.9	+45.2	-14.9	
3	-38.8	-24.4:	-21.4	+110.3	-42.3	-53.9	-16.7:	-38.9	-42.8	-101.0:	-83.4	
4	-84.0	-85.5	-94.6	+99.2	-66.3:	-97.4	-	-	-94.4	-136.0	-92.8	
5	+60.8	+47.8	+79.2	-52.4	+52.8	+18.8	+72.1	+43.0	+83.4	+75.6	+15.8	
6	-70.0:	-50.8	-73.2	+83.7	-68.2	-78.3	-37.2	-54.2	-62.0	-55.6	-112.5	
7	-61.0:	-49.4	-74.3:	+81.6	-57.0	-94.3	-77.9	-76.3	-52.6	-98.1	-134.2:	
8	-57.2	-70.9	-73.8	+62.7	-53.4	-65.1	-71.4	-80.7	-81.2	-67.8	-115.3	
9	+24.4	+28.8	+48.1	-	+31.6	+26.9	+30.2	-3.3	+20.7	+12.8	-11.2	
10	+49.0	+38.8	+72.1	-116.5+265.1	+23.0	+9.8	-	+0.8:	+43.4	+75.6	-1.2	
11	+43.2	+38.0	+61.2	-144.5+304.6	+35.0:	+2.7	-19.7	+3.1	+29.9	+24.4	-	
12	-63.9	-51.4	-48.8	+25.6-128.2	-40.6	-65.7	-73.3	-67.6	-54.9	-22.3	-60.1	
13	+36.3	+48.5:	-	-	+12.1:	-21.2	+17.4	+75.7:	-	-	-16.5	
14	+3.1:	+13.4:	+124.0	-76.7	+125.6:	+49.9	-	-	-	-	+29.7	
15	+103.4	+80.7	+125.4	-113.5	+81.4	+40.8	-	-	-	-	+57.0	
16	-	+37.3	-	-250.6	-	-	-	-	-	-	+11.9	
17	-	-11.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-78.4	
18	-62.1	-	-191.1	+43.1	-	-57.6	-	-	-	-	-148.0:	
19	+111.5	-	+131.5	-70.7	-	+79.6	-	-	-	-	-	
20	+112.6	-	+141.9	-62.2	+150.7:	-	-	+64.4	-	-	+57.5	
21	+108.1	+73.4	+161.1	-58.9	+120.9	+116.8	-	-	-	-	+48.1	
22	+79.6	+83.0	+151.1	-49.8:	-	+53.9	-	+57.9	-	-	+33.8	
23	+43.5:	+4.2	+58.9	+163.5	-7.9	+12.4	+27.8:	-0.5	-	-	-12.5	
24	-97.1	-64.7	-133.9	+69.1	-	-57.6	-	-	-	-	-100.1	

Т А Б Л И Ц А 1 (продолжение)

№ III.	NIII										SIII			
	4097	4379	4510	4514	4518	4523	4634	4634	4634	4634	4552	4567	4574	
1	+31.5	+22.3	+53.5	+52.5	+50.7	+18.8	+6.4	+30.8	+28.2	+14.9	+22.3			
2	+36.4	+76.8	+35.4	+33.7	+39.0	+66.9	+46.3	+37.3	+31.7	+39.3	+26.0			
3	-35.6	-35.2	-33.0	-25.9	-20.4	-34.0	-16.0	-20.8	-23.8	-30.2	-38.4			
4	-67.1	-60.8	-64.5	-68.9	-	-83.1	-63.8	-67.4	-81.9	-70.4	-81.7			
5	+57.4	+61.6	+58.6	+56.1	-	+52.9	+75.3	+86.0	+65.7	+66.9	+57.5			
6	-45.6	-54.8	-59.5	-63.9	-40.2	-61.8	-66.4	-38.0	-94.9	-66.9	-65.5			
7	-65.7	-75.6	-69.4	-62.7	-75.6	-	-78.8	-78.9	-89.5	-71.2	-70.8			
8	-57.6	-60.2	-69.4	-43.4	-51.1	-76.3	-43.9	-69.2	-75.8	-59.7	-81.2			
9	+13.2	+33.1	+25.8	+25.5	+45.0	+45.1	+52.0	+21.9	+22.0	+27.3	+21.3			
10	+33.0	+39.0	+89.9	+32.1	+37.5	-	+103.1	+31.4	+38.1	+15.9	+33.8			
11	+32.8	+28.2	+31.9	+21.5	-	+54.0	+32.8	+32.4	+29.8	+35.4	+51.1			
12	-40.0	-50.5	-43.9	-64.1	-	-32.2	-	-41.4	-27.8	-	-67.5			
13	+30.0	+20.7	+55.6	+57.2	-	-	+74.0	+45.1	+37.8	+49.8	-			
14	+78.3	+122.0	+50.9	+131.9	-	-	-	+139.9	+54.1	+32.2	+31.7			
15	+82.8	+131.8	+114.1	+86.1	-	-	+96.7	-	+81.8	+136.5	-			
16	+56.4	+5.0	+48.4	+28.3	-	-	-	-	+42.3	+23.5	+58.2			
17	-40.0	-29.4	-	-39.7	-	-	+30.4	+29.9	-66.1	-29.7	-			
18	-60.6	-64.2	-45.3	-82.2	-	-	-	-	-	-	-			
19	+90.0	+91.7	+68.9	+64.5	-	-	+84.9	-	+91.0	-	-			
20	+110.5	+130.3	-	+69.6	-	+44.9	+166.6	-	+89.4	+130.3	+140.4			
21	+78.2	+87.4	-	+63.8	-	+74.1	-	-	+91.7	-	-			
22	+84.4	+106.7	+89.7	+90.1	-	-	+85.8	-	+87.0	-	-			
23	+21.9	-8.6	+0.1	+57.6	-13.9	+12.6	+27.5	+44.2	+15.2	+11.8	-44.4			
24	-53.3	-50.1	-56.2	+17.0	-	-	-26.2	-11.5	-86.2	-	-			

Т А Б Л И Ц А 1 (продолжение)

№ пп.	SiIV			№ пп.	SiIV			№ пп.	SiIV		
	4089	4116	4654		4089	4116	4654		4089	4116	4654
1	+22.6	+18.8	+44.0	9	+22.6	-16.1	+32.1:	17	-28.2	-47.0	-
2	+35.8	+24.8:	+54.8	10	+21.1	+28.4	+38.2	18	-62.7	-78.2	-
3	-41.5	-44.1	-54.1	11	+36.2	+36.7	-	19	+42.7:	+71.8	-
4	-66.6	-59.8	-65.0	12	-41.8	-50.7	-37.6	20	+75.5	+77.9	-
5	+42.8	+50.1	+61.3	13	+34.3	+35.5	+90.4:	21	+65.0	+68.6	-
6	-57.9	-63.6	-48.8	14	+89.0	+97.9	-	22	+71.1	+79.8	+79.3
7	-65.7	-72.8	-	15	+68.9	+65.4	-	23	+16.9	+6.7	-
8	-62.1	-66.5	-71.5	16	+40.5	+46.5	-	24	-55.2	-79.1	-

П р и м е ч а н и е. Фазы вычислялись по элементам Шевченко и др. [19]:  $\varphi_1 = (\text{ЮД} - 2443395^{\cdot}295) / 5^{\cdot}601092$  и Болтона [2]:  $\varphi_2 = (\text{ЮД} - 2441556^{\cdot}46) / 5^{\cdot}5938$ .

Т А Б Л И Ц А 2

№ пп.	Юлианская дата 2440000+	$D_s$ А/мм	$\varphi_1$	$\varphi_2$	Межзвездные линии										HeI		H $\alpha$		CIV	
					5889	5895	5780	5797	5849	6283	6613	6660	5875	6678	эм.-	аос.	эм.+	5801	5812	
1	3613.520	14	0.961	0.345	-10.1	-11.4	-12.0	+1.0	-11.1	-	-5.5	-5.5	-22.5	-17.4	-225.1	-25.7	+161.1	+2.8	-8.4	
2	4003.504	14	0.588	0.988	-8.8	-8.0	-7.4	-11.6	-8.1	-13.8	-	-	+53.1	+70.5	-131.2	+67.7	+273.0:	+96.7:	-	
3	4155.250	28	0.680	0.036	-7.7	-8.5	-11.3	-13.5	-	+1.9	+0.5	+76.3	+55.2	+76.3	-225.2	+54.2	+232.4	+63.4	+136.7	
4	4485.310	28	0.608	0.028	-10.5	-7.8	-19.8	-19.8	-	-14.0	-2.1	-	+66.6	+75.4	-258.6	+43.2	+267.3	-	-	
5	4485.392	28	0.622	0.042	-8.5	-9.5	-9.4	+1.4	-17.5	-6.0	-	+63.6	+77.0	-181.5	+41.0	+320.5	-	-	+46.9	



необходимые поправки. Точность такой редукции 1—2 км/с. Методика разработана Е. Л. Ченцовым и опробована на большом числе спектрограмм ранних сверхгигантов, полученных на ОЗСП. Исследования камеры II ОЗСП БТА показали, что систематические ошибки не превышают 1 км/с. Лабораторные длины волн звездных линий брались из таблиц Стриганова и Свентицкого [12], для триплетов HeI — из работы Снежко и Ченцова [13]. Редукция за вращение Земли вокруг Солнца осуществлялась с помощью таблиц Ленгауэра [14]. Результаты измерений лучевых скоростей сверхгиганта HDE 226868 приведены в табл. 1 (синяя область) и 2 (красная область).

**IV. Оценки точности.** Лучевые скорости в табл. 1 являются исходным материалом для исследования достаточно тонких эффектов, поэтому важно всесторонне обсудить точность этих значений. Материал табл. 1 распадается на две группы по дисперсии (9 и 28 Å/мм). Естественно, точность измерения линий 2-й группы хуже (ухудшается чистота спектра сравнения и точность редукции, слабые и близкорасположенные линии звездного спектра становятся трудно-

измеримыми), поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать эти группы отдельно.

Могут существовать систематические разности от пластинки к пластинке за счет ошибок гидрирования. Это проявляется в изменении лучевых скоростей межзвездных линий. Из измерявшихся межзвездных линий *H* и *K* CaII, 4232 CH<sup>+</sup>, 4300 CH наиболее подходящей для контроля является Ca *K*, так как две другие слабы, а *H* CaII блендируется с H<sub>ε</sub>. Есть недостаток, относящийся к этой процедуре, связанный с тем, что на некоторых спектрограммах эта линия лежит на недостаточно плотном участке. Поэтому поправку на величину  $\Delta v = \bar{v}_{Ca K} - v_{Ca K}$  для каждой пластинки мы вносим не в отдельные значения табл. 1, а в окончательные средние скорости различных групп.

ТАБЛИЦА 3  
Точность измерения *p* лучевой скорости одной спектральной линии

Спектральная линия	<i>p</i> , км/с	
	<i>D</i> = 9 Å/мм	<i>D</i> = 28 Å/мм
H <sub>8</sub> —H <sub>12</sub>	—	9.3
HeI	8.5	16.4
HeII абсорбции	8.0	19.2
SiIV, NIII	5.7	10.6
SiIII	7.6	17.3
NIII	12.0	26.0
OII	23.3	24.2
Все линии	17.5	24.9
Все линии (с выброшенными):	8.6	11.8
м. з. (Ca K)	2.9	6.7

Средняя скорость межзвездной линии Ca *K* для всех пластинок  $v_{Ca K} = -11.1 \pm 1.0$  км/с — мы брали единую поправочную составляющую (для различных дисперсий  $\bar{v}_{Ca K} = -11.4 \pm 0.8$  км/с и  $\bar{v}_{Ca K} = -10.6 \pm 2.2$  км/с).

Несколько спектрограмм в наших наблюдениях являются «парными», т. е. полученными в течение одной ночи друг за другом. Так как лучевые скорости таких спектрограмм относятся к практически одинаковой фазе орбитального периода, то весьма удобно использовать их для того, чтобы получить информацию о точности индивидуального измерения. Дисперсия  $\sigma$  распределения разностей  $\delta$  между измерениями одной линии на двух спектрограммах ( $\sigma = [\sum \delta^2 / (n-1)]^{1/2}$ , где *n* — число линий) колеблется между 13.5 и 14.2 км/с для 9 Å/мм и между 21.6 и 25.3 км/с для 28 Å/мм. Типичная величина, найденная таким образом,  $\bar{\sigma} = (\sum \sigma^2 / N)^{1/2}$ , где *N* — число «пар», составляет 13.9 и 23.5 км/с для двух дисперсий соответственно. Следует отметить, что эта оценка точности не совпадает с той, когда одна и та же пластинка промеряется дважды. В нашем случае входит не только точность измерения линий на одной пластинке, но и изменения от пластинки к пластинке.

Другим методом получения информации о точности определения лучевой скорости отдельной линии является сравнение результата, полученного для частной линии, со средней лучевой скоростью, полученной по всем линиям. Дисперсия распределения разностей среднего и индивидуального дает хорошую оценку точности отдельного измерения скорости. Так как *n* невелико, здесь правильнее говорить не о дисперсии, а о среднеквадратичной погрешности. Для каждой

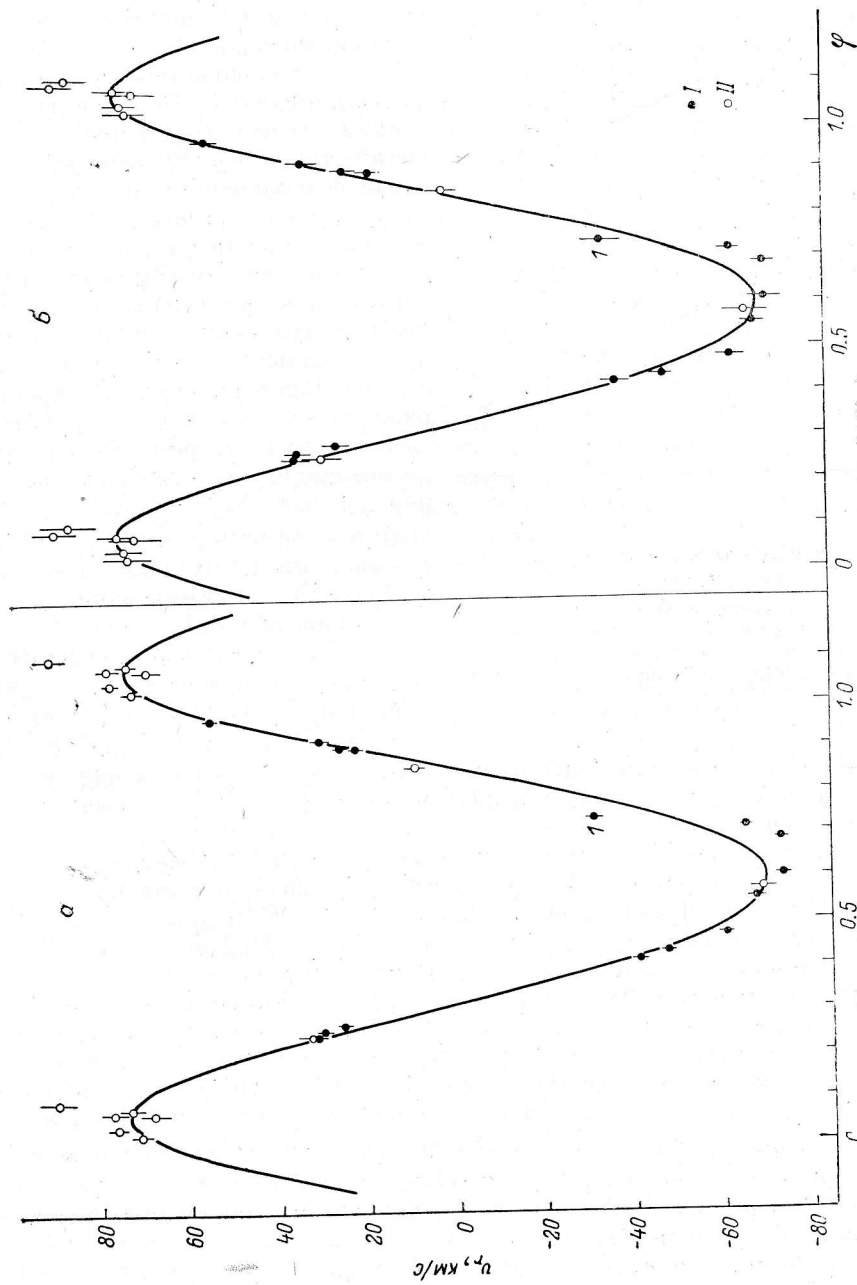


Рис. 1 Лучевые скорости, усредненные по всем линиям, в зависимости от фазы орбитального периода.

*a* — не исправленные; *b* — исправленные за систематические различия. Вертикальные черточки отмечают  $\pm 8$  (*a*) и  $\pm 4$  (*b*) полученных значений; *I* — 9 Å/мм; *II* — 28 Å/мм.



спектрограммы мы определили среднюю лучевую скорость для высших балмеровских линий  $H_8-H_{12}$  (если они были), линий HeI, HeII, SiIV+NiII (3 сильные линии), NiII, SiIII, OII и для всех линий вместе. Последняя величина определялась в двух вариантах — в первом усреднялись все линии, входящие в таблицу, во втором отбрасывались неуверенно измеренные (со значком:) и подверженные значительным систематическим сдвигам из-за скрытого либо явного блендирования —  $H_8$ , 4069 OII, 4349 OII, 4641 OII, 4523 NiII, 4534 NiII. Такой отбор линий приводил к изменению самого значения не более чем на 3.5 км/с,

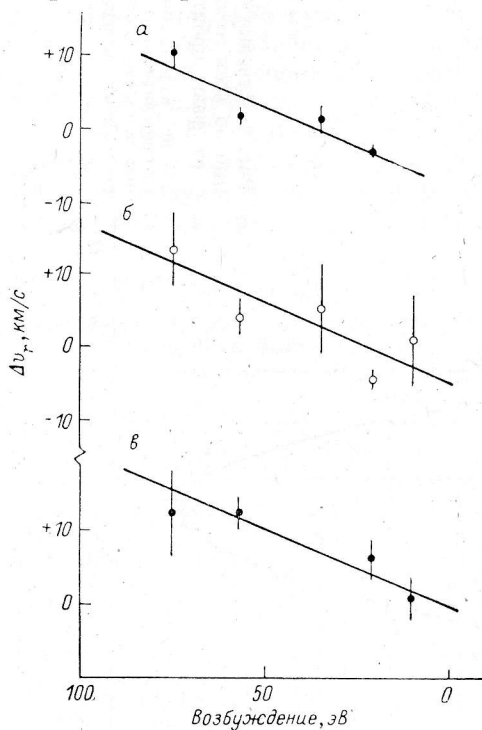


Рис. 2. Зависимости лучевая скорость—возбуждение.

*a* — по спектрограммам с дисперсией 9 Å/мм; *b* — с дисперсией 28 Å/мм; *v* — для сверхгиганта  $\alpha$  Cam ( $D=9$  Å/мм). Отмечены среднеквадратичные ошибки усредненных по всем фазам значений  $\Delta v_r$  и ошибки  $v_r$   $\alpha$  Cam средних по двум спектрограммам.

использование  $\sigma$  становится более правильным. Для вычисления параметров орбиты в дальнейшем мы используем систему весов  $g=1/\sigma^2$ , где  $\sigma$  вычисляется по приведенной формуле.

Кривая из работы Болтона [2] приведена на рис. 1 для иллюстрации отсутствия заметных систематических расхождений между нашими наблюдениями. Сравнение лучевых скоростей межзвездной линии CaK ( $\bar{v}_{\text{Болтон}} = -13.9 \pm 0.7$  км/с) может служить оценкой систематических различий. Цифрой 1 отмечено значение, полученное в «высоком» состоянии рентгеновского излучения системы.

**VI. Звездный ветер.** Темп потери массы сверхгигантом в системе Cyg X-1 определялся по методике, разработанной Хатчингсом [16]. Для групп линий Ni, HeI, SiIV+NiII, SiIII, HeII, OII вычислялись разности значений лучевых скоростей между средним значением данной группы и средним по всем линиям. Далее строилась зависимость лучевая скорость—возбуждение. На рис. 2 приведена эта зависимость: *a* — усредненная по всем 9 Å/мм спектрограммам, *b* — по 28 Å/мм спектрограммам. Наклон зависимости равен  $s = +8.6$  ( $2 \text{ эВ} [\text{км/с}]^{-1}$ ) (*a*) и  $s = +9.6$  (*b*). В дальнейшем мы используем значение  $s = +8.6$  как более надежное.

Качественная оценка состояния атмосферы сверхгиганта характеризуется

но к улучшению точности вдвое. Табл. 3 содержит принятые в дальнейшем точности измерения лучевой скорости отдельной спектральной линии для различных групп.

**V. Общие результаты.** На рис. 1 приведены лучевые скорости, средние по всем линиям, в зависимости от фазы орбитального периода. Вариант *a* — без поправки с помощью межзвездных линий, *b* — с поправкой. Вертикальными черточками отмечены  $\pm \sigma$  полученных значений, также в двух вариантах. Это не означает изменения точности результата от *a* к *b* (хотя, строго говоря, прибавлением поправки с точностью, отличающейся от точности той величины, в которую мы ее вводим, мы изменяем точность получаемой величины), а служит иллюстрацией к методам определения ошибок. В первом варианте  $\sigma$  просто приравнена к  $s$  — среднеквадратичной погрешности, во втором мы вычислили ее по методике, использующейся, например, в работе Хаммершлага-Хенсберга, [15]:  $\sigma = (s^2 + ps / \sqrt{n} + p^2/n) / (s + p/\sqrt{n})$ , где  $n$  — число линий, входящих в усреднение,  $p = (\sum p_i^2 / N)^{1/2}$ , суммирование идет для всех групп табл. 3. В случае 9 Å/мм при  $n = 33 \div 35$ , практически не меняющемся от пластинки к пластинке,  $\sigma$  превосходит  $s$  не более чем на 1.5 км/с, для спектрограмм с дисперсией 28 Å/мм

у Хатчингса числом от 1 до 7, означающим число спектроскопических эффектов, проявляющихся в расширяющейся атмосфере. Для сверхгиганта HDE 226868 эти эффекты следующие: 1)  $H_\alpha$  в эмиссии, 2) прогрессия бальмеровских скоростей, 3) есть соотношение скорость—потенциал возбуждения, 4) линии  $\lambda$  4471 HeI и  $\lambda$  4481 MgII имеют различные лучевые скорости (0.5 признака). По эмпирически прокалиброванным диаграммам, приведенным Хатчингсом [16], связывающим темп потери массы с наклоном зависимости скорость—возбуждение и спектроскопическими критериями, имеем  $\dot{m} = 6.8 \cdot 10^{-6} \dot{m}_\odot/\text{год}$ .

Сравнительное определение  $\dot{m}$  для сверхгиганта  $\alpha$ Cam (O9.5 Ia), выполненное по той же методике на основе спектрограмм, также полученных на ОЗСП БГА, дает величину  $\dot{m} = 6.0 \cdot 10^{-6} \dot{m}_\odot/\text{год}$ . Зависимость лучевая скорость—возбуждение приведена на рис. 2, в.

**VII. Влияние второго компонента.** Представляет особый интерес изучение эффектов, связанных с влиянием второго компонента, которые в ряде работ были рассмотрены теоретически. Обзор этих работ сделан в статье Хатчингса [17]. Он полагает, что абсорбционные линии, используемые для определения орбитальных элементов и, следовательно, масс для рентгеновских двойных звезд, подвергаются искажению за счет четырех главных эффектов. Ими являются: 1) распределение излучения в континууме по нагретой и искаженной главной звезде, которое смещает центр излучения наблюдаемых линий от центра масс звезды; 2) подобное смещение из-за изменений силы линии по поверхности искаженной и нагретой звезды; 3) изменение самого процесса образования линии за счет рентгеновского излучения; 4) искажение абсорбционных линий за счет блендирования эмиссией, образующейся в веществе, которое переносится на вторичный компонент (рентгеновский источник). Хатчингсом рассмотрена относительная важность всех эффектов в системах с горячим сверхгигантом. Им же приведены зависимости искажения лучевой скорости линий HeI, SiIV, OII от фазы орбитального периода для Суг X-1. Мильгром [18] рассмотрел изменение процесса образования бальмеровских линий за счет рентгеновского излучения, привел кривые лучевых скоростей с учетом этого эффекта.

Все предсказанные явления не превосходят 10 км/с в полной амплитуде, поэтому на основе наших точностей и числа спектрограмм нельзя было заранее рассчитывать на обнаружение этих явлений. Тем не менее мы рассмотрели некоторые зависимости  $\Delta v_r$ , использовавшиеся при изучении звездного ветра, от фазы орбитального периода, а также  $\Delta v_r(H_\gamma)$  и  $\Delta v_r(H_\beta)$ .

На рис. 3, 4 приведены эти зависимости. Штриховыми линиями отмечена погрешность  $\pm 3\sigma$  от среднего по всем фазам значения. Показана также погрешность для типичного одиночного измерения (справа). Трудно говорить о каких-либо закономерностях, кроме некоторого уменьшения  $\Delta v_r(H_\beta)$  на фазе 0.5—0.6 и уменьшения  $\Delta v_r(\text{SiIV})$  на фазе 0.0—0.1.

**VIII. Скорости в красной области спектра.** Немногочисленные данные в красной области спектра все же позволяют сделать некоторые заключения. Мы не исправляли лучевые скорости линий за систематические сдвиги, так как скорости межзвездных линий  $D_1$  и  $D_2$  NaI весьма близки для различных дат.  $\bar{v}_{\text{NaD}} = -9.1 \pm 0.6$  км/с. Так как мы, как правило, не обладали средней лучевой скоростью по всем линиям, мы заменили ее скоростью в соответствующей фазе кривой Болтона. Средний дифференциальный сдвиг по линиям HeI (среднее по  $\lambda$  5876, 6678) равен  $\Delta \bar{v}_r^{\text{кр}} = -3.5 \pm 2.1$  км/с, т. е. не превосходит такового для линий гелия в синей области ( $\Delta \bar{v}_r^{\text{син}} = -3.2 \pm 0.9$  км/с). Абсорбция в линии  $H_\alpha$  имеет дифференциальный отрицательный сдвиг  $\Delta \bar{v}_r(H_\alpha) = -17.2 \pm 2.5$  км/с, что является естественным продолжением бальмеровского хода:  $\Delta \bar{v}_r(H_\beta) = -14.0 \pm 2.6$  км/с,  $\Delta \bar{v}_r(H_\gamma) = -8.6 \pm 1.7$  км/с; линия  $H_\delta$  имеет положительный сдвиг за счет сильного блендирования линией  $\lambda$  4103 NIII. Мы не имеем пока возможности говорить об особенных явлениях в красной области, кроме таких, которые типичны и для любого одиночного сверхгиганта.

**IX. Заключение.** Анализ спектрограмм, полученных на 6-метровом телескопе, позволяет нам надежно утверждать, что сверхгигант HDE 226868 показывает признаки потери массы. Степень потери массы не превосходит заметно

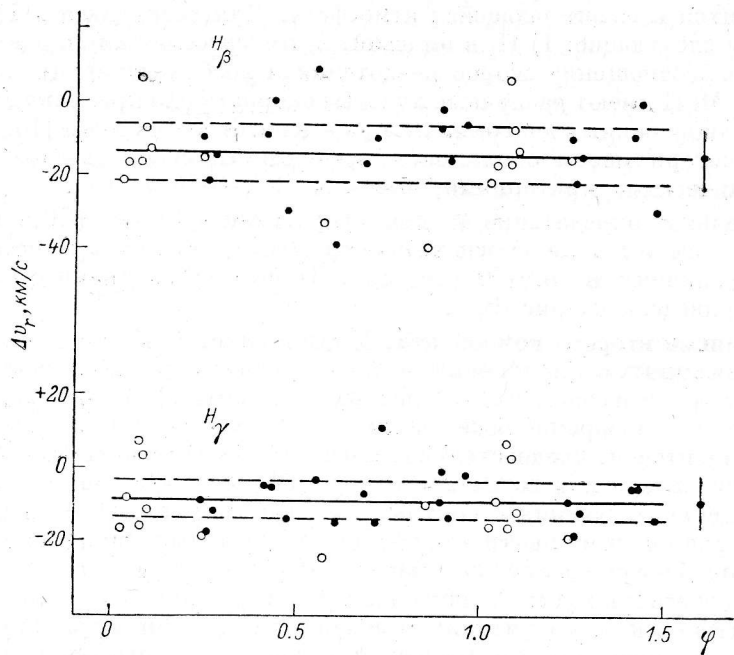


Рис. 3. Поведение  $\Delta v_r$  ( $H_\beta$ ) и  $\Delta v_r$  ( $H_\gamma$ ) с фазой орбитального периода. Справа показана ошибка типичного значения.

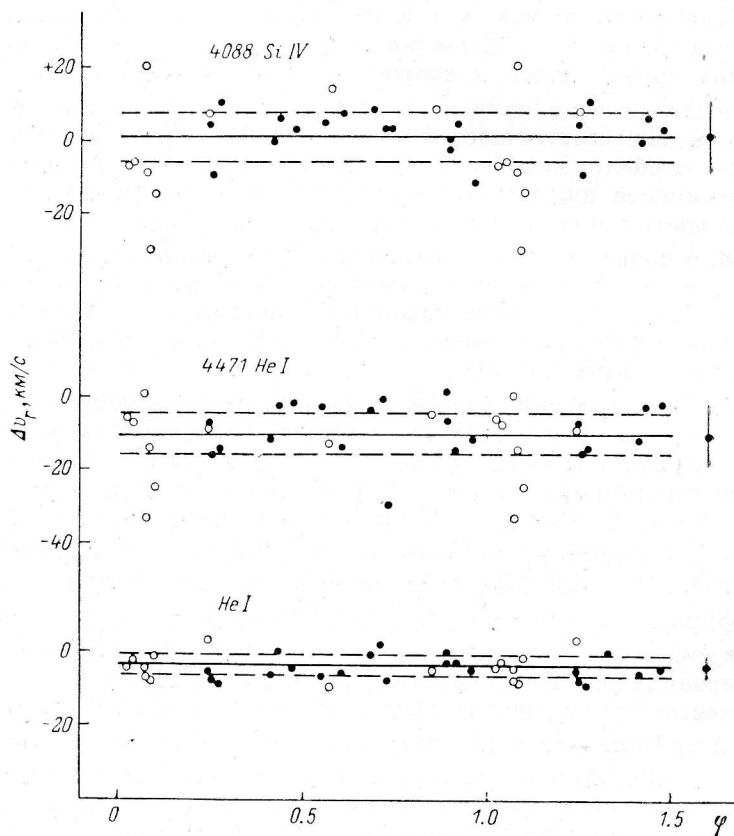


Рис. 4. Поведение дифференциальных сдвигов He I и Si IV с фазой орбитального периода. Штриховыми линиями отмечена полоса  $\pm 3\sigma$  от среднего значения.

таковой для обычных одиночных сверхгигантов близкого спектрального класса и светимости и находится в хорошем согласии с найденной Хатчингсом оценкой  $3 \cdot 10^{-6} m_{\odot}/\text{год}$  [17]. Эффекты, связанные с тем, что сверхгигант находится в тесной двойной системе и с влиянием рентгеновского излучения вторичного компонента, не обнаруживаются на данном уровне точности наблюдений. Результаты определения элементов орбиты для отдельных групп линий будут опубликованы в отдельной работе.

Автор выражает искреннюю благодарность Е. Л. Ченцову за методическую помощь и обсуждения, И. М. Копылову за интерес к работе, Л. В. Бычковой за помощь в измерениях и обработке.

#### Литература

1. Bolton C. T. Dimensions of the binary system HDE 226868=Cygnus X-1. — *Nature Phys. Sci.*, 1972, **240**, p. 124—127.
2. Bolton C. T. Orbital elements and an analysis of models for HDE 226868=Cygnus X-1. — *Astrophys. J.*, 1975, **200**, p. 269—277.
3. Webster B. L., Murdin P. Cygnus X-1 — a spectroscopic binary with a heavy companion. — *Nature*, 1972, **235**, p. 37—38.
4. Optical observations and model for Cygnus X-1 / J. B. Hutchings, D. Crampton, J. Glaspey, G. A. H. Walker. — *Astrophys. J.*, 1973, **182**, p. 549—557.
5. Brucato R., Kristian J. Spectroscopic observations of the optical candidate for Cyg X-1. — *Astrophys. J. Lett.*, 1973, **179**, p. L129—L133.
6. Smith H. E., Margon B., Conti P. S. Spectroscopic observations of the optical candidate for Cygnus X-1. — *Astrophys. J. Lett.*, 1973, **179**, p. L125—L128.
7. Brucato R. J., Zappala R. R. Observations of  $H_{\alpha}$  in HDE 226868. — *Astrophys. J. Lett.*, 1974, **189**, p. L71—L74.
8. X-ray absorption events in Cygnus X-1 observed with Copernicus / K. O. Mason, F. J. Hawkins, P. W. Stauford, P. Murdin, A. Savage. — *Astrophys. J. Lett.*, 1974, **192**, p. L65—L69.
9. Bolton C. T., Gies D. R. Re-evaluation of the orbital elements of HDE 226868=Cyg X-1. — *Close Binary Stars: Observ. and Interpretat.* Dordrecht, 1980, p. 355—356.
10. Oda M. Cygnus X-1. — *Circ. IAU*, 1980, No 3491.
11. Oda M. Cygnus X-1. — *Circ. IAU*, 1980, No 3502.
12. Стриганов А. Р., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий. М.: Атомиздат, 1966.
13. Снежко Л. И., Ченцов Е. Л. Применение моделей атмосфер для определения эффективных длин волн триплетов HeI в звездных спектрах. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1973, **5**, с. 94—99.
14. Ленгауэр Г. Г. Таблицы редукции лучевых скоростей звезд к центру Солнца. — *Изв. ГАО*, 1971, № 189—190, с. 42—71.
15. Hamerschlag-Hensberge G. A detailed study of the spectrum of the binary X-ray source HD 153919 [3U 1700—37]. II. Analysis of the radial velocities in the blue spectral region. — *Astron. Astrophys.*, 1978, **64**, p. 399—405.
16. Hutchings J. B. Stellar wind from hot supergiants. — *Astrophys. J.*, 1976, **203**, p. 438—447.
17. Hutchings J. B. Line distortion effects in supergiant X-ray binaries. — *Astrophys. J.*, 1977, **217**, p. 537—542.
18. Milgrom M. Distortion of absorption-line velocity curves due to X-ray heating in X-ray binaries. — *Astron. Astrophys.*, 1977, **54**, p. 725—731.
19. UBVR-наблюдения 1357 Cyg=Cyg X-1. Поиск оптического излучения аккреционного диска / В. С. Шевченко, В. В. Бруевич, Н. Н. Киячков, Р. А. Сюняев. — *Ин-т косм. исслед. АН СССР. Препр.*, 1978, **408**.

Поступила в редакцию 11.12.81