

ИССЛЕДОВАНИЕ МАССИВНЫХ УБЕГАЮЩИХ ОБ-ЗВЕЗД. 1. HD 188209

О. Э. Ааб, Е. Л. Ченцов

Приведены лучевые скорости индивидуальных линий в спектре убегающего сверхгиганта HD 188209 по наблюдениям на ОЗСП БТА в 1985—1986 гг. Описана методика двумерного анализа переменности лучевой скорости. Заподозрен период двойственности $P = 18^d 85$. Переменные во времени дифференциальные сдвиги линий и вариации профиля H_α свидетельствуют об атмосферных движениях типа пульсаций. Заметны изменения от ночи к ночи, продолжительность циклов составляет $5-10^d$.

Radial velocities of individual lines in the spectrum of the runaway supergiant HD 188209 obtained from the observations with the Main Stellar Spectrograph of the 6-m telescope in 1985—86 are presented. Methods of two-dimensional analysis of radial velocity variability are described. A duplicity period of $P = 18^d 85$ is suspected. Differential line shifts variable in time and variations of H_α profile indicate the atmosphere motions of pulsation type. Night-to-night variations are noticed, duration of cycles is 5^d-10^d .

1. Введение

В области исследования убегающих ОБ-звезд в настоящее время наблюдается значительный разрыв между теоретическими представлениями и наблюдательными данными. Первоначально гипотеза Бляу [1] объясняла феномен убегающих звезд разрушением пары массивных звезд при взрыве более массивного компонента. В согласии с ней практически все убегающие звезды не показывали значительных изменений лучевой скорости, т. е. в пределах точности наблюдений их можно было считать одиночными. Но спустя десятилетие модельные расчеты Ван-ден Хейвела и Хейса [2] показали, что в качестве Сверхновой взрывается проэволюционировавшая звезда, сбросившая к этому моменту существенную часть первоначальной массы на второй компонент. Такой взрыв меньшей массы в тесной двойной системе не приводит к разрушению пары, однако центр масс системы приобретает большую (несколько десятков километров в секунду) пространственную скорость. В качестве остатка взрыва рассматривается нейтронная звезда либо гипотетическая черная дыра. Расстояния между компонентами по современным представлениям, вытекающим из эволюционных расчетов [3], а также нижних пределов рентгеновских светимостей таких систем [4], должны составлять $\sim 100R_\odot$, а полуамплитуды кривых лучевых скоростей ~ 10 км/с.

Наблюдательные ряды хорошей точности ($\sigma \approx 2 \div 3$ км/с) представлены работами Стоуна [5] и Гайеса и Болтона [6]. Стоуном [5] обнаружена переменность лучевой скорости четырех звезд (ξ Per, α Cam, HD 188209 и 26 Ser), с меньшей вероятностью — еще трех звезд (θ Sge, λ Ser, HD 218915), однако не удается определенно установить, какой вид движения — орбитальное или атмосферное — вызывает эту переменность. Результаты Гайеса и Болтона [6] обескураживающи: из 36 наблюдавшихся звезд ни для одной не найдено доказательства присутствия маломассивного компаньона. Многочисленные открытия релятивистских компаньонов в работах группы ГАИШ [7—10] вряд ли можно считать окончательными ввиду низкого качества материала ($\sigma \approx 4 \div 6$ км/с) и отсутствия строгого анализа переменности.

Стоун [11] показал, что скорости убегания возрастают с массой звезды, Гайес и Болтон [6] не нашли такой корреляции. В САО АН СССР В. В. Со-

колов выделил для более детального исследования наиболее массивные ($M = 40 \div 100 M_{\odot}$) звезды с наибольшими пекулярными скоростями ($v_p = 50 \div 150$ км/с), такие как HD 14947, HD 16691, HD 188001, HD 188209, HD 218915. В настоящей статье приводятся результаты по HD 188209, O9.5Ia, $B=5^m6$.

II. Наблюдения

Наблюдения проводились с сентября 1985 г. по декабрь 1986 г. на Основном звездном спектрографе 6-м телескопа. Использовалась камера II, решетка с углом блеска $25^{\circ}10'$ (дисперсии $9 \text{ \AA}/\text{мм}$ в синей области спектра, λ 3800—5000 \AA , и $14 \text{ \AA}/\text{мм}$ в красной, λ 5400—6800 \AA). Спектры на пластинках Kodak ПаО и 103аF, для синей и красной областей спектра соответственно, расширялись до 0.6 мм; спектр сравнения лампы с полым катодом впечатывался в начале, середине и конце экспозиции на определенных расстояниях от звездного спектра для контроля возможных систематических ошибок, связанных с нестабильностью спектрографа. Калибровочный спектр впечатывался с помощью лабораторного спектросенситометра ИСП-73 на отдельную пластинку, которая проявлялась вместе со звездными спектрограммами 9 мин в MWP-2. Всего получено 19 синих и 8 красных пластинок. Материал пригоден для поиска как длинных, так и коротких периодов: полный интервал $\Delta t = 456^d$, из них последние 13 сут наблюдения велись каждую ясную ночь.

Помимо собственных результатов мы могли почерпнуть из литературы данные Боханнана и Гармани [12] (11 спектрограмм, 1974—1975 гг.), Гармани и др. [13] (3 спектрограммы, 1973 г.) и Стоуна [5] (21 спектрограмма, 1979 г.), все — для синей области спектра, область H_{α} , по-видимому, ранее не изучалась.

III. Измерения и редуция

Все полученные пластинки были промерены на осциллоскопическом компараторе САО. Из-за тепловой нестабильности компаратора и изменения дисперсии по пластинке она разбивалась на 7 участков в синей и на 3 в красной области, на которых полиномом второй степени аппроксимировалась зависимость ($\Delta v_r, \lambda$) отклонений от линейного приближения (x, λ) — эти поправки вносились в лучевые скорости линий, вычисленные в линейном приближении. Процедура традиционно около 40 лет используется для спектрограмм ОЗСП, точность такой редуции 1—2 км/с. Измерялось около 50 линий звезды в синей области, 6 — в красной, межзвездные линии H и K CaII и D_1, D_2 NaI. Большая часть лабораторных длин волн бралась из таблиц Стриганова и Свентицкого [14], эффективные длины волн для триплетов HeI находились на основе работы Снежко и Ченцова [15], для некоторых других бленд — на основе работы Конти и др. [16]. Точные длины волн измеренных линий приводятся в табл. 3. Лучевые скорости поправлены за вращение Земли вокруг Солнца с помощью таблиц Ленгауэра [17], они содержатся в табл. 1 (синяя область) и табл. 2 (красная область).

При сведении лучевых скоростей отдельных линий в среднее по пластинке и в среднее для данной линии (табл. 1а и табл. 3) мы пользовались процедурами, принятыми в исследованиях подобного рода [5, 6, 12, 18]. Обозначаем, согласно Стоуну [5] и Гайесу и Болтону [6], индивидуальную скорость линии i на пластинке j выражением

$$v_{ij} = \bar{v} + \delta v_i + \delta v_j + \varepsilon_{ij},$$

где \bar{v} — общая средняя скорость; δv_i — систематическое отличие линии i от среднего; δv_j — систематическое отличие скорости пластинки j от среднего; ε_{ij} — случайная ошибка, связанная с наблюдениями; $i=1, \dots, M$; $\bar{M}=47$; $j=1, \dots, N$; $N=19$.

Первоначально для каждой пластинки мы вычислили среднюю скорость по пластинке $v_j^{(p)}$ (0), суммируя при этом и индивидуальные разности линий

ТАБЛИЦА 1

№	Юлианская дата 2440000+	Межзвездные линии CaI		Водородные линии										HeI					
		3933	3968	10	9	8	ε	δ+	δ-	γ	β	3819	3964	4009	4026	4120	4143	4387	
1	6311.322	-10.3	-10.8	-22.0	-12.0	-10.2	-13.0	+21.3	-	-10.6	-15.8	-22.7	-6.7	+1.9	-18.3	-20.1	-21.6	-13.1	
2	6313.440	-11.5	-9.1	-	-12.2	-19.2	-3.6	+25.3	+17.6	-13.1	-8.8	-23.2	+4.6	-21.4	-13.5	-32.6	-12.1	-10.3	
3	6314.282	-9.4	-10.1	-13.2	-4.3	-12.8	+1.4	+35.6	-	+6.6	+3.1	-4.3	-6.9	-2.7	-9.0	-18.2	+1.6	-18.5	
4	6545.519	-11.0	-10.6	-	-18.5	-6.6	-5.5	+31.2	-12.2	-5.2	-13.8	+11.2	-3.3	-4.7	-8.7	-13.6	-9.6	-7.9	
5	6545.528	-9.7	-7.3	-	-16.1	-10.0	-4.7	+29.2	+12.4	-10.8	-7.3	-20.8	-5.4	+8.6	-10.9	-7.3	-7.0	-8.0	
6	6546.412	-11.5	-12.2	-	+6.6	-18.3	+6.4	+28.3	+4.4	-4.6	-11.2	-15.1	-5.9	-22.2	-11.3	-17.5	-17.9	-9.8	
7	6547.544	-11.8	-12.8	-	-17.0	+3.8	-3.2	+35.4	-	+0.1	-19.1	-23.8	-16.4	-24.3	-9.2	-9.0	-6.8	-4.5	
8	6655.245	-10.4	-11.2	-	+12.2	+5.5	-11.9	+29.2	+7.8	+7.0	+29.3	-9.2	+5.1	+8.2	-3.0	+3.7	+1.8	-6.5	
9	6695.328	-10.7	-10.2	-	-38.3	-18.2	-1.4	+31.5	+10.1	-8.1	-19.6	+2.2	+2.2	-5.7	-7.3	-9.2	-2.0	+4.4	
10	6698.231	-12.2	-11.2	-	-11.3	-0.4	+8.4	+36.6	+17.3	+3.6	+6.8	-23.6	-8.8	-17.4	-2.3	-11.3	-8.7	-11.4	
11	6754.144	-8.2	-9.4	-	-8.1	+3.3	-3.6	+28.3	+22.3	+1.4	+4.2	-11.8	+3.6	+3.0	-8.2	-23.0	-12.1	+0.5	
12	6755.118	-9.9	-10.8	-13.0	-6.9	-4.1	-6.5	+22.7	+9.6	-2.3	-12.2	-12.9	-16.2	-2.8	-13.0	-9.4	-7.9	-1.9	
13	6757.126	-9.0	-9.0	-	-	-10.3	-27.6	+26.5	-	-13.4	-22.1	-	-30.3	-2.3	-9.9	-17.1	-14.9	-15.4	
14	6758.228	-13.4	-14.9	-	+0.4	-6.6	-12.3	+29.5	+5.5	-10.6	-	-19.8	-9.2	+5.5	-11.3	-25.0	-22.6	-6.8	
15	6759.109	-12.9	-11.4	-1.0	-18.8	-25.5	-13.9	+16.3	+6.1	-19.3	-18.6	-24.9	-17.4	-24.9	-20.0	-13.2	-17.1	-17.1	
16	6761.104	-11.0	-15.4	-	-31.3	-23.6	-28.2	+16.8	-3.9	-22.4	-34.8	-56.7	-24.4	-9.3	-19.2	-	-14.9	-21.2	
17	6762.095	-11.8	-11.5	-	+7.2	-8.0	-10.4	+25.5	-	-6.3	-5.7	-12.7	-11.4	-9.2	-12.5	-11.6	-16.5	-6.2	
18	6765.110	-13.4	-12.3	-	-	-18.7	-17.7	+20.2	-2.8	-4.3	+0.4	-1.3	-15.2	-22.3	-19.9	-20.2	-21.8	-13.0	
19	6767.119	-11.5	-12.2	-11.3	-10.2	-10.9	-8.3	+25.8	+13.3	-11.9	-10.0	-	-6.8	-16.4	-38.8	-16.2	-13.9	-16.2	

ТАБЛИЦА 1 (продолжение)

HeI	HeII		OII				OIII		NIII								
	4713	4921	4481	4630	4541	4686	4069	4072	4075	4345	4349	4644	4661	3961	4097	4379	4510
4471	-12.5	-7.2	-13.2	+8.8	-1.3	+5.2	+14.4	+18.8	+12.3	-3.8	-	-26.9	-	+2.5	-3.8	-5.5	+8.4
-7.2	+0.7	-4.4	-20.3	+34.8	-0.5	-2.7	+43.2	-42.7	-	-	-	-71.6	-	-13.9	-0.3	+2.1	+3.5
-5.8	+0.5	+2.4	-44.1	+12.8	-14.6	-12.4	+48.7	-10.8	-8.9	-26.1	-	-36.8	-	+22.0	+14.5	-13.6	+4.5
-10.3	-13.7	-12.0	-1.8	+20.0	-12.6	-2.9	+16.5	-8.0	-29.7	-9.4	-	-45.2	+25.6	-0.7	-5.9	+9.7	+3.4
-7.7	-8.3	-10.7	-17.8	+38.1	-8.0	-16.0	+27.3	-0.6	-	-12.0	-	-39.0	-5.6	0.0	-4.1	-12.1	-8.0
-11.6	-7.6	+1.0	-19.5	+3.5	+9.7	+7.2	+36.8	-16.2	-	+5.1	-25.6	-42.3	-	-19.8	+3.5	+3.9	-5.5
-2.6	-8.7	+4.0	-	+4.4	-15.0	+4.0	+61.2	+25.5	-21.9	-	-	-46.0	-12.3	-12.4	+10.4	+31.9	-1.5
-1.3	-9.0	+4.6	+27.6	+4.6	-1.6	+2.4	+43.6	-22.5	-12.2	-24.1	-44.9	-39.0	+3.2	+8.7	+16.1	-15.4	+10.1
-5.8	-3.1	-14.5	-20.7	-0.2	+3.2	0.0	+18.9	-36.4	+37.8	+5.2	-24.5	-50.1	+11.5	-41.9	+9.7	+0.7	-4.7
-0.7	-4.6	-13.0	-15.1	-7.2	-5.8	-19.2	+29.0	-39.8	+32.1	-14.6	-	-29.6	-44.5	-13.8	+16.0	+4.4	-12.4

Т А Б Л И Ц А I (продолжение)

He I		Mg II		N II		He II		O II					O III		N III			
4471	4713	4921	4481	4630	4199	4541	4686	4069	4072	4075	4345	4349	4641	4661	3961	4097	4379	4540
-2.6	-3.0	-0.4	-18.0	+30.5	-8.8	+0.2	+26.0	-17.1	-18.8	-19.3	-12.7	+8.4	-28.0	-26.6	+2.7	-1.2	-11.6	+0.7
-9.8	-5.3	-4.6	+15.2	+3.0	-0.7	+1.4	+10.6	-25.7	-5.9	-6.9	-25.9	-5.0	-40.7	-18.7	+0.8	-7.7	-0.4	+2.2
-6.7	-6.2	+1.3	-72.0	+3.2	-20.2	+3.9	+26.7	-8.6	+5.1	-28.1	-23.0	-14.9	+7.5	-48.7	+20.0	-0.8	-15.0	-2.4
-8.2	-9.9	+0.7	-28.6	+12.1	-6.0	+16.2	+30.2	-9.5	+8.3	-12.0	-4.9	-7.2	-45.9	-	-2.1	-3.6	-8.8	+7.0
-14.9	-17.9	-15.4	-42.1	+14.1	-24.6	-11.4	+22.0	-40.0	+5.4	-5.4	+9.1	-18.3	-63.0	-8.1	-14.1	-1.5	-13.9	-12.6
-19.0	-16.7	-14.6	-23.0	+5.3	-5.0	+4.2	+4.2	-50.4	-13.1	-45.5	-28.8	-7.4	-55.6	-44.7	-14.4	-18.4	-26.5	-28.3
-7.1	-7.5	-4.1	-24.3	+26.8	+2.2	-13.2	+42.9	+1.2	+23.7	-15.2	+23.2	+17.0	-45.2	-44.7	-4.4	-3.7	-23.5	-1.5
-14.7	-15.4	-4.2	-15.2	+18.8	-7.3	-1.8	+17.4	-56.0	-16.8	-38.3	-	-21.6	-57.2	+5.2	-7.1	-20.8	-3.4	-3.4
-12.4	-9.8	-10.2	+6.2	+5.6	-7.5	-0.6	+16.2	-18.9	-13.9	-10.3	-5.8	-20.4	-35.4	-14.2	-	-10.3	-21.7	-2.4

Т А Б Л И Ц А I (продолжение)

N III		C III			S III			Si IV						
4514	4518	4523	4534	4634	4089	4647	4650	4552	4567	4574	4088	4116	4631	4654
-0.1	-12.1	-3.6	+23.0	+24.1	+11.7	-5.4	-13.5	-14.1	-9.8	-28.6	-10.0	-12.9	-20.8	+39.7
+7.2	-4.9	+17.8	-13.0	-2.7	-12.3	+8.7	-12.7	-18.5	-4.6	-21.1	0.0	-8.9	-5.2	-2.4
+15.4	-13.3	-3.8	+11.4	+14.1	+19.7	-	+11.4	+4.3	-5.0	-31.0	+3.1	-0.4	-16.8	-18.5
-12.0	-11.0	+4.2	-2.0	+6.0	+22.4	-0.8	-2.4	-25.7	-14.6	-14.5	-5.6	-9.3	-9.5	+4.1
-8.3	+21.2	-19.6	+7.6	+12.1	+29.8	+2.4	-2.1	-18.5	-29.6	-3.1	-6.3	-11.5	+8.6	-2.6
-8.4	-37.1	0.0	-2.1	+8.8	+14.2	+1.6	-1.2	-30.1	-32.8	-41.2	-2.8	-8.2	-26.0	+9.6
-2.8	-69.3	-14.3	+3.5	+5.1	+55.9	+31.7	+8.9	-14.6	-0.7	-10.1	+6.1	-2.4	-25.1	-31.4
-4.4	-24.0	-1.7	+32.5	+12.0	+7.9	+5.8	-2.4	+2.2	+14.1	+5.4	+5.8	-1.0	-1.9	-13.4
-11.4	-18.4	-37.1	+12.0	+0.8	-5.8	+14.6	+4.6	-13.5	+4.1	-10.1	+9.3	+3.0	-29.7	+27.0
-0.8	-24.3	-10.0	-11.5	+23.2	-9.3	+16.3	+10.3	-3.7	+22.4	-56.2	+11.1	+5.9	-36.7	+22.5
-1.2	-36.2	-9.6	+35.0	+21.3	+13.4	+7.2	-2.8	+4.4	-	-	-4.1	-4.6	+0.9	-0.2
-4.4	-8.0	-24.4	+16.5	+10.3	+4.8	+8.1	-12.0	+11.1	-13.4	-5.2	-4.1	-9.6	-26.5	+22.4
-5.9	-44.7	-13.0	-0.3	-6.0	+22.0	+12.7	-13.8	-11.1	-7.2	-59.6	-5.0	-2.1	-26.3	+7.5
+0.2	-8.0	+1.2	+41.8	+5.2	+21.0	+9.1	+2.7	-21.6	-9.0	-31.6	-1.3	-7.8	-17.3	+10.7
-15.7	-40.3	-17.7	+3.0	-41.8	-9.6	+8.2	-25.9	+1.0	-42.0	-68.2	-4.1	-11.2	-18.4	-10.5
-11.8	-17.0	-15.6	+1.2	-4.5	-19.9	-14.4	-21.8	-20.6	-16.1	+12.2	-11.8	-	-24.3	-9.2
-10.1	-18.2	-16.4	+41.9	+6.0	+31.8	+23.7	-10.9	-23.1	-22.2	-53.7	-9.6	-9.6	-2.8	-1.5
-14.3	+7.1	-13.8	-3.4	-6.1	-25.5	-0.8	-5.4	-25.2	-2.6	-11.9	-9.9	-15.0	-10.8	-7.4
-5.8	+2.3	-11.2	-8.3	+15.6	+11.5	-12.6	-14.0	-13.8	+5.8	+11.6	-7.2	-8.8	-23.9	-4.6

ТАБЛИЦА 1а

№	Юлианская дата 2440000+	\bar{v}_r	σ	n	$v_{Ca, K}$
1	6311.322	-9.2	1.1	45	-10.3
2	6313.440	-6.5	1.2	44	-11.5
3	6314.282	-1.9	1.0	46	-9.4
4	6545.519	-8.1	1.0	48	-11.0
5	6545.528	-7.0	0.9	46	-9.7
6	6546.412	-7.4	1.0	47	-11.5
7	6547.544	-3.9	1.5	43	-11.8
8	6655.245	+1.4	1.2	49	-10.4
9	6695.328	-5.2	1.4	48	-10.7
10	6698.231	-2.5	1.4	48	-12.2
11	6754.144	-1.7	0.9	47	-8.2
12	6755.118	-6.6	0.8	50	-9.9
13	6757.126	-8.9	1.4	44	-9.0
14	6758.228	-6.3	1.0	47	-13.4
15	6759.109	-15.6	0.9	49	-12.9
16	6761.104	-18.8	1.2	46	-11.0
17	6762.095	-6.2	1.0	47	-11.8
18	6765.110	-13.0	1.0	45	-13.4
19	6767.119	-10.4	1.0	48	-11.5

ТАБЛИЦА 2

№	Юлиан- ская дата 2440000+	Межзвездные линии			HeI		HeII	OIII	СIII _{эм}
		5889 NaI	5896 NaI	6613	5875.720	6678.151	5411.324	5592.01	5695.92
1	6754.132	-11.5	-12.2	—	-8.2	-2.0	-8.1	-0.6	-2.1
2	6755.143	-10.9	-12.0	-1.1	-6.1	-10.5	+3.1	+6.7	+36.5
3	6758.249	-14.3	-16.6	-2.4	-5.4	+0.8	-0.7	+10.7	-0.5
4	6759.118	-13.2	-14.0	+5.0	-17.5	-10.5	-8.4	+4.0	:
5	6761.120	-13.3	-14.1	—	-25.4	+4.5	-2.2	+18.6	+22.7
6	6762.109	-13.0	-13.2	—	+0.4	-6.3	-8.0	+13.9	+18.3
7	6765.123	-13.6	-15.7	-18.2	-14.5	-12.4	-15.6	+1.2	+5.1
8	6767.102	-11.8	-13.2	—	-12.8	-8.2	-8.7	+9.1	+20.1

ТАБЛИЦА 3

Линия, λ	\bar{v}_r	σ	σ_1	n	Линия, λ	\bar{v}_r	σ	σ_1	n
H					NII				
3797.900	-4.2	5.2	11.6	5	4630.543	+20.5	2.8	12.1	19
3835.386	-4.0	2.6	10.8	17	HeII				
3889.051	-3.2	1.4	6.2	19	4199.87	+0.3	2.0	8.6	19
3970.074	-1.0	1.9	8.3	19	4541.59	+4.1	2.2	9.5	19
4101.737	+15.9	2.2	8.1	14	4685.682	+35.1	2.8	12.3	19
4101.737+	+33.3	1.0	4.3	19	OII				
+4103.37					4069.639	-12.6	4.3	18.6	19
4340.468	+0.4	1.2	5.3	19	4072.164	+5.0	5.4	20.8	15
4861.332	-1.6	2.7	11.3	18	4075.868	-8.2	3.2	13.3	17
HeI					4345.562	-7.3	6.3	20.8	11
3819.632	-10.6	3.0	12.2	16	4349.426	+2.2	3.6	14.0	15
3964.730	-2.0	1.8	7.6	19	4641.811	-34.7	3.6	15.9	19
4009.268	-1.4	2.3	10.0	19	4661.635	-4.6	6.4	22.2	12
4026.218	-6.1	1.6	6.9	19	OIII				
4120.840	-8.8	1.8	7.6	18	3961.59	+0.8	3.4	14.4	18
4143.761	-4.9	1.4	6.2	19	NIII				
4387.930	-2.7	1.3	5.7	19	4097.31	+7.1	1.7	7.5	19
4471.523	-1.6	0.6	2.8	19	4379.09	-0.3	3.1	13.3	19
4713.185	-1.4	1.0	4.5	19	4510.92	+4.6	1.4	6.3	19
4921.934	+1.6	1.3	5.6	19	4514.89	+1.9	1.9	8.3	19
MgII					4518.18	-10.3	4.7	20.6	19
4481.224	-13.7	4.5	19.1	18	4523.60	-3.0	2.7	11.8	19

ТАБЛИЦА 3 (продолжение).

Линия, λ	$\bar{\delta v}_r$	σ	σ_1	n	Линия, λ	$\bar{\delta v}_r$	σ	σ_1	n
4534.57	+16.8	3.6	15.8	19	4567.823	-2.0	3.5	14.9	18
4634.16	+20.8	3.7	16.1	19	4574.759	-18.3	6.0	25.4	18
4103.37	-22.4	4.3	14.8	12	SiIV				
4641.02	+13.9	1.9	8.1	19	4088.854	+4.5	1.3	5.6	19
СIII					4116.097	-0.1	1.3	5.3	18
4069.22	+16.6	4.0	17.6	19	4631.00	-9.6	2.6	11.3	19
4647.42	+15.1	3.6	15.5	19	4654.323	+8.0	4.2	18.1	19
4650.40	+1.5	1.8	8.1	19					
SiIII									
4552.616	-6.5	2.2	9.4	19					

δv_i ; всем значениям скорости придавались единичные веса, более того, в этом приближении сохранялись и неуверенно измеренные линии. Среднеквадратичная ошибка полученных значений $v_j^{(p)}$ менялась от 1.7 до 3.5 км/с, $\bar{\sigma} = (\sum \sigma_j^2/N)^{1/2} = 2.5$ км/с, разность между максимальным и минимальным значением скорости $\Delta v_j^{(p)} |\max - \min| = A = 20.1$ км/с, общее среднее $\bar{v} = (-6.9 \pm 1.1)$ км/с.

Независимо, для первой оценки того, какие изменения преобладают — от линии к линии или от пластинки к пластинке (помня при этом различие M и N), мы усреднили все измерения каждой линии по тем пластинкам, на которых она измерялась. Среднеквадратичные ошибки средних значений $v_i^{(1)}$ (0) менялись от 1.4 км/с для сильных неблендированных линий до 6.1 км/с для очень слабых линий ($\bar{\sigma} = 3.3$ км/с). Общее среднее $\bar{v} = (-7.1 \pm 1.7)$ км/с (отличие в 0.2 км/с связано с тем, что при усреднении по пластинке число линий иногда превышало 50); $\Delta v_i^{(1)} |\max - \min| = A' = 69.8$ км/с.

Для каждой линии вычислялись дифференциальные поправки δv_i как разность между средним для линии $v_i^{(1)}$ и общим средним \bar{v} , $\delta v_i = v_i^{(1)} - \bar{v}$, которые затем вводились с обратным знаком в исходные значения $v_{i,j}$. Следует отметить некоторые индивидуальные особенности линий. Линия H_δ измерялась в двух вариантах — отдельно [$\delta v(H_\delta) = +15.5$ км/с] и вместе с линией NIII $\lambda 4103 \text{ \AA}$ [$\delta v(H_\delta^+) = +34.2$ км/с], использовалось первое значение, только оно входило в общее среднее \bar{v} . Отличие около 20 км/с стоит иметь в виду, когда проводится сравнение с теми работами, которые в силу низкого разрешения не разделяют эту бленду. Влияние NIII в красном крыле H_δ обуславливает положительный сдвиг линии: в свою очередь линия NIII $\lambda 4103 \text{ \AA}$ сдвинута в синюю область [$\delta v(\text{NIII}) = -22.4$ км/с]. Внутренним блендированием отягощены линии HeI $\lambda 4026 \text{ \AA}$ ($\lambda 4025.6$ HeII, $\delta v = -5.8$ км/с) и $\lambda 4120 \text{ \AA}$ ($\lambda 4119.2 \text{ \AA}$ OII + $\lambda 4120.3 \text{ \AA}$ OII + $\lambda 4120.6 \text{ \AA}$ OII, $\delta v = -7.9$ км/с). Особо выделялись бленды $\lambda 4069$, 4630 , 4641 \AA , каждая из них при расчете v_r фигурировала как две линии, они обе входили в \bar{v} . Бленда $\lambda 4069 \text{ \AA}$ рассчитывалась как линии OII ($\delta v = -13.7$ км/с) и CIII ($\delta v = +16.8$ км/с), $\lambda 4630 \text{ \AA}$ составлялась из линий NII ($\delta v = +20.8$ км/с) и SiIV ($\delta v = -9.3$ км/с), наконец, линию $\lambda 4641 \text{ \AA}$ образуют OII ($\delta v = -34.4$ км/с) и NIII ($\delta v = +14.2$ км/с), в последнем случае линия $\lambda 4638 \text{ \AA}$ OII измерялась отдельно. По непонятной причине большое отличие от среднего имеет линия HeII $\lambda 4686 \text{ \AA}$ ($\delta v = +35.3$ км/с), видимого искажения профиля при измерениях не наблюдалось.

Введение поправок $-\delta v_i$ в индивидуальные значения скоростей и суммирование по всем линиям пластинки (по-прежнему с единичными весами) привело к новым средним скоростям $v_j^{(p)}$ (I), отличающимся от предыдущих значений в среднем на $|\Delta \bar{v}| = 0.5$ км/с, улучшению внутренней точности этих значений в 1.4 раза ($\bar{\sigma} = 1.8$ км/с), изменению общего среднего, $\bar{v} = (-7.2 \pm 1.1)$ км/с, на 0.3 км/с и сохранению амплитуды изменений $v_j^{(p)}$ во времени, $A = 20.4$ км/с.

Вычитая новые значения $v_j^{(p)}$ (I) из индивидуальных значений скорости v_{ij} и суммируя полученные разности для каждой линии по всем пластинкам, мы получили вновь дифференциальные поправки δv_i (I); их разброс для каждой линии позволял судить о качестве измерения этой линии. Среднеквадратичная ошибка одного измерения отдельной линии σ_1 колеблется от 2.8 км/с для сильной симметричной, неблендированной $\lambda 4471 \text{ \AA}$ HeI до 25.4 км/с для слабой диффузной SiIII $\lambda 4574 \text{ \AA}$; типичная величина для использовавшегося набора из 50 линий составила 12.9 км/с, при этом 46 % линий меряются с ошибками, меньшими 10 км/с.

Наконец, был просчитан вариант со взвешиванием. В исходные лучевые скорости v_{ij} вводились индивидуальные поправки линии $-\delta v_i$, определенные во втором приближении, каждое поправленное значение взвешивалось с весом $W_i = 1000/\sigma_{1i}^2$, где σ_{1i} — среднеквадратичная ошибка измерения индивидуальной линии, определенная выше. Взвешенные средние по пластинке $v_j^{(p)}$ (II) по-прежнему колеблются в диапазоне $A = 20.2$ км/с (от -18.8 до $+1.4$ км/с) со средним значением $\bar{v} = -(7.3 \pm 1.1)$ км/с, типичная ошибка одной пластинки при этом уменьшилась до $\bar{\sigma} = 1.1$ км/с ($0.8 - 1.5$ км/с), улучшившись в 1.7 раза, а по отношению к первому варианту в 2.3 раза. Среднеквадратичная ошибка единичного измерения v_{ij} единичного веса при этом составила типично $\bar{\sigma}_1 = 7.5$ км/с. Этот вариант мы приняли за окончательный, именно он приведен в табл. 1а и 3.

IV. Переменность скорости

1. Статистические тесты на переменность. Традиционным тестом на переменность лучевой скорости является сравнение внешних стандартных отклонений средних пластинки (E) со средним по пластинкам значением внутренней ошибки (I) [19, 20]. В табл. 4 собраны наши и литературные данные о переменности лучевой скорости HD 188209. Обычно при $E/I > 2$ вопрос о переменности решается положительно. При этом подразумевают, что собственная внешняя ошибка (т. е. истинная ошибка наблюдений, состоящая из внутренней ошибки в комбинации со систематическими ошибками инструментальной системы) в общем вдвое больше средней внутренней ошибки [20].

ТАБЛИЦА 4

Вариант	$v \pm \sigma$	N	E	I	E/I	$E/E_i \pm \sigma$
0	-6.9 ± 1.1	19	4.7	2.5	1.9	1.6 ± 0.6
I	-7.2 ± 1.1	19	4.8	1.8	2.6	2.0 ± 0.8
II	-7.3 ± 1.1	19	4.9	1.1	4.4	2.5 ± 1.0
[5]	-4.4 ± 1.8	21	8.3	2.8	3.0	1.8 ± 0.3

В случае нашей инструментальной системы мы имеем возможность проверить это утверждение и вычислить S — систематическую ошибку камеры II ОЗСП БТА. Используем для этого межзвездные линии CaII и NaI. Усреднение во времени 19 измерений H и K CaII приводит к средним значениям $\bar{v}_1 = (-11.2 \pm 0.4)$ км/с, $\bar{v}_2 = (-11.0 \pm 0.3)$ км/с, внешние ошибки равны $E_1 = 1.94$ и $E_2 = 1.43$ км/с. Используя разности между линиями, получаем оценку внутренней ошибки $I = 1.56$ км/с, т. е. E и I примерно равны между собой. По линиям NaI в красной области $\bar{v}(\lambda 5889 \text{ \AA}) = (-12.7 \pm 0.4)$ км/с, $\bar{v}(\lambda 5896 \text{ \AA}) = (-13.9 \pm 0.6)$ км/с, $I = 1.45$ км/с, $E_1 = 1.16$ км/с, $E_2 = 1.61$ км/с, что еще раз подтверждает отсутствие заметных систематических ошибок для ОЗСП БТА. Примем в дальнейшем $\bar{E} \equiv S = (1.56 \pm 0.16)$ км/с.

Отличие нашей инструментальной системы от некоторых других мало. Так, в каталоге Вилсона [21] даны скорости по межзвездным линиям v_r (IS): для самой HD 188209 равна -10.2 км/с, для HD 188252 и HD 188439 — звезд.

расположенных в том же направлении, но несколько ближе к Солнцу, -10.0 и -12.8 км/с соответственно. Более точные измерения Маршалла и Хоббса [22], выполненные для близких к HD 188209 звезд, 55 Cyg и др., также дают v_r (IS) от -10 до -12 км/с. Таким образом, систематическое различие наших систем не превосходит $1-2$ км/с.

Критерий E/I свидетельствует о наличии переменности лучевой скорости HD 188209, при этом наиболее выразительным представляется окончательный, взвешенный вариант ($E/I > 4$). По мнению Стоуна [5], более правильным является критерий E/E_i , где $E_i = (I^2 + S^2)^{1/2}$ включает в себя ошибки инструментальной системы. Определением переменности будет отношение $E/E_i > 1$. В табл. 4 приводятся отношения E/E_i для трех вариантов усреднения; указаны их ошибки, определяемые, согласно Стоуну [5], как

$$\sigma\left(\frac{E}{E_i}\right) = \pm \frac{E}{E_i} \left[\frac{\sigma^2(E)}{E^2} + \frac{I^2\sigma^2(I) + S^2\sigma^2(S)}{E_i^2} \right]^{1/2},$$

при этом неопределенность внешней ошибки оценивается статистическим значением $\sigma(E) = E/(2N_p)^{1/2}$. Критерий E/E_i подтверждает наличие переменности.

Более общим тестом на переменность, позволяющим оценить уровень значимости переменности как от пластинки к пластинке (PP), так и от линии к линии (LL), является двумерный анализ переменности (2AOV), который использует F -тест [18, 23, 24]. Вычислительная форма следующая:

$$F(k-1, \sum n_i - k) = \frac{\sum_{i=1}^k n_i (\bar{y}_i - \bar{y}) / (k-1)}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} (y_{ij} - \bar{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^k n_i - k},$$

где k — число групп; n_i — число наблюдений внутри группы; y_{ij} — индивидуальное наблюдение; \bar{y}_i — среднее группы; \bar{y} — общее среднее всех наблюдений; слева в скобках — степени свободы. Сравнением с табличными F -значениями, вычисленными при различных уровнях значимости функции распределения, делается вывод о наличии либо отсутствия переменности. Обычно принимается [5, 18], что изменения неслучайны, если уровень значимости $> 99\%$, т. е. вероятность случайных изменений $< 1\%$.

ТАБЛИЦА 5

Вариант	k	n_i	$\sum n_i$	\bar{y}	F	$p, \%$	Вывод
От пластинки к пластинке (PP)							
0	19	43-52	892	-6.9	3.48	< 0.05	Переменность
I	19	43-50	887	-7.2	7.14	< 0.05	»
II	19	43-50	887	-7.3	20.02	< 0.05	»
От линии к линии							
0	50	5-19	887	-7.1	13.6	< 0.05	Переменность
I	50	5-19	887	-0.2	15.3	< 0.05	»
II	41	5-19	728	-0.3	9.6	< 0.05	»

Использование F -теста для нашего набора данных (итоги в табл. 5) позволяет сделать выводы о наличии переменности как от пластинки к пластинке, так и от линии к линии с вероятностью того, что она случайна, $p < 0.05\%$ для всех вариантов. Надежность утверждения о переменности лучевой скорости HD 188209 во времени растет при переходе от первого усреднения по всем линиям пластинки к усреднению с учетом дифференциальных сдвигов линий, и наивысшая для взвешенных значений v_j^p .

Амплитуда изменений скорости по нашему материалу в 1.5 раза меньше, нежели в работе Стоуна [5], надежность переменности в его работе также ниже ($p=1\%$). Эти различия несомненно связаны с качеством наблюдательного материала (34 Å/мм, 1-м телескоп). Примечательно, что Боханнан и Гармани [12] вообще получили отрицательный результат на меньшем (61 см) телескопе при худшей дисперсии (37 Å/мм). Все это демонстрирует тот очевидный факт,

ТАБЛИЦА 6

Группа	$\bar{v}_r \pm \sigma$, км/с	n	$\sigma_{\text{г}}$, км/с	Группа	$\bar{v}_r \pm \sigma$, км/с	n	$\sigma_{\text{г}}$, км/с
Все линии	-0.2 ± 1.6	50	11.6	OII, без бленд	-2.6 ± 2.6	5	5.9
Все, без бленд	-0.3 ± 1.4	41	9.1	NIII, без бленд	$+4.7 \pm 3.6$	8	10.2
H, без H δ	-2.3 ± 0.7	6	1.8	SiIII, без $\lambda 4574 \text{ \AA}$	-4.2 ± 2.3	2	3.2
HeI	-3.8 ± 1.2	10	3.8	SiIV, без $\lambda 4631 \text{ \AA}$	$+4.1 \pm 2.3$	3	4.1
HeII, без $\lambda 4686 \text{ \AA}$	$+2.2 \pm 1.9$	2	2.6				

что для поиска малых амплитуд в изменениях лучевой скорости все же предпочтителен высокодисперсионный спектральный материал.

Среди набора в 50 линий различия неслучайны, при вычитании эффекта переменности во времени степень неслучайности возрастает, однако значительный вклад здесь вносят бленды (сравнить I и II в табл. 5). В табл. 6 и на рис. 1 приведены дифференциальные сдвиги по группам линий, усредненные

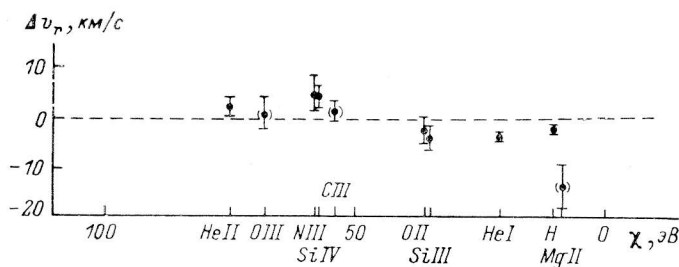


Рис. 1. Дифференциальные сдвиги линий, усредненные поэлементно по всему наблюдательному материалу, в зависимости от суммы потенциалов ионизации и возбуждения.

во времени, однако их значимость невелика ($5\% < p < 10\%$). Дело в том, что наклон зависимости скорость—возбуждение меняется во времени (см. разд. V), становясь невыразительным при усреднении.

2. Поиск периодов. Несмотря на небольшое количество спектрограмм, мы сделали попытку проведения периодограммного анализа методом Диминга [25]. Анализировались взвешенные лучевые скорости отдельно и общий массив данных наших и Стоуна [5], что позволяло увеличить число спектрограмм до 40.

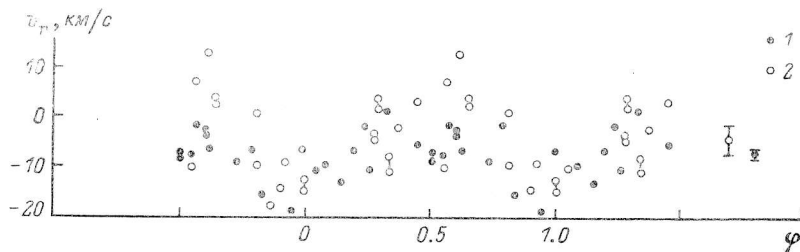


Рис. 2. Изменение лучевых скоростей, усредненных по пластинке, с периодом $P=18^{\text{д}}85$. 1 — наши данные; 2 — данные Стоуна [5]. Справа указаны средние лучевые скорости с типичными ошибками единичной спектрограммы.

Поиск велся в интервале 2—120^д. В целом итог отрицателен — значимых периодов по нашим данным не обнаруживается, вероятные значения на уровне $\sim 2\sigma$ равны 18^д8 и 42^д4, на интервале 2—10^д отсутствуют какие-либо предпочтительные периоды). В данных Стоуна [5] кроме периода 57^д наиболее мощный пик приходится на 18^д8, есть также период 5^д7. В суммированных данных сохраняется единственный общий период 18^д8, просматривается и период 5^д7, период же 57^д исчезает в шумах.

На рис. 2 данные настоящей работы и работы Стоуна свернуты с периодом $P=18^{\text{д}}851$ с начальной эпохой ЮД 2444179.636, начальной для нашего наблю-

дательного материала. Указаны средние значения лучевой скорости с типичными ошибками единичной спектрограммы. Период следует считать предварительным — необходимы контрольные наблюдения. Вместе с тем необходимо иметь в виду, что использованный выше способ усреднения данных предполагает лишь устойчивые движения — орбитальное, типа звездного ветра и т. п. Возможно, рассмотрение временной переменности дифференциальных сдвигов, к которому мы переходим, позволит продвинуться в поисках периодических изменений лучевых скоростей и выяснении их природы.

V. Атмосферные движения

Дифференциальные сдвиги линий вызваны разнообразными причинами: это и нестационарность атмосферы, и бленды, и методические погрешности. Попытаемся выделить составляющую, связанную с относительными движениями атмосферных слоев, и конкретизировать характер этих движений. К сожалению, мы не располагаем пока единой системой глубин формирования линий, которая позволила бы сделать кинематический разрез атмосферы сверх-

ТАБЛИЦА 7

Группа I		Группа II		Группа III	
Линия, λ	Вес	Линия, λ	Вес	Линия, λ	Вес
HeI 4026.18 (HeII)	20	SiIV 4088.85	22	HeII 4199.87	1.6
HeI 4120.76 (OII)	3	SiIV 4116.05	19	HeII 4541.62	1.6
HeI 4143.74	4	NIII 4097.34 (H_{δ})	8	SiIV 4631.14	0.8
		CIII 4647.55 (CIII)	1	SiIV 4654.40	0.4
HeI 4387.95	4	CIII 4650.37 (CIII, OII)	3	NIII 4379.03	1.1
HeI 4471.54	44			NIII 4510.95	4.1
HeI 4713.21	8			NIII 4514.86	2.8
				NIII 4523.51	1.1
				NIII 4641.19	2.4
				(NIII, OII)	

тиганта O 9.5, хотя бы на том методическом уровне, который реализован для В, А-сверхгигантов в [26, 27]. Качественное рассмотрение кинематики атмосферы возможно прежде всего благодаря наличию у HD 188209 бальмеровского хода. Кроме водородных мы использовали еще три группы линий, соотнося их со все более глубокими слоями: HeI, SiIV и др., HeII и др. Состав этих групп, принятые лабораторные (в том числе и эффективные) длины волн и веса приводятся в табл. 7.

В группу I включены линии HeI максимальной и промежуточной интенсивности с потенциалами возбуждения нижних уровней, близкими к 21 эВ, группа II состоит из сильных линий и бленд SiIV, NIII, CIII, для которых суммы потенциалов ионизации и возбуждения заключены в интервале 54—58 эВ, группа III — из слабых линий тех же ионов и HeII с суммарными потенциалами от 66 до 76 эВ. Лабораторные длины волн корректировались так, чтобы в каждом случае устранялось систематическое различие лучевых скоростей линии и включающей ее группы, а знак и величина вводимой поправки не противоречили структуре бленды, при отсутствии блендирования допускались поправки не более 0.02—0.03 Å. Понимая, что при этом можно потерять реальные сдвиги линий внутри групп, мы сопоставляли индивидуальные и среднегрупповые скорости только для тех дат, когда различия последних снижались до уровня ошибок их определения. Веса по-прежнему устанавливались как величины, обратно пропорциональные внутригрупповым ошибкам.

На рис. 3 сопоставляются лучевые скорости для бальмеровских линий и членов групп I, II и III. Два верхних фрагмента иллюстрируют состояние относительного спокойствия атмосферы, пригодное для корректировки длин

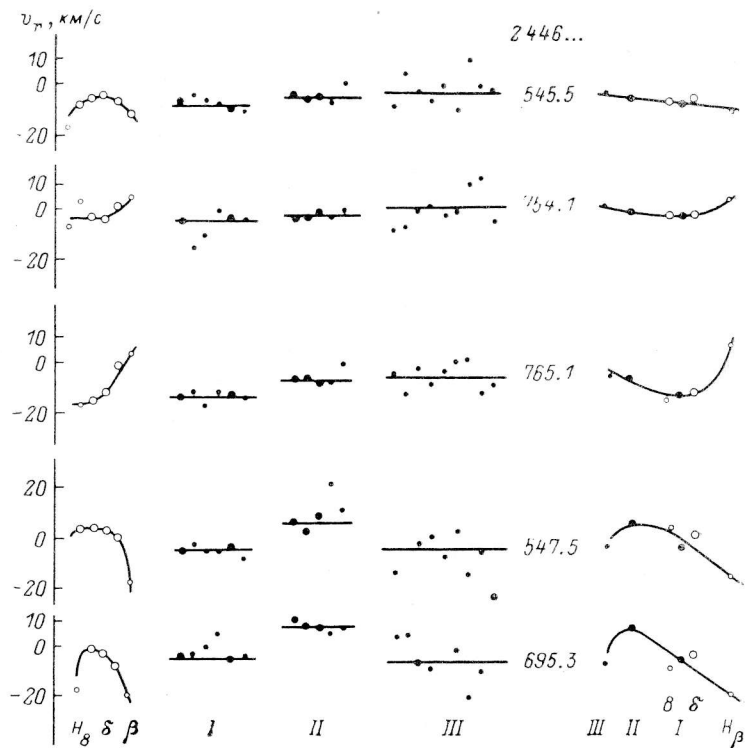


Рис. 3. Лучевые скорости водородных линий (как функции сериального номера) и линий, собранных в группы согласно табл. 7 (длины волн увеличиваются слева направо), и объединяющие их кинематические диаграммы.

волн, два нижних — состояние «расширения», говоря строже, взаимного удаления поверхностных и глубинных слоев, между ними — более сложный промежуточный случай.

ТАБЛИЦА 8

Юлиан- ская дата 2446000+	Группа I		Группа II		Группа III \bar{v}_r , км/с	$\Delta \bar{v}_r$ (I-II), км/с	Вероят- ность по F-тесту, %
	\bar{v}_r , км/с	σ	\bar{v}_r , км/с	σ			
311.32	-14.3	0.6	-9.4	0.8	+4.1	-4.9	3
313.44	-8.2	1.3	-3.0	1.5	+1.2	-5.2	—
314.28	-6.3	1.8	+5.0	1.9	-1.5	-11.3	3
545.52	-9.1	0.7	-6.3	0.8	-4.5	-2.8	—
546.41	-11.2	1.0	-2.6	1.6	-1.6	-8.6	1
547.54	-5.0	0.9	+5.2	2.0	-5.9	-10.2	2
655.25	-2.1	1.7	+3.7	1.2	+2.0	-5.8	—
695.33	-5.0	1.3	+7.7	0.7	-7.1	-12.8	0.03
698.23	-2.4	1.4	+10.8	0.8	-6.2	-13.2	0.1
754.14	-4.7	1.3	-2.8	0.7	+0.2	-1.9	—
755.12	-9.4	1.0	-6.8	1.3	-2.4	-2.6	—
757.13	-8.2	1.0	-1.1	1.5	-8.8	-7.1	4
758.23	-7.9	1.4	-1.9	1.1	+2.5	-6.0	—
759.11	-14.3	0.9	-7.5	2.3	-13.9	-6.8	—
761.10	-16.5	0.9	-11.6	2.2	-14.8	-5.0	—
762.10	-6.7	0.8	-2.3	1.7	-3.7	-4.4	—
765.11	-14.2	0.6	-8.1	0.9	-6.9	-6.1	0.8
767.12	-11.2	0.7	-6.0	1.8	-1.0	-5.1	—

В табл. 8 сведены среднегрупповые значения лучевых скоростей, для групп I и II — с соответствующими среднеквадратичными погрешностями (для группы III ошибки неприемлемо велики, результаты имеют лишь качественный, предварительно-ориентирующий смысл). Предпоследний столбец табл. 8 содержит смещения линий HeI относительно линий SiIV и др., а последний — результаты их F -тестирования; прочерки в ней означают, что вероятности случайных различий скоростей превышают 5%. Колебания этих вероятностей от даты

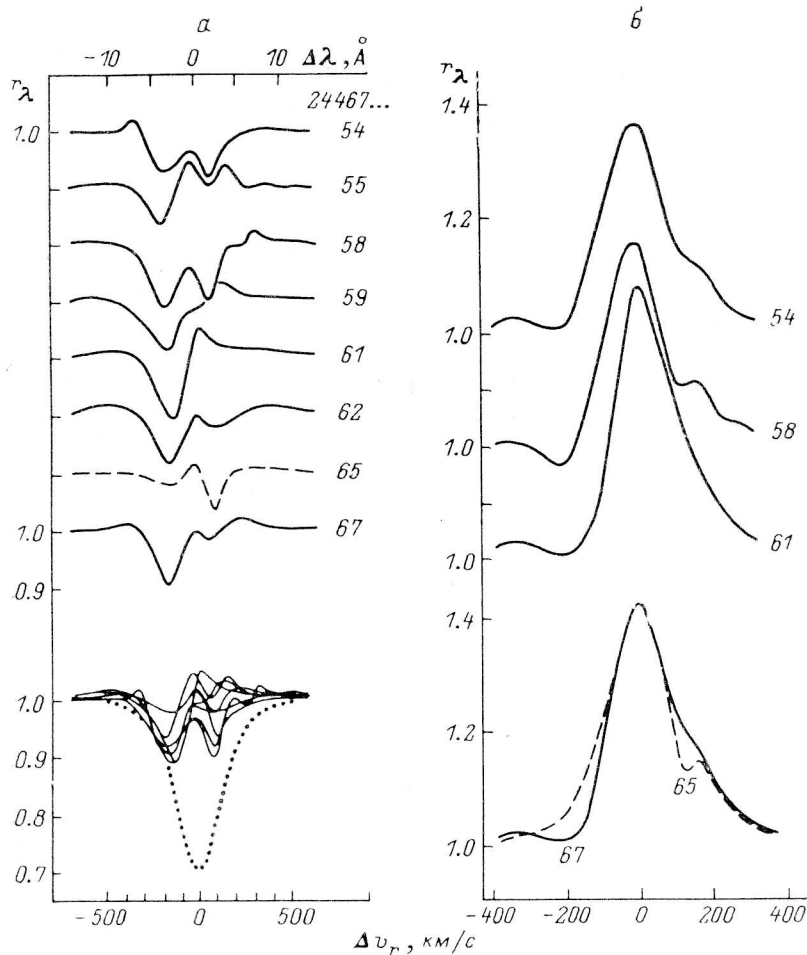


Рис. 4. Профили линии H_{α} .

а — наблюдаемые, внизу — приведенные к одному уровню непрерывного спектра в сравнении с предполагаемым фотосферным профилем; б — с учетом «фотосферной подложки».

к дате огромны: налицо реальная временная переменность дифференциальных сдвигов линий, т. е. типа относительных движений атмосферных слоев.

Чтобы охарактеризовать различные типы движений хотя бы качественно, мы прибегли к диаграммам, расставляя на них среднегрупповые скорости и параметры сглаженных бальмеровских ходов в предполагаемом порядке убывания оптической глубины — от HeII к H_{β} . Сопоставив образцы таких диаграмм, размещенные по правому краю рис. 3, с данными табл. 8, относим две верхние к моментам, когда внутриатмосферные движения не могут быть уверенно обнаружены на нашем уровне точности. Третья сверху диаграмма фиксирует достоверное «расширение» внутренних и, по-видимому, одновременное сжатие наружных слоев — бальмеровский регресс в интервале H_{δ} — H_{β} . Две нижние показывают, что «расширением» охвачена вся атмосфера, просматриваемая спектроскопически в интервале 3800—5000 Å.

Наблюдательный материал, полученный в ноябре 1986 г. (ЮД 2446754 — . . . 67), позволяет привлечь к рассмотрению и линию H_α ; кривые r_λ показаны на рис. 4, а. По форме профиля первая линия серии Бальмера резко отличается от более высоких ее членов. Обычно она состоит из 2—3 весьма четких абсорбционных и эмиссионных деталей, слишком слабых и узких для фотосферной линии водорода. В пучке сведенных вместе (в нижней части рис. 4, а) наблюдаемых кривых прорисовывается профиль типа P Cyg: кривые ложатся наиболее густо вплотную к синему крылу предполагаемого фотосферного профиля, воспроизведенного с помощью обзора Розендаля [28], и выше его красного крыла — на уровне непрерывного спектра или даже над ним. Связывая такой вид H_α с наличием у звезды расширяющейся оболочки, мы попытались получить оболочечный профиль — в первом приближении — простым делением наблюдаемой зависимости r_λ на фотосферную. Часть результатов — вполне

ясные P Cyg-профили, прямые и инверсные, представлены на рис. 4, б. Они напоминают непосредственно наблюдаемые (не исправленные за «фотосферную подложку») профили H_α для α Cam [29], лишенные, однако, их протяженных

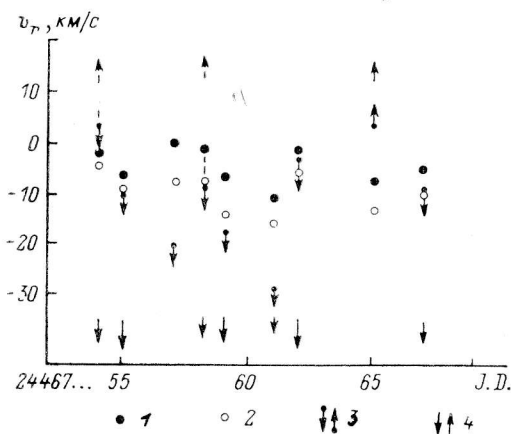


Рис. 5. Изменение со временем лучевых скоростей различных групп линий.

1 — Si IV и др.; 2 — He I; 3 — H_β с указанием знака бальмеровского хода; 4 — наличие синие- и красно-смещенных абсорбций H_α .

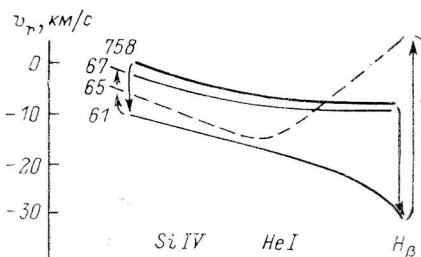


Рис. 6. Эволюция диаграммы, имитирующей кинематический разрез атмосферы, с ЮД 2446758 по ЮД 2446767.

эмиссионных крыльев. Эмиссионный пик мало изменился за 13 сут по интенсивности и положению, которое, по-видимому, соответствует лучевой скорости центра массы звезды. Абсорбционные депрессии, показывая устойчивые сдвиги, близкие к -200 и $+120$ км/с, заметно изменяли глубину, особенно красносмещенная, совершенно отсутствующая в момент ЮД 2446761. Из восьми различных профилей H_α один (ЮД 2446765, выделен на рис. 4 штриховой линией) указывает на сближение вещества оболочки со звездой, а несколько других (особенно в ЮД 2446754 и . . . 58 — жирные кривые на рис. 4) — на присутствие на луче зрения сжимающегося слоя одновременно с расширяющимся.

Существует ли цикличность в изменениях не только средней лучевой скорости HD 188209, но и картины дифференциальных сдвигов линий, и если да, то каковы характерные промежутки времени, через которые она возвращается к исходной? В связи с этими вопросами мы сопоставили на рис. 5 временные изменения лучевых скоростей для линий Si IV и др., He I, H_β (учитывая в последнем случае и знак бальмеровского хода — прогресс или регресс), и тип профиля H_α , а на рис. 6 — диаграммы, имитирующие кинематические разрезы атмосферы. Наши данные, будучи очень ограниченными и отрывочными, позволяют все же заключить, что существенная перестройка атмосферы происходит за сутки, или даже за доли суток. Повторяемость кинематических ситуаций несомненна, продолжительность циклов можно оценить в $5-10^d$. Об этом говорит, например, близость скоростей и сдвигов и сходство профилей H_α в моменты ЮД 2446755, . . . 62, . . . 67. Между относительно спокойными состояниями начала и конца цикла, показанного на рис. 6, вслед за расшире-

нием всей атмосферы происходит резкое сжатие ее наружных слоев. Интервал изменения лучевой скорости растет с 10 км/с для уровня формирования линий SiIV до 30 км/с для «слоя H_{β} » и еще на порядок — при переходе к оболочке, порождающей абсорбционные компоненты H_{α} . Возможно, отличаются и частоты колебаний различных слоев: на рис. 5 можно усмотреть три цикла для группы SiIV, один—полтора для H_{β} и незавершенный цикл для H_{α} .

Переменные сдвиги линий свидетельствуют о движениях типа пульсаций. Фотосферные линии (H_{α} и H_{β} отбрасываются) не позволяют выделить слой, в котором эти движения были бы заметно ослаблены по сравнению с другими слоями. Тем самым пока не оправдывается надежда, высказанная в конце разд. IV.

VI. Заключение. Перспективы

Анализ временных изменений скоростей и дифференциальных сдвигов линий позволяет говорить предположительно об орбитальном движении и уверенно об атмосферной нестабильности HD 188209, а также предложить для дальнейших исследований следующие задачи:

- проведение длительных и по возможности непрерывных спектральных наблюдений — для отбраковки либо подтверждения и учета орбитальных вариаций лучевой скорости и для поиска переменности в интервалах времени меньше суток;
- сопровождение их электрофотометрией;
- уточнение формы кривых бальмеровского хода путем продления их в сторону более высоких членов серии;
- повышение отношения сигнал/шум и точности измерения положений слабых линий, близких по глубине формирования к непрерывному спектру;
- распространение методически однородных измерений на другие сверхгиганты O 9.5, прослеживание изменения кинематики атмосферы со светимостью и тестирование HD 188209 на кинематическую пекулярность;
- расчет наблюдаемого спектра по моделям атмосфер с переменным полем скоростей.

Авторы признательны В. В. Соколову за постановку задачи, организацию наблюдений и ценные критические замечания по тексту статьи, а также ему и Т. А. Карташевой за получение основной части наблюдательного материала.

Литература

1. Blaauw A. On the origin of the O- and B-type stars with high velocities (the «run-away» stars), and some related problems // Bull. Astr. Inst. Netherlands, 1961. 15. P. 265—290.
2. Heuvel E. P. J. van den, Heise J. Centaurus X-3, possible reactivation of an old neutron star by mass exchange in a close binary // Nature Phys. Sci. 1972. 239. P. 67—69.
3. Greve J. P. de, Loore C. de, Dessel E. L. van. The evolution of massive close binaries. VI: Final consideration for the conservative case // Astrophys. Space Sci. 1978. 53. P. 105—130.
4. Kumar K. C. Are massive X-ray binaries runaway stars? // Astron. and Astrophys. 1984. 132. P. 339—341.
5. Stone R. S. A search for spectroscopic binaries among the runaway O-type stars // Astrophys. J. 1982. 261. P. 208—219.
6. Gies D. R., Bolton C. T. The binary frequency and origin of the OB runaway stars // Astrophys. J. Suppl. Ser. 1986. 61. P. 449—454.
7. Спектральная переменность звезды O (f) 68 Лебеда в центре кольцевой туманности / Алдусева В. Я., Асланов А. А., Колотилов Е. А., Черепашук А. М. // Письма в Астрон. журн. 1982. 8. С. 717—721.
8. Черепашук А. М., Асланов А. А. Search for relativistic companions in «Non-X-ray» binary systems // Astrophys. and Space Sci. 1984. 102. P. 97—122.
9. Асланов А. А., Корнилова Л. Н., Черепашук А. М. Поиск релятивистских спутников у «убегающих» OB-звезд // Письма в Астрон. журн. 1984. 10. С. 666—672.
10. Асланов А. А. Поиск двойных систем с релятивистскими компонентами в «перентгеновских» стадиях // Бюлл. Абастуман. астрофиз. обсерв. 1985. 58. 277 с.
11. Stone R. S. Kinematics, close binary evolution, and the ages of the O stars // Astrophys. J. 1979. 232. P. 520—530.
12. Bohannan B., Garman C. D. Search for binaries and stellar winds among the O-type stars // Astrophys. J. 1978. 223. P. 908—919.

13. Garmanу C. D., Conti P. S., Massey P. Spectroscopic studies of O-type stars. 9: Binary frequency // *Astrophys J.* 1980. 242. P. 1063—1077.
14. Стриганов А. Р., Свентицкий Н. С. Таблицы спектральных линий. М.: Атомиздат, 1966.
15. 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.
16. Conti P. S., Leep E. M., Logre J. J. Spectroscopic studies of O-type stars. VIII: Radial velocities and the K-term // *Astrophys. J.* 1977. 214. P. 759—772.
17. Ленгауэр Г. Г. Таблицы редукции лучевых скоростей звезд к центру Солнца // *Изв. ГАО*. 1971. № 189—190. С. 42—71.
18. Conti P., Garmanу C. D., Hutchings J. B. Radial velocities of three O stars: HD 148937, HD 151804, and HD 152408 // *Astrophys J.* 1977. 215. P. 561—567.
19. Popper D. M. Radial velocity measurements and spectrographic orbits // *Astron. J.* 1974. 79. P. 1307—1313.
20. Abt H. A., Smith G. H. Accuracies of radial-velocity measurements // *Publ. Astron. Soc. Pacific*. 1969. 81. P. 332—338.
21. Wilson R. E. General catalogue of stellar radial velocities // *Carnegie Inst. Publ.* Washington. 1953. 334 p.
22. Marshall L. A., Hobbs L. M. Interferometric studies of interstellar calcium lines // *Astrophys. J.* 1972. 173. P. 43—62.
23. Кендалл М., Стюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736 с.
24. Большев Л. Н., Смирнов Н. В. Таблицы математической статистики. М.: Наука, 1965. 464 с.
25. Deeming T. J. Fourier analysis with unequally-spaced data // *Astrophys. Space Sci.* 1975. 36. P. 137—158.
26. Ченцов Е. Л., Снежко Л. И. Расширение атмосферы как причина дифференциальных сдвигов линий в спектре сверхгиганта β Ori // *Сообщ. САО*. 1970. № 2. 59 с.
27. Соколов В. В., Ченцов Е. Л. Атмосфера сверхгиганта δ Cas. III: Дифференциальные сдвиги и аномалии профилей линий как проявление расширения атмосферы и потери ею вещества // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1984. 18. С. 8—28.
28. Rosendhal J. D. A survey of H-alpha emission in early type high luminosity stars // *Astrophys. J.* 1973. 186. P. 909—937.
29. Зейналов С. К., Мусаев Ф. А., Ченцов Е. Л. Атмосфера сверхгиганта α Cam. I: О профиле H_{α} // *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*. 1986. 21. С. 3—7.

Поступила в редакцию
22 сентября 1987 г.