

О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ДВИЖЕНИЯХ ВЕЩЕСТВА В АТМОСФЕРАХ БЕЛЫХ СВЕРХГИГАНТОВ HD 21291 И HD 21389

Е. Б. Зверева, * С. К. Зейналов, * Е. Л. Ченцов

По спектрограммам с дисперсиями 4—28 Å/мм исследованы изменения со временем лучевых скоростей и дифференциальных сдвигов линий ионов, водорода и гелия. Зависимости лучевых скоростей от глубин формирования линий указывают на наличие в атмосфере HD 21389 движений типа радиальных пульсаций. Максимальные зарегистрированные сдвиги линий, соответствующие сжатию и расширению, близки к +10 и —20 км/с соответственно.

Variations in time of the radial velocities and differential shifts of ion, hydrogen and helium lines are investigated from the spectrograms with the dispersions 4—28 Å/mm. Dependences of the radial velocities upon the line depths indicate the presence of motions of radial pulsations type in HD 21389 atmosphere. Maximum registered line shifts corresponding to pressing and expansion are near to +10 and —20 km/s respectively.

Нынешнее представление о природе нестационарности белых сверхгигантов сохраняет в себе, как первое приближение, результат, полученный Абтом в 1957 г. [1]: переменность лучевой скорости, присущая всем звездам класса светимости I, вызвана их *радиальными пульсациями*. Существенные коррективы, внесенные со временем в это положение, связаны в основном со снятием методической ограниченности работы Абта, которая основывалась почти исключительно на данных о лучевых скоростях, относящихся к узкому интервалу оптических глубин. Незначительные дифференциальные сдвиги линий были им отмечены лишь у нескольких объектов (в том числе у одного из рассматриваемых здесь), неудачная попытка выявить изменения профиля сделана только для одной линии и единственного объекта (Fe II λ 4233 Å у α Cyg). Т. е., если прежде обнаружение у сверхгиганта изменений лучевой скорости принималось за свидетельство его двойственности, то в интерпретации Абта орбитальное движение заменено колебаниями подфотосферных слоев одиночной звезды, атмосфере же по-прежнему отводится пассивная роль индикатора движения.

К настоящему времени получены многочисленные свидетельства *расширения* атмосфер белых сверхгигантов с *радиальным градиентом скорости* [2, 3]. Однако наблюдательные проявления градиента — асимметрия и сдвиги линий заметно ослаблены, особенно для внутренних слоев атмосфер, *макротурбуленцией*, делающей абсорбции менее глубокими, но более широкими и симметричными [4]. При наличии радиального градиента скорости в атмосфере отдельную проблему составляет определение лучевой скорости центра массы звезды, а до тех пор, пока эта проблема не решена, за пульсации может приниматься нестационарное расширение атмосферы. Как показал Конти с сотрудниками [5], именно так обстояло дело с O-сверхгигантами. Для белых сверхгигантов указанная возможность, хотя и представляется менее вероятной, все еще остается. Настораживает, в частности, тот факт, что отдельные циклы и даже группы соседних циклов на кривой лучевой скорости некоторого объекта различаются не только продолжительностями, но и средними значениями скорости, находясь интегрированием кривой.

Гармонический анализ длинных рядов измерений лучевой скорости α Cyg [6] выявил *многомодовые* и, скорее всего, *нерадиальные колебания*, суперпозиция которых может быть идентифицирована с макротурбуленцией. К такому же

* Шемахинская астрофизическая обсерватория АН АзССР.

выводу приводит обобщение результатов массовой многоцветной фотометрии [7].

Наш интерес к звездам HD 21291 и HD 21389 связан с тем, что они выделяются среди белых сверхгигантов более определенным сходством с пульсирующими переменными. Не исключено, что в их атмосферах действительно преобладает первый из перечисленных видов движений — радиальные пульсации. В спектроскопической проверке этого предположения и состоит цель настоящей работы.

Сведения об объектах. Спектральные классы, абсолютные величины и лучевые скорости исследуемых звезд приводятся в табл. 1 вместе с параметрами и

ТАБЛИЦА 1

HD	Sp	M_v	v_r , км/с		Δv_r , км/с				H_α P Cyg-профиль
			зв.	м/з	t	λ	H_α	u.v.ter.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21291	B9 Ia	^m -6.9	-6.8	-8.0	≥ 3	-2,0	-15,0	-230	+, -
21389	A0 Ia	-7.0	-7.0	-7.0	10	-5, +2	-20, +10	-230	+, -

признаками их нестационарности, заимствованными из [3], а также полученными позднее, в частности в ходе настоящего исследования.

Временные изменения лучевой скорости заподозрены у менее изученной HD 21291 и твердо установлены у HD 21389, величины зафиксированных амплитуд лучевой скорости, найденной по линиям Mg II, Si II, Fe II, даны в 6-м столбце табл. 1. Найдена также и переменность дифференциальных сдвигов линий, причем у HD 21389 не только по величине, но и по знаку. Предельные значения перепадов лучевой скорости, вызванных взаимным удалением или сближением слоев атмосферы, приводятся в табл. 1 со знаками — и + соответственно. В 7-м столбце они даны для любых линий видимой части спектра, кроме водородных, в 8-м — для абсорбций H_α относительно более высоких членов серии Бальмера (бальмеровский прогресс или регресс), в 9-м — для коротковолновых границ профилей резонансных линий заатмосферного ультрафиолета [по 8, 9]. В связи с этими данными отметим также, что в [10] HD 21291 и HD 21389 упоминаются в качестве объектов, перспективных для поиска слабых околозвездных компонент резонансной линии Ca II λ 3933 Å. Эмиссионные составляющие H_α довольно слабы, но наблюдались они у обеих звезд как на красном, так и на синем крыльях абсорбций (прямой и инверсный профили типа P Cyg, им соответствуют знаки + и — в 10-м столбце табл. 1).

В связи с вопросом о движениях типа пульсаций в нижних слоях атмосфер особенно интересны недавно обнаруженные в спектре HD 21389 эмиссии CIV около λ 1550 Å [9]. Это узкие хромосферные линии, несмещенные относительно спектра нижней атмосферы, характерные для звезд спектральных классов не ранее F и требующие повышения температуры от нижних слоев атмосферы к хромосфере не менее чем на порядок величины.

Благоприятным обстоятельством следует считать принадлежность обеих звезд к ассоциации Сам OB 1. По [11] их модули расстояния совпадают друг с другом и с модулем, принятым для ассоциации. Приводимые в 4-м столбце табл. 1 средние лучевые скорости объектов, наиболее надежные из известных и взятые из каталога Вилсона [12] (для HD 21389 — с коррекцией по данным Абта [1]), также близки между собой и попадают в интервал v_r от —8 до —4 км/с, соответствующий максимуму распределения по лучевым скоростям остальных звезд ассоциации. Нет существенного различия и между скоростями, найденными по звездным и межзвездным линиям. Значения последних, представленные в 5-м столбце табл. 1, взяты для HD 21389 также из [12], а для HD 21291 — из работы Мюнча [13]. По Мюнчу линия Na I λ 5890 Å в спектре HD 21291 кроме основной компоненты, дающей лучевую скорость, приводимую в табл. 1, имеет

еще очень слабую компоненту с $v_r = -35$ км/с. Далее, как HD 21291, так и HD 21389 соседствуют на небе со слабыми отражательными туманностями, занесенными в каталог Рожковского и Курчакова [14] под номерами 9 и 11 соответственно. Однако на «синем» снимке Паломарского атласа отчетливо видно единое пылевое облако, подсвеченное в двух местах двумя рассматриваемыми звездами. Таким образом, близость значений v_r из 4-го и 5-го столбцов табл. 1, вероятно, неслучайна: указанное облако вполне может вносить существенный вклад в межзвездные линии и повторять общее движение звезд в пространстве. В связи с этим было бы полезно получить точные значения лучевых скоростей по наиболее глубоким и резким из диффузных межзвездных полос, таким как $\lambda\lambda$ 5780, 6614 Å и др.; спектрального материала, использованного нами, для этого, к сожалению, недостаточно.

Спектральный материал и результаты его обработки. Из нескольких десятков спектрограмм, полученных нами с помощью Основного звездного спектрографа 6-м телескопа САО АН СССР и кудэ-спектрографов 2-м телескопов Шемахинской астрофизической обсерватории АН АзССР и Ондражейовской обсерватории Астрономического института АН ЧССР, для измерения лучевых скоростей было отобрано 33. Высота спектров 0.5—0.7 мм, остальные сведения о спектрограммах суммированы в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2

Дата	Эмульсия Kodak	Спектральная область, Å	Дисперсия, Å/мм	Количество спектрограмм
HD 21291				
26.08.76	IIaO	3750—4900	4.8	2
12.10.76	103aF	5800—6700	14	1
12.12.77	IIaO	3800—4900	9	1
HD 21389				
09.10.76	103aF	5100—6700	14	2
29.11.76	103aF	4800—6700	28	4
29.11.76	IIaO	3600—5100	28	2
17.12.76	IIaO	4100—4900	7	2
17.12.76	103aF	5800—6700	9	2
27.12.76	103aF	4800—6700	28	2
04.01.77	103aF	5100—6700	14	1
04.01.77	IIaO	3800—4950	9	1
09.09.77	103aO	3200—4000	7	2
09.05.78	103aO	3800—4950	9	2
10.08.78	IIaO	3600—4600	9	1
10.08.78	103aF	5800—6700	14	2
13.08.78	103aO	3600—4900	8	1
24.08.78	103aO	3600—4900	8	1
20.02.80	IIaO	3600—4900	8	1
20.02.80	103aF	5000—6700	17	3

Обмер пластинок осуществлен с помощью осциллокопического компаратора САО участками по 100—400 Å, его результаты редуцированы по методике, описанной в [15], путем линейной интерполяции с последующим введением поправок, находимых графически. О линиях, отобранных для обмера, принятых для них лабораторных длинах волн и случайных ошибках измерений дает представление табл. 3, в которой приводятся гелиоцентрические лучевые скорости, найденные по спектрограммам HD 21389, полученным 29.11.76 (дисперсия — низшая из использованных, 28 Å/мм, но на каждую линию приходится до 4 независимых измерений).

Для уточнения картины дифференциальных сдвигов линий и выявления ее кинематического смысла мы объединили в группы линии с близкими глубинами формирования в атмосфере. В качестве оптических глубин τ_λ использованы величины, найденные интерполированием значений, полученных В. В. Соколовым и Е. Л. Ченцовым при исследовании атмосфер β Ori B8 Ia, η Leo A0 Ib, α Cyg A2 Ia и δ Cas A3 Ia+ [15]. Они вычислены на основе «плоскопараллельных»

ТАБЛИЦА 3

Линия	λ , Å	v_r , км/с	Линия	λ , Å	v_r , км/с	Линия	λ , Å	v_r , км/с	Линия	λ , Å	v_r , км/с
H ₂₁	3679.36	-6:	H ₁₁	3770.63	-11:	Mg II	4481.22	-10.0 ± 1	Fe II	4233.16	-10:
H ₂₀	3682.81	-3:	H ₁₀	3797.90	-9.5 ± 3	Si II	3856.02	-5.0 ± 2	Fe II	4549.50	-9:
H ₁₉	3686.83	-1:	H ₉	3835.39	-8.0 ± 2	Si II	3862.59	-8.2 ± 1	Fe II	4583.83	-8:
H ₁₈	3691.56	-8:	H ₈	3889.05	-9.9 ± 3	Si II	4128.07	-6.5 ± 3	Fe II	4923.94	-6.7 ± 2
H ₁₇	3697.15	-10:	H ₇	4101.74	-8.0 ± 2	Si II	4130.89	-7.0 ± 2	Fe II	5018.44	-9.0 ± 3
H ₁₆	3703.86	-7:	H ₆	4340.47	-10.5 ± 2	Si II	5041.03	-6.2 ± 2	Fe II	5169.03	-7.1 ± 2
H ₁₅	3711.97	-7:	H ₅	4861.33	-12.0 ± 2	Si II	6347.10	-7.5 ± 2	M/3 Na I	5889.95	-7.1 ± 1
H ₁₄	3721.94	-9:	H ₄	6562.81	-26.5 ± 2	Si II	6371.35	-6.7 ± 2	M/3 Na I	5895.92	-6.8 ± 1
H ₁₃	3734.37	-10:	He I	5875.71	0:				M/3	6613.63	-8:
H ₁₂	3750.15	-9.9 ± 2									

ТАБЛИЦА 4

Линия или группа на линии	lg τ	HD 21291										HD 24389									
		26.08.76	12.10.76	12.12.77	09.10.76	29.11.76	17.12.76	27.12.76	04.01.77	09.09.77	09.05.78	10.08.78	13.08.78	24.08.78	20.02.80						
H ₂	-1.1	-	-8.0:	-	-18.0:	-18.5 ± 1	-26.5 ± 2	-17.0 ± 1.5	-12.0 ± 1	-10.0 ± 2	-	-2.0:	-	-23.0 ± 2							
H ₃	-1.02	-19.8 ± 3	-	-18.0:	-	-	-42.0 ± 2	-	-	-7.0 ± 2	-	-	-10.5 ± 2.5								
H ₄	-0.98	-13.2 ± 2	-	-	-	-	-40.5 ± 2	-7.0 ± 2	-	-42 ± 3	-	-	-8.0 ± 2								
H ₅	-0.92	-12.4 ± 1.5	-	-11.0	-	-	-8.0 ± 2	-5.0 ± 2	-	-8.0 ± 2	-	-2.5:	-								
H ₈₋₁₀	-0.8	-11.4 ± 1.5	-	-11.0 ± 2	-	-	-8.9 ± 3	-	-	-8.0 ± 2	-	-2.0 ± 2	-								
H ₁₃₋₁₈	-0.64	-	-	-	-	-	-9.0 ± 3	-	-	-	-	-5.0:	-								
Mg II	-0.4	-8.1 ± 2	-	-13.0 ± 2	-	-	-40.0 ± 1	-9.0 ± 1.5	-	-8.5 ± 2	-	-	-5.0:								
Fe II (сильные)	-0.4	-10.0 ± 2	-	-12.2 ± 2	-	-	-7.5 ± 2	-7.5 ± 1.5	-9.0 ± 2	-6.0:	-	-	-5.0:								
Si II	-0.18	-9.5 ± 1.5	-9.0 ± 1.5	-10.9 ± 2	-6.5 ± 1	-7.3 ± 2	-7.5 ± 2	-7.5 ± 2	-7.5 ± 2	-3.7 ± 2	-4.0 ± 1.5	-1.0:	-6.5:								
Ti II, Cr II, Fe II (слабые)	-0.15	-10.3:	-	-13.0:	-7.0 ± 2	-	-8.0 ± 2	-9.0:	-9.0:	-7.5 ± 2	-4.0 ± 1.5	-3.5 ± 1.5	-7.0 ± 2								
He I	0.0	-13.0:	-8.0 ± 2	-12.0 ± 2.5	-5.8 ± 1.5	0:	-8.5 ± 2	0.0 ± 2	0.0 ± 2	-2.0:	-3.0:	-5.0 ± 2	-4.5:								
M/3	-	-9.0 ± 1.5	-10.0 ± 1.5	-	-9.6 ± 1	-7.0 ± 1	-10.5 ± 1.5	-7.5 ± 1.5	-9.0 ± 1.5	-9.0 ± 1.5	-9.0 ± 1.5	-	-8.5 ± 1								

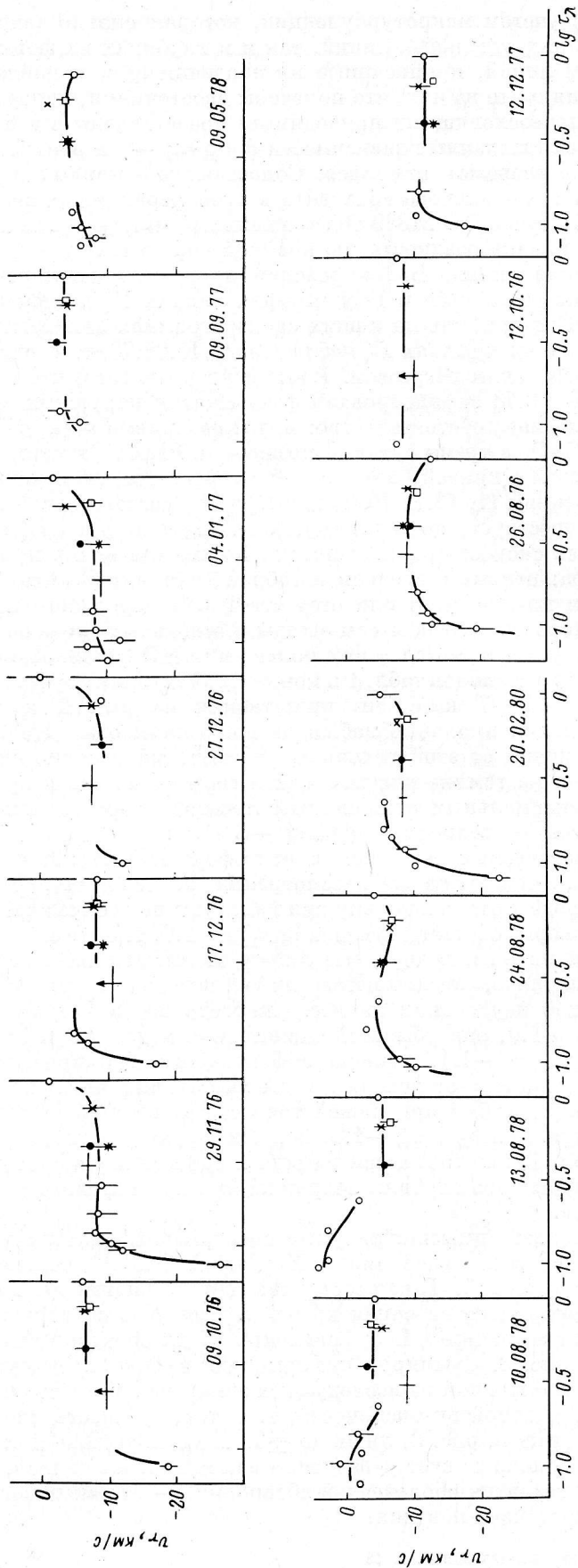
моделей атмосфер с учетом макротурбуленции, которая сильно занижает различия как в смещениях отдельных линий, так и в глубинах их формирования. Выделенные группы линий, приписанные им значения $\lg \tau_\lambda$ и найденные для них средние значения v_r (те из них, что помечены двоеточиями, найдены с ошибками, в 2—3 раза превосходящими приводимые) представлены в табл. 4, а построенные на основе этих данных зависимости $v_r(\lg \tau_\lambda)$ — на рис. 1.

«Кинематические разрезы» атмосфер. Сопоставление кривых рис. 1 показывает, что величина радиального градиента в атмосферах обеих звезд изменяется со временем. В случае HD 21389 более обширный материал позволяет говорить и об изменении знака градиента, по крайней мере в тех слоях, где формируются бальмеровские линии. Бальмеровский прогресс максимален 29.11.76 и 20.02.80. В эти же даты прямой РСуг-профиль линии H_α выражен наиболее четко. Инверсный РСуг-профиль на наших спектрограммах не зарегистрирован, слабая эмиссия на обоих крыльях H_α наблюдалась 10.08.78, т. е. одновременно с небольшим бальмеровским регрессом. Подтверждением того, что наблюдения 10.08.78, а также 13.08.78 зафиксировали фазу сжатия наружных слоев атмосферы, служит следующее обстоятельство: похожие кривые $v_r(\lg \tau_\lambda)$ получены в первую из дат в САО, а тремя сутками позже — в ШАО. Заметим также, что обе эти кривые сходны с кривой бальмеровского регресса, полученной Айдином [16] по наблюдениям 11, 12.12.70 (v_r для H_α и H_{20} составляют +4 и -6 км/с соответственно). Существует, по-видимому, хотя и выражена слабо, корреляция между лучевыми скоростями, найденными по линиям ионов и первым членам серии Бальмера: первые в среднем алгебраически меньше при бальмеровском прогрессе, чем при регрессе или отсутствии бальмеровского хода.

Сопоставлять скорости центра массы звезды и отдельных слоев ее атмосферы по нашему материалу имеет смысл также только для HD 21389. Приняв (на основе данных 4-го и 5-го столбцов табл. 1 и комментариев к ним) лучевую скорость ее центра массы равной -7 км/с, мы представили на рис. 2 как функции оптической глубины максимальные наблюдавшиеся нами отрицательные и положительные отклонения от этой величины. Возможный уровень систематических ошибок отмечен на том же рисунке двумя горизонтальными прямыми, соответствующими максимальным отклонениям лучевой скорости, найденной по межзвездным линиям, от величины, равной -8 км/с.

Картина систематических движений в атмосфере HD 21389, фиксируемая рис. 2, такова. Если исключить из рассмотрения значения v_r , относящиеся к $\lg \tau_\lambda \approx 0$ (как ненадежные, поскольку они измерены по весьма слабым линиям HeI), то слои атмосферы, соответствующие $\lg \tau_\lambda \geq -1.0$, т. е. те слои, в которых формируются линии ионов и водородные линии от высших членов серии Бальмера до H_β включительно, оказываются либо неподвижными относительно звезды в целом, либо падающими на нее. Скорость падения вещества максимальна при $\lg \tau_\lambda \approx -1.0$, она убывает сравнительно медленно к $\lg \tau_\lambda \approx -0.3$ и более резко к $\lg \tau_\lambda \approx -1.1$, уровню эффективного формирования абсорбции H_α . Движение вещества от центра звезды на большей части наблюдаемого интервала оптических глубин при нашей точности измерений неуловимо. Оно обнаруживается лишь при $\lg \tau_\lambda \leq -1.0$, но, как видно из сопоставления 8-го и 9-го столбцов табл. 1, намечающееся на рис. 2 нарастание скорости расширения слоя с уменьшением его глубины сохраняется и при переходе от атмосферы к оболочке звезды.

Попытка использовать имеющийся у нас спектральный материал для выделения оболочечной составляющей линии K ($CaII \lambda 3923 \text{ \AA}$), иллюстрируемая рис. 3, оказалась неудачной. Такая составляющая, по-видимому, вносит определенный вклад в депрессию на синем крыле линии K в спектре β Ori [17] и заведомо отсутствует в спектре η Leo; фрагменты обоих спектров для сравнения воспроизведены на рис. 3. Суммируя информацию, зафиксированную несколькими спектрограммами каждой из исследуемых звезд, нам удалось снизить ошибку определения остаточной интенсивности, т. е. неуверенность проведения по вертикали средних кривых рис. 3, лишь до ± 0.02 . Однако даже и этот уровень точности достигнут только за счет усреднения данных, относящихся, возможно, к различным фазам развития оболочечной абсорбции, — от некоторого ее усиления до почти полного исчезновения.



○ 1 * 2 • 3 × 4 □ 5 † 6

Рис. 1. Зависимости лучевых скоростей от глубин формирования линий по данным табл. 4.
Последние три фрагмента — HD 21291, остальные — HD 21389.

Закключение. Итак, по нашим наблюдательным данным, по крайней мере у одной из исследованных звезд преимущественные направления движения внутренних и внешних слоев ее атмосферы оказываются противоположными. Во внутренней атмосфере, представленной в спектре абсорбциями ионов и водорода (исключая H_α и H_β), отклонение от стационарности уверенно наблюдается лишь как сжатие. Имеется, по-видимому, переходный слой (на его границах формируются H_β и H_α), для которого характерны фазы и сжатия, и расширения.

Выше этого слоя наблюдается преимущественно (если не исключительно) расширение. Предельные скорости сжатия внутренних и расширения наружных

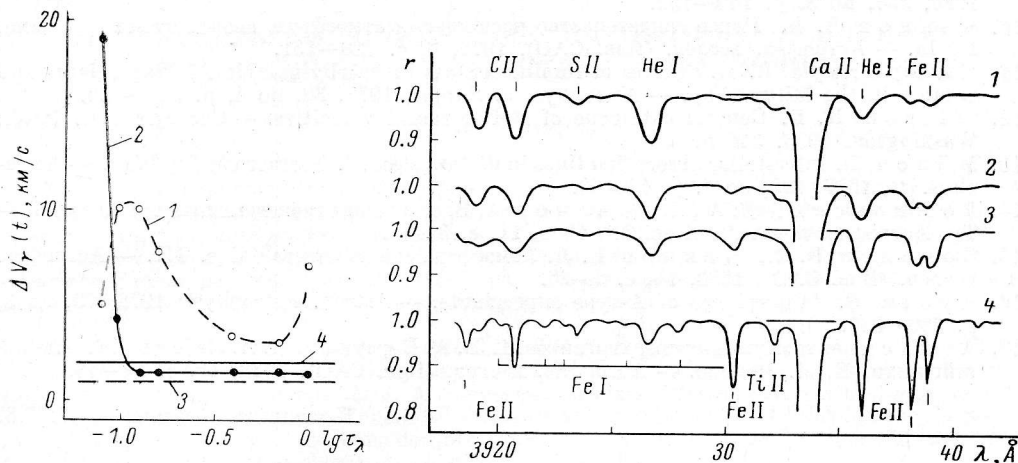


Рис. 2. Максимальные отклонения лучевых скоростей слоев атмосферы HD 21389 от лучевой скорости ее центра массы.

1 — «сжатие»; 2 — «расширение»; 3—4 — уровни максимальных систематических ошибок определения лучевой скорости, найденных по межзвездным линиям (3 — v_r завышена, 4 — занижена).

Рис. 3. Остаточные интенсивности от функции длины волны в районе линии Ca II λ 3933 Å в спектрах белых сверхгигантов.

1 — β Ori B8 Ia; 2 — HD 21291 B9 Ia; 3 — HD 21389 A0 Ia; 4 — η Zee A0 Ib.

слоев по нашим наблюдениям близки к 10 и 20 км/с соответственно. Обе эти цифры, конечно, занижены — как ограниченностью наблюдательного материала, так и отмеченным выше эффектом макротурбуленции. Сходная картина наблюдается в атмосфере β Ori, но существенное ее отличие состоит в том, что максимальная скорость расширения превосходит скорость сжатия на всех глубинах. Еще более отчетливо последнее выражено в атмосфере δ Cas [15]. Создается впечатление, что у объектов, близких по светимости к HD 21291 и HD 21389, в отличие от белых сверхгигантов как более высокой, так и более низкой светимостей, в слоях атмосфер, доступных наземной спектроскопии, доминируют движения типа пульсаций.

Перспективы дальнейшего уточнения картины движений в атмосферах HD 21291 и HD 21389, конкретизации механизма их расширения и потери ими вещества связаны прежде всего с получением более длительных и непрерывных рядов спектроскопических данных и с охватом наблюдениями других членов ассоциации Сам OB I. Опыт данной работы показывает также, что необходима несколько более высокая по сравнению с использованной дисперсия — 4—6 Å/мм и существенно более высокая фотометрическая точность. Последняя должна обеспечить фиксацию изменений не только сдвигов линий, но и их профилей.

Авторы признательны А. Д. Мансимоу за помощь в обработке спектрограмм.

Литература

1. A b t H. A. Variability of supergiants. — *Astrophys. J.*, 1957, 126, no 1, p. 138—151.
2. R o s e n d h a l J. D. A survey of H-alpha emission in early-type high-luminosity stars. *Astrophys. J.*, 1973, 186, no 3, p. 909—937.
3. Ч е н ц о в Е. Л. Спектроскопические проявления нестационарности ранних сверхгигантов. — *Сообщ. САО*, 1978, № 21. 78 с.

4. Groth H. G. Effects of velocity and turbulence gradient on A-type supergiant spectra. — *Astron. Astrophys.*, 1972, 21, no 3, p. 337—353.
5. Conti P.S., Leep E. M., Lore J. J. Spectroscopic studies of O-type stars. VIII. Radial velocities and K-term. — *Astrophys. J.*, 1977, 214, no 3, p. 759—772.
6. Lucy L. B. An analysis of the variable radial velocity of Alpha Cygni. — *Astrophys. J.*, 1976, 206, no 2, p. 499—508.
7. Maeder A. Supergiant pulsations. — *Highlights of Astronomy*, 1980, 5, p. 473—476.
8. Praderi F., Talavera A., Lamers H. J. Resonance line profiles in A type supergiants from IUE and Copernicus spectra. — *Astron. Astrophys.*, 1980, 86, no 3, p. 271—282.
9. Underhill A. B. The CIV resonance lines in B and A supergiants. — *Astrophys. J.*, 1980, 235, no 3, p. 149—152.
10. Ченцов Е. Л. Новое свидетельство расширения атмосферы сверхгиганта β Ориона, B8 Ia. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1976, 8, с. 128—131.
11. Humphreys R. M. Studies of luminous stars in nearby galaxies. I. Supergiants and O stars in the Milky Way. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1978, 38, no 4, p. 309—350.
12. Wilson R. E. General catalogue of stellar radial velocities. — *Carnegie Inst. Publ.*, Washington, 1953. 344 p.
13. Münch D. Interstellar absorption lines in distant stars. I. Northern Milky Way. — *Astrophys. J.*, 1957, 125, no 1, p. 42—60.
14. Рожковский Д. А., Курчаков А. В. Каталог отражательных туманностей. — *Тр. Астрофиз. ин-та АН КазССР*, 1968, 11, с. 3—42.
15. Соколов В. В., Ченцов Е. Л. Атмосфера сверхгиганта δ Cas. III. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1983, 18, с. 8—28.
16. Audin C. Atmospheres of A-type supergiants. — *Astron. Astrophys.*, 1972, 19, no 3, p. 369—380.
17. Атлас спектров ранних сверхгигантов. 1./Е. А. Барсукова, И. А. Лебедева, К. Б. Чаргейшвили, Е. Л. Ченцов. — *Астрофиз. исслед. (Изв. САО)*, 1983, 16, с. 34—48.

Поступила в редакцию 17.05.82