

УДК 524.312—852

**Исследование нестационарности атмосферы
звезды HD 21 291**

А. Х. Рзаев, С. К. Зейналов, Е. Л. Ченцов

По спектрограммам звезды HD 21 291 (B9 Ia) с дисперсиями 0.4—1.5 нм/мм исследованы изменения со временем лучевых скоростей и дифференциальных сдвигов линий водорода, гелия и ионов металлов. Зависимости лучевых скоростей от глубины формирования линий свидетельствуют об атмосферных движениях типа пульсаций. Максимальные зарегистрированные сдвиги близки к +7 (сжатие) и —25 км/с (расширение). В зависимости от степени нестационарности атмосферы изменяется профиль линии H_{α} и, в частности, полуширина его абсорбционной составляющей. Предельные наблюдаемые значения последней: 0.15 и 0.26 нм.

INVESTIGATION OF THE NONSTATIONARITY OF THE HD 21 291 ATMOSPHERE, by Rzaev A. Kh., Zejnalov S. K., Chentsov E. L.—Time variations of radial velocities and differential shifts of metal ions, hydrogen and helium lines are investigated from spectrograms with dispersions 0.4—1.5 nm/mm. Dependence of radial velocity upon the line formation depth indicate the atmosphere motions of the pulsation type. Maximum shifts, corresponding to contraction and expansion are near to +7 and —25 km/s, respectively. H_{α} line profile and its absorption component halfwidth variations depend on a degree of the atmosphere nonstationarity. The limiting observed values of the absorption component halfwidth are 0.15 and 0.26 nm.

Несмотря на то, что ранний сверхгигант HD 21 291 (B9 Ia) — достаточно яркая звезда ($m_v = 4.3^m$), спектроскопически и фотометрически она исследована очень мало. Накопленные к настоящему времени наблюдательные данные [2, 4] — переменность лучевых скоростей, профилей линий H_{β} и $He I \lambda 667.8$ нм, переменная эмиссия в линии H_{α} — лишь свидетельствуют о нестационарности ее атмосферы. Уточнить картину дифференциальных сдвигов линий и выявить ее кинематический смысл пока не удалось.

В настоящей статье анализируются результаты обработки спектрограмм HD 21 291, полученных в 1976—1984 гг. Исследованы изменения со временем лучевых скоростей и дифференциальных сдвигов линий водорода, гелия и ионов металлов, изменения профиля H_{α} , определен вид движения в атмосфере звезды. Мы приводим здесь также результаты трех измерений спектрограмм из [2]. Одна из них (12.10.76) измерялась вторично — для нее даны средние значения по двум измерениям.

Спектральный материал и его обработка. Спектрограммы получены на 6-м телескопе Специальной астрофизической обсерватории АН СССР (основной звездный спектрограф) и 2-м телескопе Шемахинской астрофизической обсерватории АН АзССР (спектрографы в фокусах куде и Кассегрена) с дисперсиями 0.4—0.9 и 1.2—1.5 нм/мм для синей и красной областей спектра соответственно. Высота спектров 0.6—1.0 мм, плотность не менее 0.8 у H_{γ} и H_{α} . Спектрограммы обрабатывались с помощью осциллокопического компаратора и фотометрического комплекса САО АН СССР, созданного на базе микроденситометра АМД-1 [1]. Первый использован для измерения лучевых скоростей v_r , второй — для получения графиков зависимостей остаточной интенсивности I от длины волны λ .

Для упрощения картины дифференциальных сдвигов линий мы объединили последние в группы с близкими глубинами формирования τ_λ в атмосфере раннего сверхгиганта. Выделенные группы линий, приписанные им значения $\lg \tau_\lambda$ из [3] и найденные для них средние значения v_r , а также ошибки измерений представлены в табл. 1.

Кинематические разрезы атмосферы и профили H_α . Под кинематическим разрезом здесь понимается представление лучевых скоростей v_r как функции $\lg \tau_\lambda$. Из рис. 1, на котором показаны 14 таких

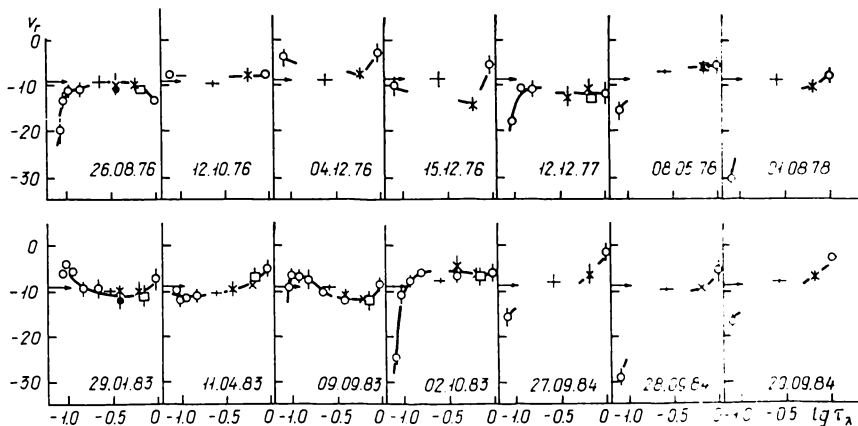


Рис. 1. Зависимости лучевых скоростей от глубин формирования линий для HD 21 291 (по данным табл. 1)

зависимостей, видно, что в атмосфере HD 21 291 почти всегда существует радиальный градиент скорости. Со временем изменяется не только его величина, но и знак. В [2] высказано предположение, что межзвездные линии в спектрах HD 21 291 и HD 21 389 формируются в основном вблизи этих звезд. Исходя из этого, мы приняли в качестве лучевой скорости центра массы звезды среднее значение для межзвездных линий: $v_* = -9$ км/с. Оно отмечено на каждом графике (рис. 1) горизонтальной стрелкой.

Бальмеровский градиент наиболее отчетлив 26.08.76, 01.08.78, 02.10.83, 28.09.84. Как видно из табл. 2, в те же даты (за исключением 26.08.76, когда красная область спектра не получена), у линии H_α наиболее четко выражен прямой профиль Р Суг. Профиль, обратный Р Суг, наблюдается 04.12.76, когда кинематический разрез указывает на сжатие самых внешних, а также внутренних слоев атмосферы. Слабая эмиссия в обоих крыльях линии H_α наблюдается 08.05.78 одновременно со слабым расширением наружных слоев.

Единственная дата, когда можно говорить об отсутствии градиента скорости в атмосфере,— это 12.10.76. Действительно, у нас нет данных о промежуточных слоях атмосферы ($-1.1 < \lg \tau_\lambda < -0.18$), но самые верхние слои, где формируется абсорбция H_α , и нижние слои, где формируются линии Si II и He I, показывают в пределах ошибок измерения одну и ту же скорость, равную к тому же скорости центра массы звезды. Не удивительно, что именно в этой фазе относительного спокойствия атмосферы зарегистрирован наиболее широкий, симметричный и чисто абсорбционный профиль H_α (полуширина $\Delta\lambda = 0.26$ нм). Другие профили без явных эмиссий, наблюдавшиеся 15.12.76 и 27.09.84, заметно уже ($\Delta\lambda$ равно 0.15 и 0.19 нм соответственно), но, как видно из рис. 1, в обоих случаях существует градиент скорости в атмосфере. Полуширина остается минимальной во всех случаях (кроме 28.09.84), когда градиент скорости сопровождается эмиссиями в H_α . По нашему наблюдательному материалу не выявлено

Таблица 1. Гелиоцентрические лучевые скорости по линиям и группам линий для отдельных дат в спектре звезды HD 21 291

Линия или группа линий	lg τ _λ	Обозначения на рис. 1	v _r , км/с							
			26.08.76	12.10.76	04.12.76	15.12.76	12.12.77	08.05.78	01.08.78	
H _α	-1.1	○	—	-8.1±0.1	-4.3±2.0	-10.4±2.0	—	—	-15.9±2.0	-33.7±2.0
H _β	-1.02	○	-19.8±3.0	—	—	—	-18.0:	—	—	—
H _γ	-0.98	○	-13.2±2.0	—	—	—	—	—	—	—
H _δ	-0.92	○	-12.4±1.5	—	—	—	-11.0	—	—	—
H ₈ -H ₁₀	-0.8	○	-11.1±1.5	—	—	—	-11.0±2.0	—	—	—
H ₁₁ -H ₂₀	-0.64	○	—	—	—	—	—	—	—	—
Mg II	-0.4	*	-8.1±2.0	—	—	—	—	-13.0±2.0	—	—
Fe II (сильные)	-0.4	●	-10.0±2.0	—	—	—	—	-12.2±2.0	—	—
Si II	-0.18	×	-9.5±1.5	-7.5±1.6	-7.5±1.0	-14.3±1.2	-10.9±2.0	-13.0:	-6.5±0.5	-10.5±1.0
Ti II, Cr II, Fe II (слабые)	-0.15	□	-13.0:	—	—	—	—	—	-6.3±1.8	-8.1±1.5
He I	0.0	+	-9.0±1.5	-8.2±0.2	-3.1±2.0	-5.7±2.0	-12.0±2.5	—	-7.4±0.3	-8.8±1.0
Межзвездные				-9.6±0.6	-9.0±1.5	-9.0±1.8	—	—	—	—

Линия или группа линий	lg τ _λ	Обозначения на рис. 1	v _r , км/с							
			29.01.83	11.04.83	09.09.83	02.10.83	27.09.84	28.09.84	29.09.84	
H _α	-1.1	○	—	—	—	-24.8±1.0	-15.7±2.0	—	—	—
H _β	-1.02	○	-5.9±0.3	-10.3±0.6	-9.1±1.5	—	—	—	—	—
H _γ	-0.98	○	-4.6±0.4	-11.9±1.5	-6.7±1.5	—	—	—	—	—
H _δ	-0.92	○	-5.3±0.9	-11.4±0.4	-6.9±1.0	-7.9±1.5	—	—	—	—
H ₈ -H ₁₀	-0.8	○	-9.5±1.6	-10.7±1.0	-7.5±2.0	-6.0:	—	—	—	—
H ₁₁ -H ₂₀	-0.64	○	-9.5±2.0	—	-10.1±3.0	—	—	—	—	—
Mg II	-0.4	*	-10.0±0.8	—	-11.0	-4.5±2.0	—	—	—	—
Fe II (сильные)	-0.4	●	-11.8±2.0	-9.1±1.3	-13.7±0.9	-6.7±1.5	—	—	—	—
Si II	-0.18	×	-10.6±2.0	-8.9±3	-11.6±3.0	-6.5±1.2	-6.5±1.5	-9.5±1.0	-7.0±1.0	
Ti II, Cr II, Fe II (слабые)	-0.15	□	-10.8±2.5	-6.8±1.5	-11.9±2.0	-6.9±2.0	—	—	—	
He I	0.0	+	-7.3±2.5	-5.0±2.0	-8.5±1.4	-6.0±2.0	-1.5±2.0	-5.8±3.0	-3.0±2.0	
Межзвездные			-9.7±1.0	-10.5±0.5	-9.5±0.5	-7.6±0.5	-8.2±1.6	-9.7±0.5	-8.1±0.5	

строгой корреляции между полушириной или каким-либо другим параметром профиля H_{α} и скоростью относительного движения слоев атмосферы. Заметно лишь, что с усилением движений абсорбция H_{α} ослабевает и сужается.

Выяснить, как изменяется характер систематических движений с глубиной атмосферы, можно путем сопоставления экстремальных скоростей отдельных слоев и центра массы звезды. Принимая, как отмечалось выше, $v_{*} = -9$ км/с, мы представили на рис. 2 максимальные отрицательные и положительные отклонения от этой величины.

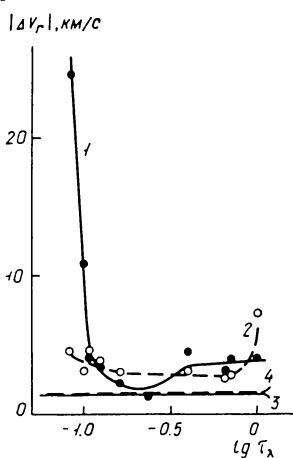


Рис. 2. Максимальные отклонения лучевых скоростей слоев атмосферы HD 21 291 от лучевой скорости ее центра массы: 1 — расширение; 2 — сжатие; 3, 4 — уровни максимальных систематических ошибок определения лучевой скорости, найденных по межзвездным линиям (3 — скорость занижена, 4 — завышена)

ния от центра звезды максимальна для самых внешних из доступных наблюдениям слоев. Она резко падает к $\lg \tau_{\lambda} \approx -0.98$, уровню эффективного формирования H_{γ} , и затем медленно убывает в слоях, где формируются высшие члены серии Бальмера. Достигнув минимума в слое с $\lg \tau_{\lambda} \approx -0.64$, скорость расширения вювь слегка увеличивается с приближением к $\lg \tau_{\lambda} \approx 0$ (слои, представленные в спектре линиями ионов и гелия).

Скорость сжатия значительна на уровне формирования линий He I и почти постоянна для большей части наблюдаемого интервала оптических глубин: $-0.8 \leq \lg \tau_{\lambda} \leq -0.15$. Лишь для самого наружного слоя заметно слабое увеличение скорости, направленной к центру звезды.

Заключение. По нашим наблюдательным данным, нестационарность атмосферы HD 21 291 проявляется в колебаниях ее слоев относительно центра массы звезды. Разные слои атмосферы пульсируют, по-видимому, независимо друг от друга. Лишь для самых внешних слоев (область формирования H_{α} и H_{β}) максимальная зафиксированная скорость расширения превышает максимальную скорость сжатия. В слоях формирования линий He I, напротив, скорость сжатия превышает скорость расширения. Предельные скорости сжатия внутренних и расширения наружных слоев, по нашим данным, составляет 7 и 25 км/с соответственно.

Таблица 2. Эквивалентные ширины W_{λ} , полуширины $\Delta\lambda$ и особенности профиля линии H_{α} для HD 21 291

Дата	W_{λ} , нм	$\Delta\lambda$, нм	Эмиссия в крыле		Дата	W_{λ} , нм	$\Delta\lambda$, нм	Эмиссия в крыле	
			Синем	Красном				Синем	Красном
12.10.76	0.097	0.26	—	—	02.10.83	0.053	0.15	—	+
04.12.76	0.049	0.15	+	—	27.09.84	0.046	0.19	—	—
15.12.76	0.043	0.15	—	—	28.09.84	0.042	0.18	—	+
08.05.78	0.033	0.15	+	+	29.09.84	0.039	0.15	—	+
01.08.78	0.035	0.15	—	+					

В зависимости от того, насколько нестационарна атмосфера в тот или иной момент, полуширина абсорбции H_{α} изменяется, по нашим данным, от $\Delta\lambda=0.26$ до $\Delta\lambda=0.15$ нм.

1. Буренкова О. С., Коровяковская А. А., Назаренко И. И. Система сканирования и предварительной обработки спектров на фотометрическом комплексе САО АН СССР // Астрофиз. исслед. Изв. Спец. астрофиз. обсерватории.—1982.—16.— С. 108—115.
2. Зверева Е. Б., Зейналов С. К., Ченцов Е. Л. О систематических движениях вещества в атмосферах белых сверхгигантов HD 21 291 и HD 21 389 // Там же.—1984.—18.— С. 29—36.
3. Соколов В. В., Ченцов Е. Л. Атмосфера сверхгиганта δ Cas. III // Там же.— С. 8—28.
4. Ченцов Е. Л. Спектроскопические проявления нестационарности ранних сверхгигантов // Сообщ. Спец. астрофиз. обсерватории АН СССР.—1978.— Вып. 21.— С. 1—78.

Шемахин. астрофиз. обсерватория АН АзССР,
Спец. астрофиз. обсерватория АН СССР,
Нижний Архыз

Поступила в редакцию 20.11.87,
после доработки 22.02.88

Окончание. Начало с. 68.

6. *Teleki G., Saastamoinen J.* Problems of three-dimensional refraction in astrometry // Sun and planetary system.— Dordrecht: Reidel, 1982.— P. 455—462.
7. *Teleki G., Sugawa C.* On the nature of astronomical refraction // Publ. Observ. astron. Beograd.— 1987.— N 35.— P. 1—16.
8. *Yatsenko A. Y., Teleki G.* Harzer's works on astronomical refraction viewed from today's standpoint // Bull. Observ. astron. Beograd.— 1985.— N 135.— P. 1—15.

Астрон. обсерватория им. В. П. Энгельгардта,
Казань

Поступила в редакцию 29.10.87,
после доработки 09.12.87