

УДК 524.31.01-355

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ АТМОСФЕРЫ $\alpha$ Cyg. III. ПЕРЕМЕННОСТЬ ПРОФИЛЯ ЛИНИИ $H\alpha$

© 2008 А. Х. Рзаев<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Шамахинская астрофизическая обсерватория, п. Ю. Мамедалиева, Азербайджан

Поступила в редакцию 9 июля 2007 г.; принята в печать 16 октября 2007 г.

По 240 ПЗС-спектрам, полученным на кудэ-эшелле-спектрографе 2-м телескопа ШАО НАН Азербайджана в 1998–2000 гг., было исследовано изменение со временем лучевой скорости и профиля линии  $H\alpha$  в спектре  $\alpha$  Cyg. Заключение о характере переменности профиля линии  $H\alpha$ , полученное гейдельбергской группой [1], нами не подтверждается. Картина переменности лучевой скорости обусловлена нерадиальными пульсациями и различается для синей и красной половин профиля абсорбции. Для обеих половин профиля абсорбции параметры пульсации отличаются для разных уровней остаточной интенсивности. Для красной половины профиля абсорбции амплитуда и период увеличиваются от ядра в сторону крыла линии, а для синей, наоборот, уменьшаются. На синей половине профиля абсорбции наблюдаются абсорбционные детали. Их появление и исчезновение, а также незначительные миграции свидетельствуют о клочковатой структуре оболочки звезды. Сходство характера переменности лучевой скорости абсорбционного и эмиссионного компонентов свидетельствует о том, что переменность последнего также обусловлена нерадиальными пульсациями. Таким образом, переменность звездного ветра в области его зарождения частично обусловлена нерадиальными пульсациями нижележащих слоев атмосферы. В целом, переменность позиционных и фотометрических характеристик абсорбционного и эмиссионного компонентов профиля свидетельствует о нестационарности и асимметричности ветра звезды.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Сверхгигант  $\alpha$  Cyg был исследован гейдельбергской группой [1, 2]. Обнаружено, что переменность профиля  $H\alpha$  происходит из-за наложения переменных сине- и красносмещенных эмиссий на стабильный “фотосферный” профиль. Переменность проявляется одновременно и симметрично относительно лучевой скорости центра массы звезды. Отмечено, что определить характерное время этих изменений весьма трудно. По изменениям эквивалентной ширины линии  $H\alpha$  было найдено, что оно близко к величине периода вращения звезды. Авторы сделали заключение, что переменность профиля линии  $H\alpha$  обусловлена вращением. Отметим, что все эти результаты были получены методом “динамических спектров”, который не дает информацию о структуре линий и тем более об их изменениях со временем, а лучевые скорости измерены кросс-корреляционным методом.

Наши предыдущие исследования показали, что традиционный метод изучения изменений со временем лучевой скорости (измеряемой по бисектору

абсорбции) приемлем в случае линий ионов, когда наблюдается радиальная пульсация. В случае линий  $H\beta$  и  $H\alpha$ , которые формируются в слоях, где начинает проявляться звездный ветер, картины и параметры переменности лучевой скорости для синей и красной половин профиля различаются. Для изучения изменения лучевой скорости в атмосфере этой звезды необходимо исследовать ее переменность отдельно по синей и красной половинам профилей линий на разных уровнях их остаточной интенсивности [3, 4] (далее соответственно статья I и II). Параметры переменности (амплитуда и характерное время) также могут различаться для разных уровней остаточной интенсивности.

В настоящей статье по 240 кудэ-эшелле-спектрам, полученным в течение 1998–2000 гг., по вышеуказанной методике исследована переменность лучевой скорости и профиля линии  $H\alpha$  в спектре  $\alpha$  Cyg.

### 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА

Сведения о наблюдениях, полученных спектрах, а также о процедуре регистрации, обработки и редукиции спектров приведены в статьях I и II. Отметим, что в 1998 г. в течение двух, в 1999 г.

\*E-mail: abid@sao.ru

в течение полутора и в 2000 г. в течение четырех месяцев было получено соответственно по 40, 80 и 120 ПЗС-эшелле-спектров с  $R = 36000$  и  $250 \leq S/N \leq 500$ . Для исследования быстрой переменности в 1999 г. в течение трех ночей (02.09.1999, 07.09.1999 и 29.09.1999 гг.) было получено 12, 8 и 8 спектров. В остальные ночи (во всех трех сезонах) было получено по 4 спектра. В течение одной ночи изменения лучевой скорости и профиля линии  $H\alpha$  не обнаружены, поэтому профили усреднялись. Таким образом, каждый профиль, представленный на рисунках, это средний по 4 профилям, полученным в течение ночи. Общее количество наблюдательных ночей за 3 года — 52, соответственно 11, 16 и 25 ночей (точек) в 1998, 1999 и 2000 гг.

Как отмечалось в статье II, на спектрах, полученных с 6 по 11 сентября 1999 г., заметных изменений фотометрических и позиционных параметров исследованных линий, в том числе и линии  $H\alpha$ , не обнаружено, т. е. звезда находилась в состоянии покоя. Ошибки измерения эквивалентной ширины и остаточной интенсивности, найденные по этим спектрам для линии  $H\alpha$ , составляют  $0.008 \text{ \AA}$  и  $0.005$  соответственно, а ошибка измерения лучевой скорости не превышала  $0.6 \text{ км/с}$ .

Как и в предыдущих работах, для уменьшения шумов и увеличения точности фотометрических и позиционных измерений мы применили процедуру сглаживания спектра методом гауссианы (статья II). Сглаженные профили, записанные в остаточных интенсивностях, приведены на рис. 1.

При исследовании переменности линии  $H\alpha$  одной из немаловажных процедур является устранение влияния теллурических линий, искажающих ее профиль. Использование спектра звезды “divisor” не всегда решает эту задачу. Проблема связана как с выбором такой звезды, так и с ее зенитным расстоянием в момент наблюдений. В нашем случае важно по возможности полно устранить теллурические линии  $\lambda 6563.51$ ,  $6564.05$  и  $6564.2 \text{ \AA}$ , которые искажают слабую эмиссионную компоненту на красном крыле линии. Исследования теллурических линий в спектрах звезд разных спектральных классов и светимостей в разные сезоны наблюдений показали, что интенсивность бленды теллурических линий  $\lambda 6564.05$  и  $6564.2 \text{ \AA}$  всегда совпадает с интенсивностью теллурической линии  $\lambda 6574.07 \text{ \AA}$ . Поэтому на нормированном спектре поправку за бленду  $\lambda 6564.05$  и  $6564.2 \text{ \AA}$  можно ввести, используя это обстоятельство. Для восстановления эмиссионного компонента линии  $H\alpha$  были использованы возможности пакета программ DECH20 [5]. На наблюдаемый профиль наносятся опорные точки и исправленное значение интенсивности  $I_p$ . Далее программа DECH20 проводит

кривую сплайном. Для устранения теллурических линий, расположенных на крыльях абсорбционного компонента линии  $H\alpha$ , с помощью нанесения опорных точек также были проведены сплайны. Результат действия описанной процедуры демонстрируется (рис. 2) на примере профиля линии  $H\alpha$ , полученного 04.07.2000 г., на котором теллурические линии  $\lambda 6563.51$ ,  $6564.05$  и  $6564.2 \text{ \AA}$  видны более отчетливо. Ошибки определения интенсивности и эквивалентной ширины эмиссионного компонента, полученного таким образом, были оценены по профилям линий, полученных в течение 6 дней (06–11.09.99). Они не превышают вышеприведенных значений.

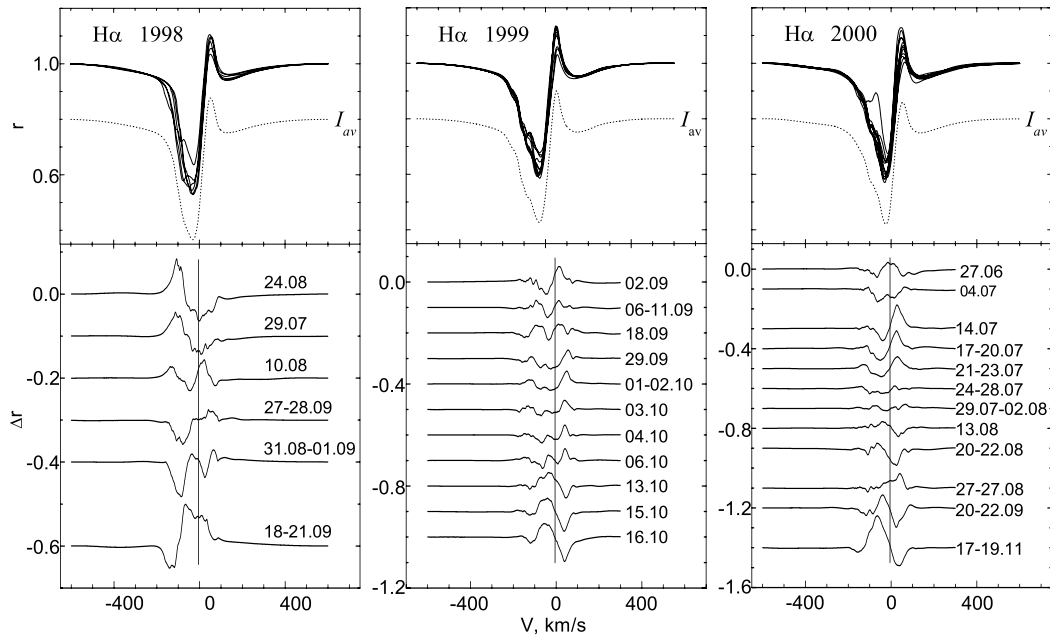
### 3. ПЕРЕМЕННОСТЬ ПРОФИЛЯ

Для выявления картины переменности из каждого профиля был вычтен средний профиль того же сезона. В те даты наблюдений, когда существенные изменения не наблюдаются, профили суммировались и усреднялись, например 06–11.09.1999 г. Картины переменности отдельных профилей относительно среднего профиля  $I_{av}$  представлены на рис. 1. Вертикальной линией отмечена лучевая скорость центра массы звезды ( $-5.0 \text{ км/с}$ ), т. е. средняя  $\gamma$ -скорость, найденная по линиям ионов за 1998–1999 гг. (статья II).

Переменность линии  $H\alpha$  наиболее заметна в интервале  $-200 \leq V \leq 200 \text{ км/с}$ , где амплитуда переменности отдельных профилей относительно среднего доходит до 15 % в долях уровня континуума. В интервале  $200 \leq |V| \leq 300 \text{ км/с}$  она меньше 2 %, а в крыльях меньше 1 %, что соизмеримо с ошибкой проведения непрерывного спектра.

По рис. 1 сложно судить о какой-либо закономерности в изменении профилей линии  $H\alpha$  относительно их среднего. С уверенностью можно сказать, что характер переменности профиля, найденный Гейдельбергской группой [1], нашими наблюдениями не подтверждается. На рис. 1 видно, что наблюдаемые изменения профиля на синей и красной его половинках во-первых, не симметричны относительно лучевой скорости центра массы звезды, во-вторых, как в случаях линии ионов и  $H\beta$  (статья II), в основном обусловлены дифференциальными сдвигами синей и красной половинки профиля абсорбции.

Исследование переменности во временном интервале от 1 до 7 суток показало, что для разных сезонов наблюдений степень переменности профиля линии  $H\alpha$  различается. С 6 по 11 сентября 1999 г. в течение 6 суток, с 1 по 3 октября 1999 г. и с 20 по 22 августа 2000 г. в течение 3 ночей переменности профиля не наблюдалось. В другие даты, когда



**Рис. 1.** Вверху — профили линии  $H\alpha$ , полученные в разные годы наблюдений.  $I_{av}$  — средний профиль для каждого сезона. Внизу — картины переменности профилей отдельных линий относительно среднего профиля  $I_{av}$ . Справа указаны даты наблюдений. Вертикальной линией отмечена лучевая скорость центра массы звезды,  $-5$  км/с.

имеются непрерывные ряды наблюдений, в одних случаях наблюдается изменение только позиционных (например 18–21.09.1999 г.), а в других случаях — только фотометрических характеристик (т.е. изменение интенсивности абсорбционного и/или эмиссионного компонента) линии. Величины позиционных сдвигов различаются как для синей и красной половин профиля абсорбции, так и для разных уровней остаточной интенсивности.

Все перечисленные особенности переменности хорошо прослеживаются на профилях, полученных в период с 17 июля 2 августа 2000 г., когда проведены непрерывные наблюдения в течение 17 ночей (рис. 3). Для наглядности профили линии  $H\alpha$  приведены в более растянутом масштабе лучевой скорости. Из кривых 1 рис. 3 видно, что в первые 4 дня (17–20.07) синяя половина профиля и ядро абсорбции не меняются. Одновременно наблюдается положительный сдвиг красной половины профиля и уменьшение интенсивности эмиссионного компонента. В следующие 4 дня (21–24.2007 г.) (кривые 2, рис. 3) изменение красной половины профиля и интенсивности эмиссионного компонента не наблюдается, а наблюдается уменьшение глубины абсорбции и положительный сдвиг синей половины профиля только для  $0.6 < r < 0.75$ . С 25–28.07 позиционные сдвиги наблюдаются только для красной, а с 29 июля по 2 августа только для синей половины профиля абсорбции.

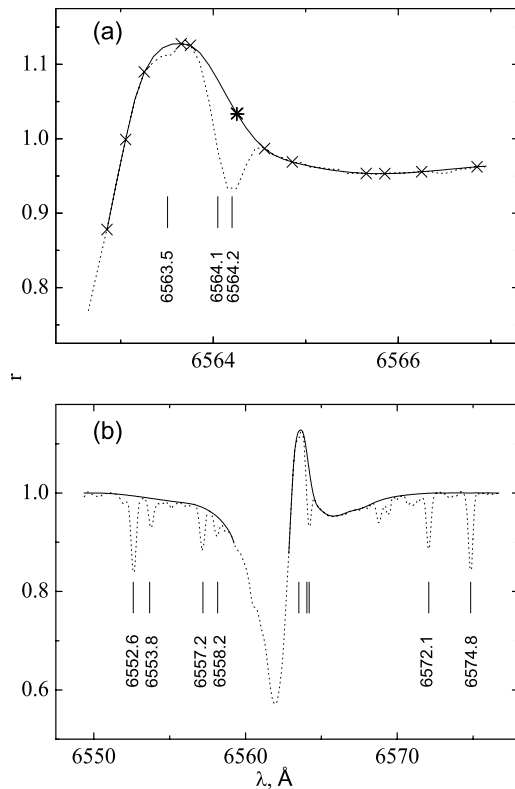
Картина и характер переменности линии  $H\alpha$  в течение 17 ночей (17 июля – 2 августа 2000 г.) хо-

рошо видна на кривых 5 (рис. 3), где представлены средние профили для каждого временного интервала 1–4. Заметен положительный сдвиг красной (для всех значений  $r$ ) и синей (для  $0.6 < r < 0.75$ ) половин профиля. Величины этих сдвигов существенно различаются. Для синей половины профиля абсорбции при  $0.8 < r < 0.9$  наблюдается отрицательный сдвиг.

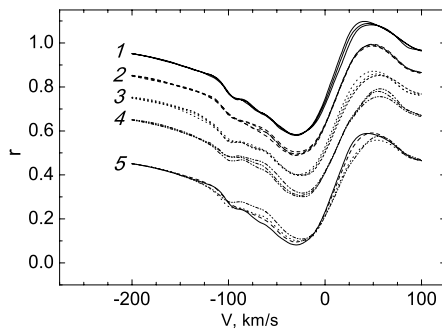
На кривых 5 видно, что в течение 17 ночей абсорбционная деталь, находившаяся на позиции  $V \approx -90$  км/с сдвинулась на позицию  $V \approx -95$  км/с. Это приводит к дополнительной переменности синей половины профиля абсорбции. Как было отмечено в статье I, на синей половине профиля наблюдаются абсорбционные детали переменной интенсивности. Одновременно можно наблюдать от одной до четырех подобных слабых абсорбционных деталей.

Сопоставление профилей линии  $H\alpha$ , полученных в разные моменты наблюдений, выявляет картину переменности профиля (рис. 4–6). При этом однотипные профили были усреднены. Даты получения усредненных профилей отмечены на рисунках и в дальнейшем будут использоваться для обозначения этих профилей.

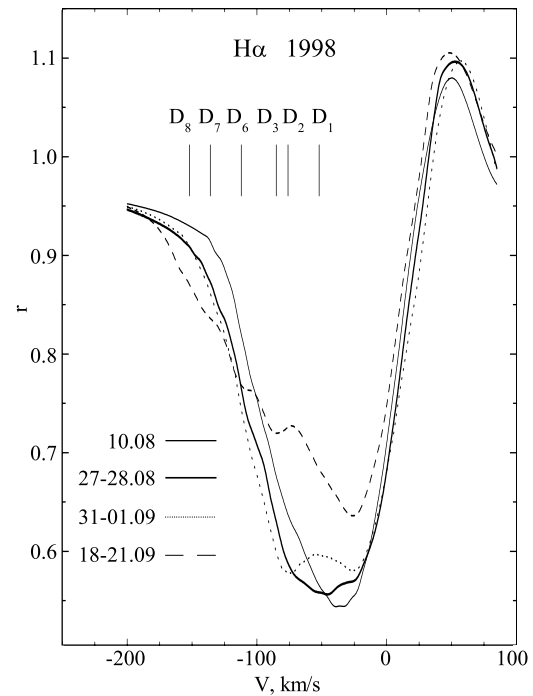
В 1998 г. изменение профиля происходило следующим образом: по мере смещения синей половины профиля появляется абсорбционная деталь на позиции  $D_1 \approx -52.0 \pm 5.0$  км/с, при этом интенсивность абсорбционного компонента уменьшается (профили 10.08 и 27–28.08). Далее этот процесс



**Рис. 2.** Очистка профиля линии  $H\alpha$  от влияния теллурических линий в спектре  $\alpha$  Cyg. (a) Пример устранения линий  $\lambda$  6563.51, 6564.05 и 6564.2 Å, искажающих слабую эмиссионную компоненту на красном крыле линии  $H\alpha$ . Крестиками нанесены опорные точки для проведения сплайна. Звездочкой отмечена вычисленная величина интенсивности эмиссионного компонента  $I_p$ . (b) Пример профиля, очищенного от влияния теллурических линий.



**Рис. 3.** Профили линии  $H\alpha$ , полученные в период непрерывных наблюдений 17.07–02.08.2000 г. в течение 17 ночей. Профили приведены в интервале лучевой скорости  $-200 \leq V \leq 100$  км/с, где наблюдается значительная переменность. 1, 2, 3, 4 — профили, полученные в каждые последовательные четыре ночи, т. е. соответственно 17–20, 21–24, 25–28 и 29.07–02.08 (без даты 31.07). 5 — средние профили по графикам 1–4.



**Рис. 4.** Сопоставление профилей линии  $H\alpha$ , полученных в 1998 г.  $D_1 - D_8$  — положения абсорбционных деталей, наблюдаемых на синей половине профиля абсорбции.

продолжается (профили 27–28.08 и 31.08–01.09) и появляется абсорбционная деталь на позиции  $D_2 \approx -76.0 \pm 2.0$  км/с, а абсорбционная деталь  $D_1$  не наблюдается. По профилю 18–21.09 заметно, что скорость расширения верхних слоев атмосферы увеличилась, наблюдаются по меньшей мере четыре абсорбционные детали:  $D_3 \approx -85.0 \pm 2.0$ ,  $D_6 \approx -112.0 \pm 3.0$ ,  $D_7 \approx -136.0 \pm 5.0$  и  $D_8 \approx -152.0 \pm 7.0$  км/с. Интенсивность абсорбции в целом значительно уменьшилась. Возможно, что наблюдаемая деталь  $D_3$  появилась в результате смещения детали  $D_2$ . Наблюдается корреляция: чем больше положительный сдвиг красной половины профиля, тем меньше интенсивность эмиссионного компонента.

При сопоставлении группы профилей 2, 3 (рис. 5) и 2 (рис. 6) для наглядности приводится последний профиль предыдущего графика. На профилях, полученных 03–06.10.1999 г., заметны следы абсорбционных деталей  $D_3 \approx -85.0 \pm 4.0$ ,  $D_6 \approx -112.0 \pm 4.0$  и  $D_8 \approx -152.0 \pm 7.0$  км/с (кривые 1 и 2, рис. 5). В период 04–13.10.1999 г. абсорбционная деталь  $D_1 \approx -52.0 \pm 5.0$  км/с то появляется, то исчезает на одной и той же позиции. Наблюдается смещение абсорбционной детали  $D_3$  на величину  $-6$  км/с (положение  $D_4$ ). А абсорбционная деталь  $D_8$  на профилях 03–06.10 постепенно слабеет и на профилях 15–16.10 уже не заметна.

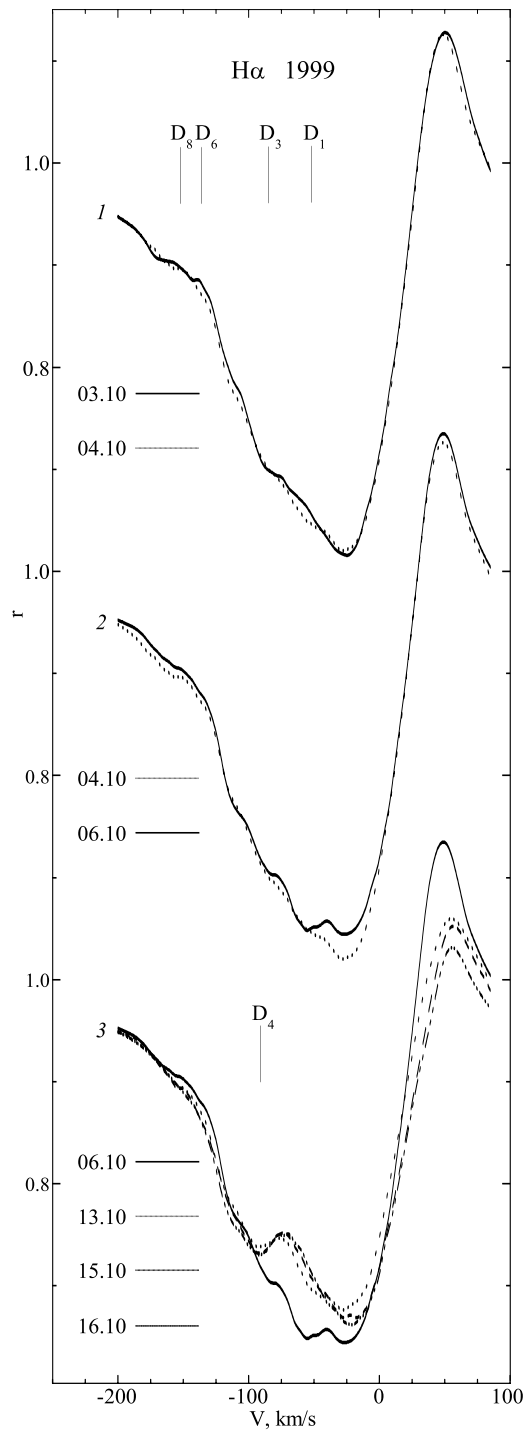


Рис. 5. То же, что на рис. 4, но для профилей, полученных в 1999 г.

На кривых 3 (рис. 5) также наблюдается вышеотмеченная корреляция между положительным сдвигом красной половины профиля и интенсивностью эмиссии.

Переменность профилей, полученных в период 17.07–02.08.2000 г., была показана на рис. 3. На

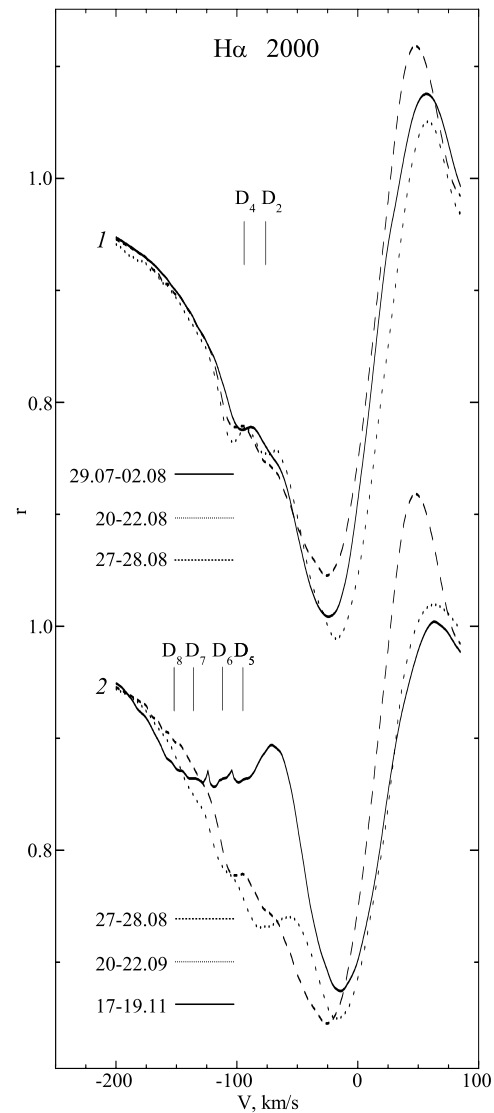
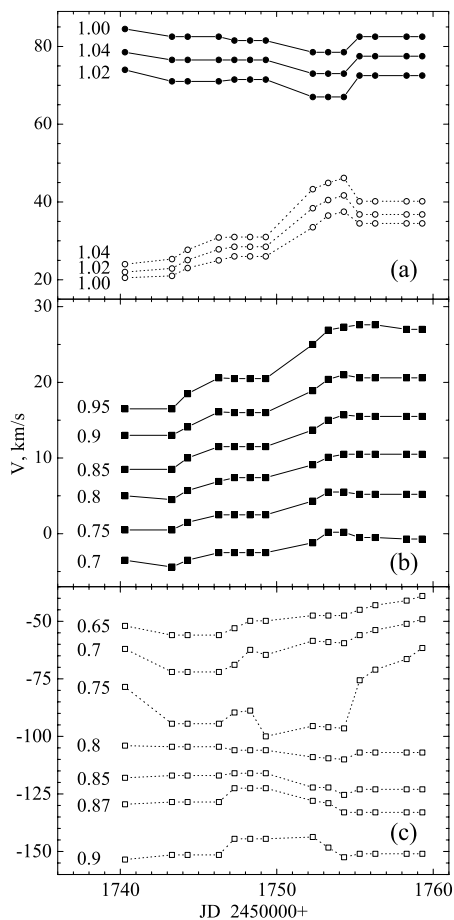


Рис. 6. То же, что на рис. 4, но для профилей, полученных в 2000 г.

рис. 6 сверху приведены три профиля. В течение 40 дней с 17–20.07 по 27–28.08.2000 г. мы наблюдаем сдвиг абсорбционной детали  $D_4 \approx -90.0 \pm 2.0$  км/с на величину  $-13$  км/с ( $\approx -103$  км/с). Абсорбционная деталь  $D_2 \approx -76.0 \pm 2.5$  км/с свою позицию почти не изменила. Интенсивность обеих деталей значительно уменьшилась.

На рис. 6 внизу также приведены 3 профиля. На профиле 20–22.09 наблюдаются 2 абсорбционные детали:  $D_6 \approx -109.0 \pm 3.0$  и  $D_2 \approx -76.0 \pm 2.0$ . Заметен след детали  $D_7 \approx -136.0 \pm 4.0$  км/с. 17–19.11.2000 г. зафиксирован максимально положительно сдвинутый абсорбционный профиль и одновременно наблюдается сильно смещенный в синюю сторону широкий абсорбционный компонент со средней скоростью около  $-110.0$  км/с. Как

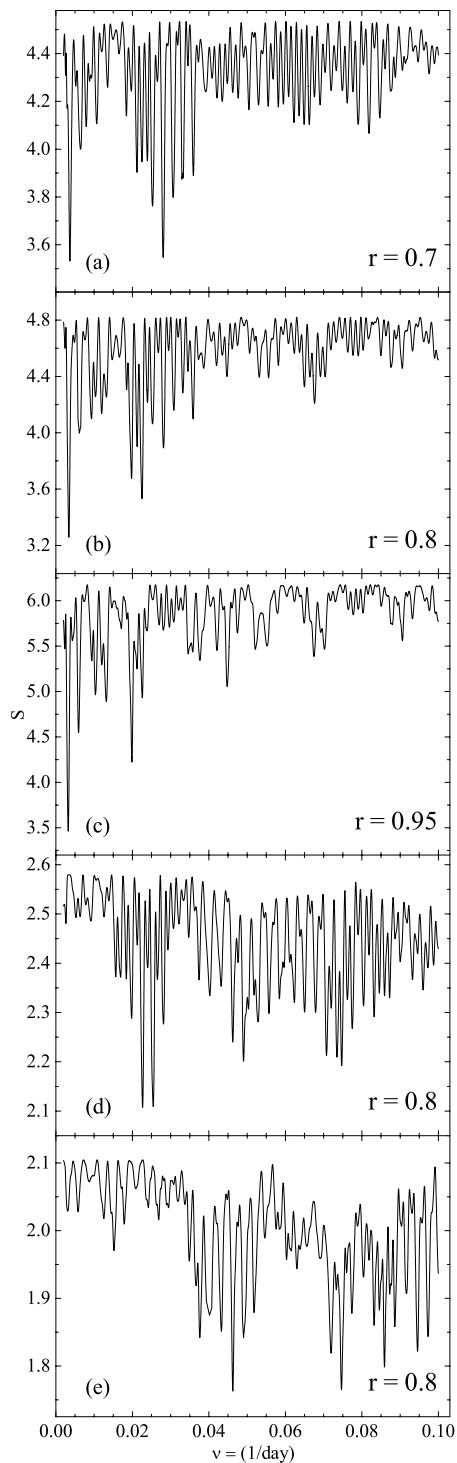


**Рис. 7.** Изменения лучевой скорости со временем в 2000 г. на разных уровнях остаточной интенсивности  $\gamma$ , которые указаны с лева: (а) для красной (темные кружки) и синей половины (светлые кружки) профиля эмиссии; (б) для красной половины профиля абсорбции; (с) для синей половины профиля абсорбции. Вертикальные размеры символов отражают ошибки измерения лучевой скорости.

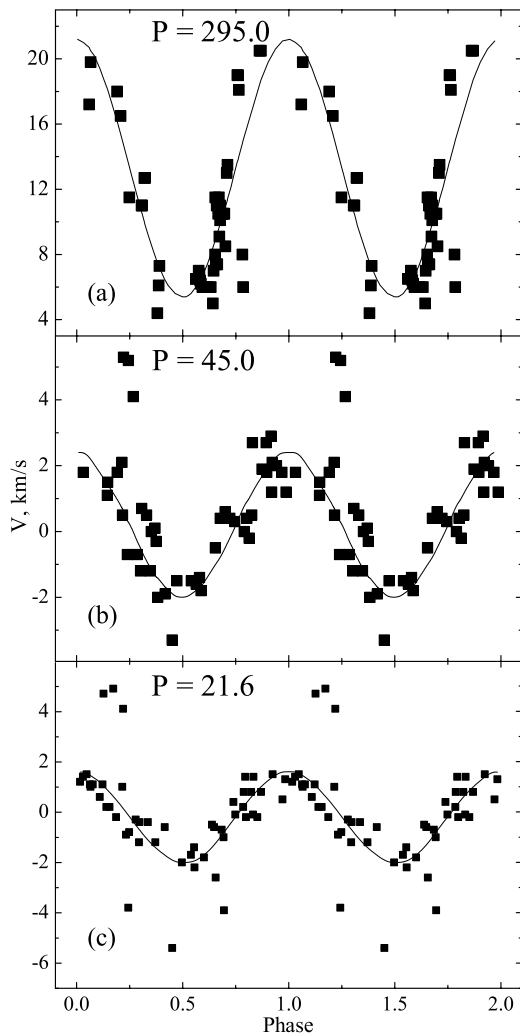
видно на графике 2 (рис. 6), этот компонент состоит из нескольких абсорбционных деталей, которые, по-видимому, накладываются на синюю половину профиля абсорбции. На рис. 6 также наблюдается вышеотмеченная корреляция: по мере увеличения положительного сдвига красной половины профиля абсорбции интенсивность эмиссионного компонента уменьшается.

#### 4. ПЕРЕМЕННОСТЬ ЛУЧЕВОЙ СКОРОСТИ

Лучевые скорости измерялись отдельно для синей и красной половин профиля  $H\alpha$  на разных уровнях остаточной интенсивности  $\gamma$  с шагом  $\Delta r = 0.01$ . Аналогичным образом была измерена лучевая скорость для синей и красной половин профиля эмиссионного компонента. На примере данных 2000 г. картины переменности лучевой скорости со временем представлены на рис. 7. Величины  $\gamma$



**Рис. 8.** Периодограммы, полученные методом гармонического анализа, для красной половины профиля абсорбции на разных уровнях ее остаточной интенсивности  $\gamma$ . Чем меньше величина  $S$ , тем больше значимость периода на данной частоте. Первичные значения периода для уровней  $\gamma$ , указанных на рисунках, — (а, б, с). Вторичные значения периода для уровня  $r = 0.8$  после вычитания его первичного значения  $P_1 = 295^d$  (д). Другие значения периода для уровня  $r = 0.8$  после вычитания его первичного и вторичного значений  $P_2 = 45^d$  (е). Подробности в тексте.



**Рис. 9.** Фазовые зависимости  $V(\varphi)$  для красной половины профиля  $\text{H}\alpha$  на уровне  $r=0.8$ . Период (в днях) указан сверху. (a) Для первичного значения периода; (b) для вторичного значения периода после вычитания его первичного значения; (c) для третьего значения периода после вычитания его первичного и вторичного значения (подробности в тексте). Вертикальные размеры символов отражают ошибки измерений лучевой скорости.

указаны слева рядом с кривыми. И для абсорбции, и для эмиссии эти картины различаются для обеих половин профилей, а также для разных уровней  $r$ . Поэтому для всех уровней, приведенных на рис. 7, поиск периодов проводился отдельно для синей и красной половин профилей абсорбционного и эмиссионного компонента.

#### 4.1. Поиск периодов

Поиск возможных периодов изменения лучевой скорости со временем проводился методом гармонического анализа. Для каждой пробной частоты

значения лучевой скорости сворачивались с периодом, соответствующим этой частоте. В полученную фазовую зависимость методом наименьших квадратов вписывалась синусоида, относительно которой вычислялась сумма квадратов отклонений точек  $S$ . По графической зависимости величины  $S$  от пробной частоты (т. е. по периодограмме, рис. 8) определялись минимумы отклонений, которые соответствовали более значимым величинам периода. Поиск показал, что для частот  $0.1 \leq \nu \leq 1.0$  (т. е. от 10 дней до 1) никаких значимых периодов не существует. Поэтому поиск проводился в интервале от 10 до 400 дней (т.е.  $0.1 \geq \nu \geq 0.0025$ ). В случае измерения скорости по бисектору абсорбции на всех уровнях  $r$  ( $0.65 \leq r \leq 1.0$ ) никаких значимых периодов обнаружено не было. При измерении скорости по красной половине профиля на всех уровнях  $r$  были получены несколько значимых периодов. Для выбора наилучшего из них строились и сопоставлялись графики фазовой зависимости лучевой скорости  $V_r(\varphi)$ . Обычно лучший из графиков соответствовал наиболее значимому периоду (рис. 9).

Результаты показали, что периоды различаются для различных уровней  $r$ . Для некоторых  $r$  периодограммы представлены на рис. 8. Видно, что существует несколько значимых периодов. Для уточнения периода были выполнены следующие процедуры (их результат для уровня  $r = 0.8$  демонстрируется на рис. 8 и 9). После нахождения первичного периода  $P = 295^d$  (рис. 8b) была построена фазовая зависимость  $V_r(\varphi)$ , которая аппроксимировалась синусоидой (рис. 9a). Далее вычислялись невязки между измеренными лучевыми скоростями и синусоидой. Минимизация невязок позволила обнаружить два периода —  $39.0$  и  $45^d$  (рис. 8d). Для периода  $P = 39^d$  на графике  $V_r(\varphi)$  точки плохо ложатся на синусоиду. Фазовая зависимость с периодом  $P = 45^d$  показана на рис. 9b. Аналогичным образом (по рис. 9b) было найдено третье значение периода (рис. 8e). Из найденных значений периода на рис. 8e только период  $P = 21.6^d$  дает лучший график для зависимости  $V_r(\varphi)$  (рис. 9c). В общей сложности было рассмотрено и проанализировано около 150 вариантов и такое же число графиков фазовой зависимости  $V_r(\varphi)$  были построены и сопоставлены.

Таким образом, в случае красной половины профиля абсорбции для всех уровней  $r$  были найдены 3 значимых периода. В случае синей половины профиля абсорбции для значений  $0.70 < r < 0.87$  значимые периоды не были обнаружены. Возможно, это связано с тем, что синяя половина “засорена” абсорбционными деталями. Но для области ядра ( $0.65 \leq r \leq 0.70$ ) и крыла ( $0.87 \leq r \leq 0.90$ ),

где профиль искажен наименьшим образом, были найдены значимые (хотя и менее значимые, чем для красной половины) периоды. Для синей и красной половин профиля эмиссии были найдены 2 значимых периода. Найденные периоды, амплитуды, а также ошибки их нахождения приведены в табл. 1.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ

В работах [1, 2] детальное исследование переменности лучевой скорости водородных линий не проводилось. В спектре  $\alpha$  Cyg по линиям  $H_{27}$ – $H_8$  отмечался небольшой бальмеровский прогресс, а переменность профиля линии  $H\alpha$  связывалась с модуляцией вращением. Отметим, что в указанных работах лучевые скорости линий были измерены кросс-корреляционным методом, а переменность профиля  $H\alpha$  в основном исследовалась по динамическим спектрам. Наша работа отличается не только разрешением  $R = 36000$  и числом спектров, полученных в течение одной ночи,  $N \geq 4$ , но и длительностью проведенных наблюдений (1998–2000 гг.), а также методическим подходом к изучению переменности лучевой скорости линий со временем (раздел 4).

Картины изменения отдельных профилей относительно среднего профиля (рис. 2) показали, что гипотеза о причине переменности профиля линии  $H\alpha$ , выдвинутая гейдельбергской группой [1], нашими наблюдениями не подтверждается. Не наблюдаются наложения переменных синие- и красносмещенных эмиссий ( $V/R$  variation) на профиль линии  $H\alpha$  симметрично относительно лучевой скорости центра массы звезды. Переменность профиля линии  $H\alpha$  обусловлена пульсационными движениями.

Как в случае линии  $H\beta$  (статья II), для  $H\alpha$  по бисектору абсорбции мы не смогли определить параметры переменности (период  $P$  и амплитуду  $A$ ) лучевой скорости. Наш методический подход выявил, что характер и параметры переменности лучевой скорости со временем различаются для синей и красной половин профиля абсорбции (табл. 1). Для  $\alpha$  Cyg  $P_{rot}/\sin i \approx 121.0^d$  [1], а теоретическая величина периода пульсаций в радиальной фундаментальной моде  $P_{fund} \approx 12.4^d$  [6]. Полученные нами периоды отличаются от  $P_{rot}$ . По определению [6], периоды  $P > P_{fund}$  приписывают модам нерадиальных пульсаций. Таким образом, переменность лучевой скорости синей и красной половин профиля абсорбции  $H\alpha$  обусловлена нерадиальными пульсациями.

Результаты гармонического анализа (табл. 1) показывают, что в слоях, где формируется профиль линии  $H\alpha$ , одновременно возбуждаются несколько мод колебаний. Для красной половины профиля

абсорбции были получены 3 значимых периода. Как видно из периодограмм на примере уровня  $r = 0.8$  (рис. 8b, d и e), второй и третий периоды соответственно остаются после вычитания первичного и вторичного их значения. Это говорит о том, что все 3 найденные гармоники реальны и одновременно существуют в атмосфере звезды. Как видно из табл. 1, для красной половины профиля абсорбции параметры переменности ( $P$  и  $A$ ) для первой и второй гармоники различаются для разных уровней  $r$ . При переходе от красного крыла к ядру величины периода и амплитуды уменьшаются. Возможно, при учете ошибок нахождения первичных величин периода рассуждать об этом сложно. Но вторичные величины периода также показывают аналогичную корреляцию (табл. 1).

Для синей половины профиля абсорбции были обнаружены характерные времена переменности лучевой скорости со временем только для уровней  $0.65 \leq r \leq 0.68$  и  $0.87 \leq r \leq 0.90$ . Но в отличие от красной половины, для области ядра величины периода и амплитуды больше, чем в крыле абсорбции. Таким образом, для обеих половин профиля абсорбции параметры переменности меняются в зависимости от остаточной интенсивности. Это обусловлено тем, что линия  $H\alpha$  формируется в более протяженных слоях атмосферы, чем линии ионов (статья II). В этих слоях структура поля скоростей очень сложная и меняется по высоте атмосферы. Как в случае линии  $H\beta$  (статья II), характер и параметры переменности лучевой скорости также различаются для синей и красной половин профиля абсорбции  $H\alpha$ . Таким образом, наш метод позволяет изучить по отдельности различающуюся кинематику поднимающихся и опускающихся слоев.

В отличие от красной, для синей половины профиля абсорбции не было обнаружено больше одного значимого периода. Это связано с тем, что синяя половина профиля абсорбции “засорена” абсорбционными деталями (см. раздел 3). Исследование позиционных и фотометрических характеристик выявило следующие особенности этих деталей:

- одновременно можно наблюдать от 1 до 4 абсорбционных деталей;
- они появляются и исчезают независимо друг от друга;
- скорости миграции этих деталей по синей половине профиля абсорбции (от ядра на синее крыло) различаются между собой;
- переменность интенсивности этих деталей различается и не связана с позиционной и фотометрической переменностью синей половины профиля абсорбции.



**Таблица 1.** Периоды (в днях) и амплитуды (км/с), полученные методом гармонического анализа для синей ( $I_{abs}^b$ ) и красной ( $I_{abs}^r$ ) половин профиля абсорбции, синей ( $I_{ems}^b$ ) и красной ( $I_{ems}^r$ ) половин профиля эмиссии линии  $H\alpha$  на разных уровнях  $r$

Уровни		$P_1$	$A_1$	$P_2$	$A_2$	$P_3$	$A_3$
$I_{abs}^r$	0.70	$270.0 \pm 17.0$	$11.0 \pm 1.0$	$35.0 \pm 0.7$	$4.0 \pm 0.5$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
“—”	0.75	$285.0 \pm 20.0$	$13.0 \pm 1.2$	$45.0 \pm 1.0$	$5.0 \pm 0.5$	$22.0 \pm 0.5$	$3.8 \pm 0.5$
“—”	0.80	$295.0 \pm 20.0$	$15.0 \pm 1.5$	$45.0 \pm 1.2$	$4.5 \pm 0.5$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
“—”	0.85	$300.0 \pm 22.0$	$17.0 \pm 1.5$	$50.0 \pm 1.5$	$6.0 \pm 0.7$	$22.0 \pm 0.5$	$4.0 \pm 0.5$
“—”	0.90	$305.0 \pm 22.0$	$19.0 \pm 1.5$	$60.0 \pm 2.0$	$8.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$4.0 \pm 0.5$
“—”	0.95	$310.0 \pm 24.0$	$23.0 \pm 2.0$	$60.0 \pm 2.0$	$10.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$4.0 \pm 0.5$
“—”	1.00	$315.0 \pm 25.0$	$30.0 \pm 2.5$	$50.0 \pm 1.5$	$8.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{ems}^b$	1.02	—	—	$50.0 \pm 1.5$	$7.5 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{ems}^b$	1.04	—	—	$50.0 \pm 1.5$	$6.5 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{ems}^r$	1.04	—	—	$75.0 \pm 2.5$	$8.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{ems}^r$	1.02	—	—	$75.0 \pm 2.5$	$7.5 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{ems}^r$	1.00	—	—	$75.0 \pm 2.5$	$7.0 \pm 1.0$	$22.0 \pm 0.5$	$3.5 \pm 0.5$
$I_{abs}^b$	$0.65 \leq r \leq 0.68$	$315.0 \pm 25.0$	$50.0 \pm 8.0$	—	—	—	—
$I_{abs}^b$	$0.87 \leq r \leq 0.90$	$245.0 \pm 15.0$	$18.0 \pm 2.0$	—	—	—	—

Все это говорит о том, что появление, миграция и исчезновение абсорбционных деталей на синей половине профиля абсорбции связаны с клочковатой структурой оболочки. Мы наблюдаем движение отдельных сгустков в верхних слоях атмосферы звезды, которые проявляются в виде абсорбционных деталей. Профили линии  $H\alpha$ , полученные в период 17–19.11.2000 г., также подтверждают наше заключение. На рис. 6 (график 2), на котором зафиксирована максимально смещенная в красную сторону абсорбционная компонента, на синем крыле профиля линии  $H\alpha$  наблюдаются абсорбционные детали. Кроме этого, на всех профилях, полученных в течение трех лет (1998–2000 гг.), наблюдается стабильная абсорбционная деталь (с переменной интенсивностью) на позиции  $D_6 \approx -112.0 \pm 3.0$  км/с. Возможно, звезда имеет диск, который вносит этот абсорбционный вклад.

Для синей и красной половин профиля эмиссии были обнаружены 2 значимых периода. В верхних слоях, где формируется эмиссионная компонента линии  $H\alpha$ , долгопериодические ( $P > 75^d$ ) изменения не обнаружены. На всех уровнях интенсивности для синей половины профиля эмиссии, кроме  $P = 50^d$ , был также обнаружен период  $P = 75^d$ . При этом, значимость последнего существенно увеличивается от значения  $r = 1.0$  к  $r = 1.04$ . Поэтому мы считаем, что период  $P = 50^d$  возникает в

результате влияния (накладывания) абсорбции на профиль эмиссии. Реальная переменность должна быть такой же, как для красной половины профиля эмиссии (табл. 1). Найденные значения периодов для эмиссионного компонента, а также сходство общего характера переменности лучевой скорости для абсорбционного и эмиссионного компонентов свидетельствуют о том, что переменность последнего также обусловлена нерадиальными пульсациями. Таким образом, переменность звездного ветра в областях его зарождения частично обусловлена нерадиальными пульсациями нижних слоев атмосферы.

О переменности интенсивности эмиссии можно сказать следующее. Наблюдается сильное влияние красной половины профиля абсорбции. Чем больше положительный сдвиг красной половины профиля абсорбции, тем меньше интенсивность эмиссионной компоненты. Отметим, что эти положительные сдвиги не всегда сопровождаются положительным сдвигом ядра абсорбции. В отдельные даты наблюдается усиление или уменьшение интенсивности эмиссии без позиционных изменений профиля (т. е. и абсорбции, и эмиссии). Эти увеличения (или уменьшения) сопровождаются как увеличением, так и уменьшением интенсивности абсорбционной компоненты, что свидетельствует о нестационарном и асимметричном ветре звезды [7].

По лучевой скорости ядра абсорбционной и эмиссионной компоненты никаких характерных времен переменности не обнаружено. Это свидетельствует о том, что эти переменности обусловлены другими процессами, происходящими в самом ветре звезды.

В заключение отметим, что при нашем методе исследования для одной линии  $H\alpha$  были сделаны около 70, а для всего спектрального материала около 3500 измерений лучевой скорости.

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для линий ( $H\beta$  и  $H\alpha$ ), которые формируются в слоях, где возникает звездный ветер и доминируют нерадиальные пульсации, классический метод исследования переменности лучевой скорости со временем (т. е. по лучевой скорости бисектора абсорбции) не подходит. Для детального исследования переменности лучевой скорости и выявления поля скоростей в этих слоях атмосферы необходимо измерять лучевую скорость отдельно по синей и красной половинам профиля линий на разных уровнях остаточной интенсивности  $g$ .

Картина и параметры переменности лучевой скорости со временем различаются для разных половин профиля абсорбции и для эмиссионной компоненты линии  $H\alpha$ . В случае абсорбционного компонента параметры переменности также различаются для различных уровней  $g$ . При переходе от крыла к ядру абсорбции для ее красной половины значения периода и амплитуды уменьшаются, а для синей, наоборот, увеличиваются.

Картина переменности профиля линии  $H\alpha$ , выдвинутая гейдельбергской группой [1], нашими наблюдениями не подтверждается. В наших наблюдениях переменность профиля линии  $H\alpha$  в основном была обусловлена нерадиальными пульсациями. На синюю половину профиля абсорбции дополнительно налагаются абсорбционные детали.

Появление, исчезновение, а также незначительные миграции этих деталей от ядра в сторону синего крыла свидетельствуют о клочковатой структуре оболочки звезды.

В общем, переменности позиционных и фотометрических характеристик абсорбционного и эмиссионного компонентов свидетельствуют о нестационарном и асимметричном ветре звезды.

Все вышесказанное свидетельствует о том, что наш методический подход позволяет исследовать природу переменности звездного ветра в областях его зарождения, и эта переменность частично обусловлена нерадиальными пульсациями нижележащих слоев атмосферы.

## БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит Клочкову В. Г., Ченцова Е. Л. и Панчука Е. В. за обсуждение результатов, Бычкова В. Д. за предоставление программ гармонического анализа.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Kaufer, O. Sthal, B. Wolf, et al., *Astron. Astrophys.* **305**, 887 (1996).
2. A. Kaufer, O. Sthal, B. Wolf, et al., *Astron. Astrophys.* **320**, 273 (1997).
3. A. Kh. Rzaev, *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **54**, 66 (2002) (Статья I).
4. А. Х. Рзаев, Л. Т. Гасанова, М. В. Юшкин, Х. М. Микаилов, *Астрофиз. Бюлл.* **62**, No.1, 61 (2007).
5. Г. А. Галазутдинов, Препринт No. 92, САО РАН (Nizhnij Arkhyz, 1992).
6. D. Lovy, A. Maeder, A. Noels, M. Gabriel, *Astron. Astrophys.* **133**, 307 (1984).
7. I. Appenzeller, "Variable and Non-spherical Winds in Luminous Hot Stars", in *Proceedings of IAU Coll. No. 169*, Ed. by B. Volf, O. Stahl, A. W. Fullerton (Lecture Notes in Physics, **523**, Springer Verlag, 1999), p. 3.

## ANALYSIS OF THE NONSTATIONARITY OF THE ATMOSPHERE OF $\alpha$ CYG. III. VARIABILITY OF THE $H\alpha$ -LINE PROFILE

A. Kh. Rzaev

The temporal variations of the radial velocity and profile of the  $H\alpha$  line in the spectrum of  $\alpha$  Cyg are analyzed based on 240 CCD spectra taken with the Coude spectrograph attached to the 2-m telescope of Shamaha Astrophysical Observatory of the National Academy of Sciences of Azerbaijan in 1998–2000. The results obtained are inconsistent with the conclusion made by the Heidelberg group concerning the behavior of the variability of the  $H\alpha$ -line profile [1]. The observed pattern of radial-velocity variations is due to nonradial pulsations and differs for the blue and red halves of the absorption profile. The pulsation parameters differ

for different levels of residual intensity for both halves of the absorption profile. The amplitude and period increase from the core toward the wing of the line for the red half of the absorption profile, and, on the contrary, decrease toward the line wing for the blue half of the profile. The blue half of the absorption profile exhibits additional absorption features. Their emergence and disappearance, as well as minor migrations are indicative of the clumpy structure of the stellar envelope. The similarity of the variability behavior of the absorption and emission profiles indicates that the latter too owe their variability to nonradial pulsations. Thus the variability of the stellar wind in its formation regions is partly due to the nonradial pulsations of the underlying layers of the atmosphere. On the whole, the variability of the position and photometric parameters of the absorption and emission components of the profile is indicative of the nonstationary nature and asymmetric shape of the stellar wind.