

УДК 524.31.01

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОСТИ АТМОСФЕРЫ $\kappa$ CAS. III. КИНЕМАТИКА АТМОСФЕРЫ

© 2020 А. Х. Рзаев<sup>1\*</sup><sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 РоссияПоступила в редакцию 14 августа 2019 года; после доработки 13 декабря 2019 года;  
принята к публикации 13 декабря 2019 года

По ПЗС-эшелле-кудэ-спектрам с высокими спектральным разрешением и отношением сигнал—шум исследована переменность лучевых скоростей, эквивалентных ширин и центральных глубин линий в спектре сверхгиганта  $\kappa$  Cas. Переменность лучевой скорости всех исследованных линий обусловлена нерадиальными пульсациями. Определены параметры переменности (период  $P$ , амплитуда  $A$  и средняя величина  $\gamma$ ) лучевой скорости, эквивалентной ширины и центральной глубины линий. Эти параметры различаются для разных линий. На основе расчета глубин формирования линий  $\lg \tau_\lambda$  исследована стратификация этих параметров в атмосфере звезды. Для лучевой скорости период, амплитуда и скорость расширения ( $\gamma$ -скорость) возрастают от нижних слоев атмосферы к верхним. Амплитуды переменности эквивалентных ширин и центральных глубин линий также увеличиваются с высотой в атмосфере.

Ключевые слова: *звезды: сверхгиганты — звезды: индивидуальные:  $\kappa$  Cas*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Данная работа является продолжением цикла статей по исследованию  $\kappa$  Cas BC0.7 Ia — яркого,  $V = 4^m 16$ , голубого сверхгиганта. Обнаруженные  $V/R$ -переменности линий в спектре звезды, а также одnogорбый вид эмиссионного профиля линии  $H\alpha$ , усиление и уменьшение ее интенсивности свидетельствовали о том, что  $\kappa$  Cas — сверхгигант с Ве-феноменом (Rzaev 2017a; b). Переменность лучевых скоростей фотосферных линий в спектре  $\kappa$  Cas была исследована ранее (Rzaev 2017a). В настоящей работе мы изучаем переменность лучевой скорости линий  $He I \lambda 5876$ ,  $6678 \text{ \AA}$ ,  $H\beta$  и  $H\alpha$ . Расчеты росселландовских глубин формирования линий в атмосфере показывают, что эти линии формируются в верхних слоях атмосферы, откуда истекает звездный ветер (Rzaev 2017a). Как и в работе Rzaev (2017b), в дальнейшем для краткости будем называть их ветровыми линиями. Также исследована переменность спектрофотометрических параметров — эквивалентных ширин и центральных глубин всех линий.

### 2. НАБЛЮДЕНИЯ И ИЗМЕРЕНИЯ

О полученных спектрах и их обработке подробно сказано в предыдущих работах Rzaev (2017a; b).

Здесь отметим, что спектры были получены на кудэ-спектрографе (Musaev et al. 1999) 2-м телескопа обсерватории на пике Терскол (Россия) со спектральным разрешением  $R = 45\,000$ . В рабочих областях, где были измерены линии, отношение  $150 \leq S/N \leq 600$ . С 31 августа по 6 октября 1999 г. было получено 29 спектров. В начале наблюдений (31 августа и 1 сентября) в течение каждой ночи было получено по два спектра. За период с 26 сентября по 6 октября 1999 г. в течение девяти ночей было получено 25 спектров. Для исследования быстрой переменности в течение трех ночей 30 сентября, 2 октября и 6 октября соответственно было получено по 4, 4 и 5 спектров.

Обработка эшелле-изображений выполнена стандартным методом с использованием пакета программ DECH95<sup>1</sup>. Для калибровки шкалы длин волн в разные ночи были получены спектры неба или Луны. Нуль-пункт шкалы лучевой скорости устанавливался по теллурическим линиям  $H_2O$  и  $O_2$ . Ошибки измерения, оцененные по 60 теллурическим линиям, не превышали  $|0.1| \pm 0.1 \text{ км с}^{-1}$ . Измерение лучевых скоростей и спектрофотометрических параметров линий осуществлено с помощью пакета программ DECH20T<sup>1</sup>. Быстрая переменность лучевых скоростей и профилей линий

\*E-mail: abid@sao.ru

<sup>1</sup><http://www.gazinur.com>

( $P < 1^d$ ) не наблюдается. Ошибки измерения лучевой скорости и спектрофотометрических параметров линий определялись по спектрам, полученным в течение одной ночи. Для линий He I  $\lambda$  5876, 6678 Å, H $\beta$  и H $\alpha$  ошибки измерения лучевой скорости соответственно не превышают 1.8, 1.8, 3.0 и 2.1 км с<sup>-1</sup>. Ошибки измерения эквивалентных ширин и центральных глубин линий соответственно не превышают 13.0 mÅ и 0.003 для слабых и 25.0 mÅ и 0.004 для сильных фотосферных групп линий. Для ветровых линий He I  $\lambda$  5876, 6678 Å, H $\beta$  и H $\alpha$  ошибки измерения центральных глубин линий не превышают 0.005, для эквивалентных ширин они соответственно составляют 38.0, 49.0 и 45.0 mÅ.

### 3. ПЕРЕМЕННОСТЬ ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРОВЫХ ЛИНИЙ

Поиск возможных периодов (квазипериодов) переменности лучевой скорости проводился методом гармонического анализа. Лучевые скорости линий He I  $\lambda$  6678, 5876 Å были измерены на уровне интенсивности  $r = 0.89$ . Этот уровень определен по методике, изложенной в работе Rzaev (2017a). Профили этих линий в наименьшей степени искажаются от суперпозиции (наложения) эмиссионных компонентов на этом уровне интенсивности  $r$ . Следовательно, на этом уровне переменность лучевой скорости в большей степени обусловлена движениями типа пульсаций. В процессе поиска периода для линий He I  $\lambda$  6678, 5876 Å лучевые скорости, полученные в течение одной ночи с интервалом меньше или равным 30 минутам, были усреднены, а с интервалом больше 30 минут не усреднялись. Для этих линий (в пределах ошибок) были найдены квазипериоды с близкими значениями около  $13^d5 \pm 1^d2$ . Амплитуда и среднее значение скорости, которое, как и в наших предыдущих работах, будет обозначаться как  $\gamma$ -скорость, соответственно составляют около  $13.0 \pm 1.2$ ,  $-1.5 \pm 0.5$  и  $16.0 \pm 1.2$ ,  $-8.5 \pm 0.8$  км с<sup>-1</sup> для линий He I  $\lambda$  6678 и 5876 Å. Фазовые кривые лучевой скорости для этих линий представлены на рис. 1a и 1b.

Для линии H $\beta$  лучевые скорости были измерены на уровне интенсивности  $r = 0.94 \pm 0.01$ , где влияние дополнительных эмиссионных компонентов по сравнению с другими уровнями минимально. Но разбросы между величинами лучевой скорости, полученные в течение одной ночи, были больше, чем ошибки измерения, и лучевые скорости усреднялись. Для линии H $\beta$  были найдены следующие параметры переменности:  $P_V = 22^d0 \pm 3^d5$ ,  $A_V = 42.0 \pm 3.0$  и  $\gamma_V = -29.0 \pm 2.2$  км с<sup>-1</sup>. Фазовая кривая показана на рис. 1c.

В спектре  $\kappa$  Cas H $\alpha$  наблюдается как одногорбая эмиссионная линия (Rzaev 2017b). Переменность проявляется как усиление и уменьшение ее центральной интенсивности, а также как появление и исчезновение дополнительных эмиссионных компонентов в синем крыле. Переменность лучевой скорости и профиля линии H $\alpha$  в течение ночи не обнаружена. Профили, полученные в течение одной ночи, усреднялись. Лучевые скорости были измерены на уровне интенсивности  $r = 1.3$ , где влияние дополнительных эмиссионных компонентов не заметно. Для линии H $\alpha$  были найдены следующие параметры переменности:  $P_V = 47^d0 \pm 5^d0$ ,  $A_V = 31.0 \pm 3.0$  и  $\gamma_V = 39.0 \pm 1.6$  км с<sup>-1</sup>. Фазовая кривая показана на рис. 1d.

На рис. 1a, 1c и 1d вертикальный размер символов соответствует максимальному значению ошибок измерений. Для линии He I  $\lambda$  6678 Å ошибка измерения указана в правом нижнем углу рис. 1b вертикальным баром.

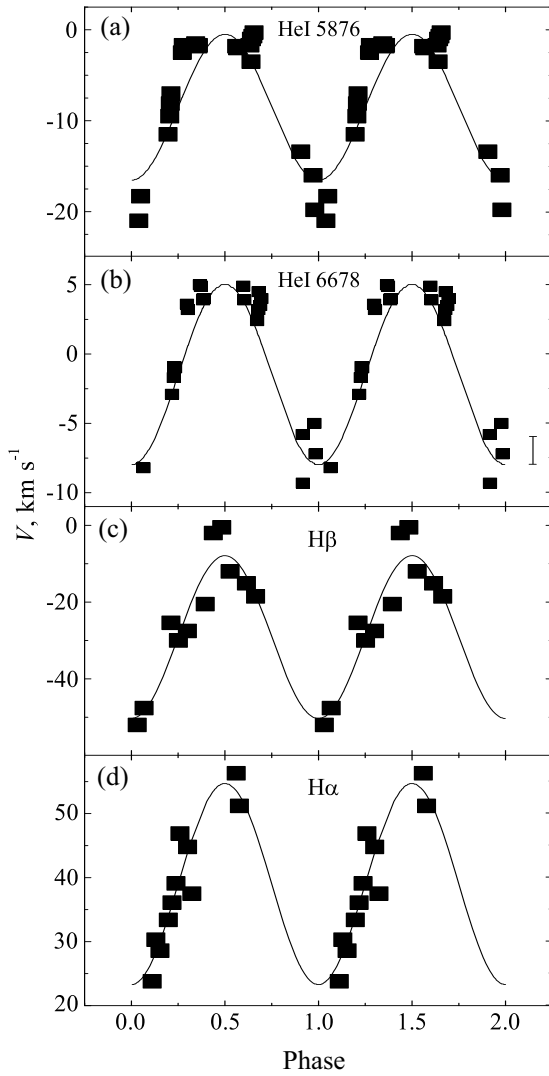
### 4. ПЕРЕМЕННОСТЬ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛИНИЙ

#### 4.1. Эквивалентные ширины линий

Для исследования стратификации лучевой скорости в атмосфере были рассчитаны росселландовские глубины формирования линий в атмосфере  $\kappa$  Cas (Rzaev 2017a). По характеру переменности лучевых скоростей, по величинам центральных глубин, а также по полученным значениям  $\lg \tau_\lambda$  исследуемые линии были разделены на три группы:

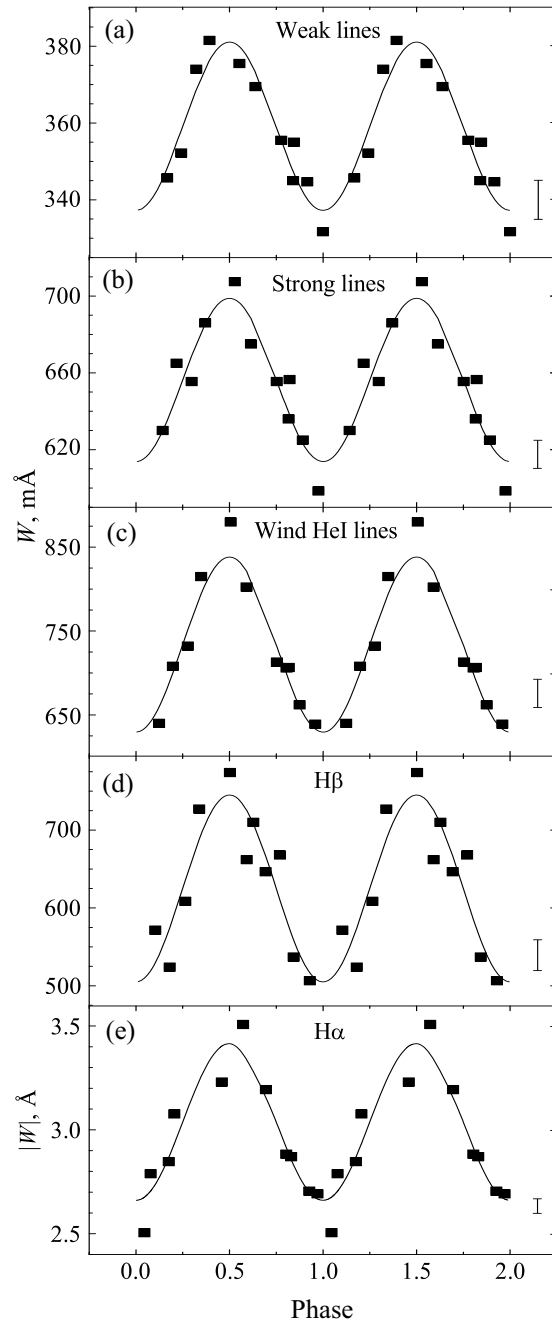
- слабые фотосферные линии ( $0.15 \leq R_0 \leq 0.25$ ) O II  $\lambda$  4319, 4349, 4360, 4661, Si III  $\lambda$  4552, 4567, 4574, 5739 Å и слабые линии He I  $\lambda$  3964, 4143, 4387, 4713, 5015 и 7065 Å были объединены в одну группу: Si III+O II+He I (weak);
- сильные фотосферные линии ( $R_0 = 1 - r_0 \geq 0.27$ ) от H $_{10}$  до H $_{\delta}$  и сильные линии He I  $\lambda$  3819, 4026, 4471, 4921 Å были объединены в группу (H $_{10}$ -H $_{\delta}$ )+He I (strong);
- ветровые линии: He I  $\lambda$  6678, 5876 Å, H $_{\gamma}$ , H $_{\beta}$  и H $_{\alpha}$ .

Для слабых фотосферных линий картины переменности эквивалентных ширин линий, а также полученные квазипериоды с точностью ошибок определения оказались одинаковыми. Для улучшения точности измерения были отобраны те линии, которые не блендируются с другими линиями и находятся в тех областях спектра, где  $200 \leq S/N \leq 600$ . Были отобраны шесть линий: Si III  $\lambda$  4552, 4567, 4574 Å, O II  $\lambda$  4661 Å,



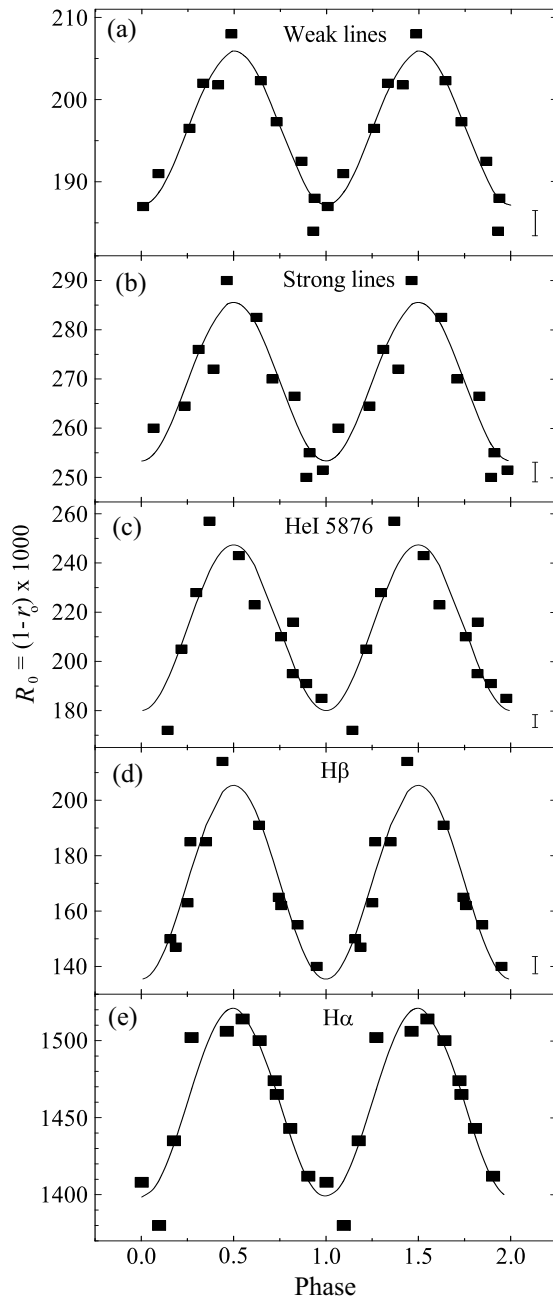
**Рис. 1.** Фазовые кривые лучевой скорости: с периодом  $P = 13^{\text{d}}5$  для (a) He I  $\lambda$  5876,  $A = 16.0$ ,  $\gamma = -8.5$ ; (b) He I  $\lambda$  6678,  $A = 13.0$ ,  $\gamma = -1.5$ ; (c) H $\beta$ ,  $P = 22^{\text{d}}0$ ,  $A = 2.0$ ,  $\gamma = -29.0$ ; (d) H $\alpha$ ,  $P = 47^{\text{d}}0$ ,  $A = 31.0 \text{ км с}^{-1}$ ,  $\gamma = 39 \text{ км с}^{-1}$ .

He I  $\lambda$  4387, 5015 Å. Для них в пределах ошибок определения параметры переменности (период и амплитуда) оказались одинаковыми. Усреднив эквивалентные ширины этих линий, мы нашли



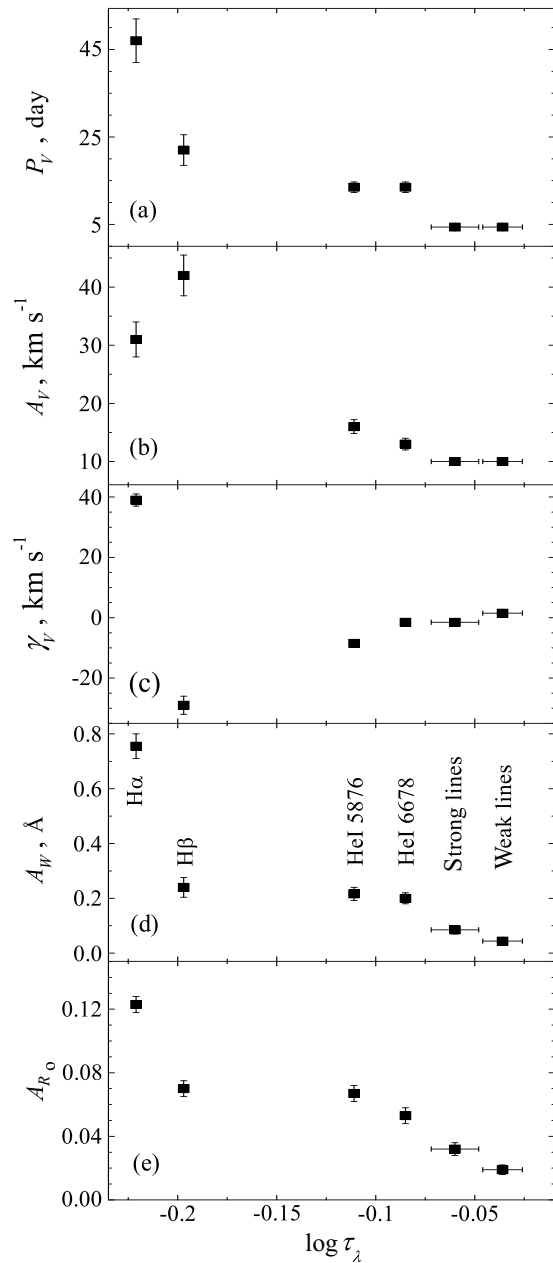
**Рис. 2.** Фазовые кривые эквивалентных ширин с периодом  $P_W = 12^{\text{d}}4$  и соответственно с амплитудами 44.0, 85.0, 208.0, 240 mÅ для (a) слабых, (b) сильных фотосферных линий, (c) ветровых линий He I  $\lambda$  6678, 5876, (d) H $\beta$ , (e) для эмиссионной линии H $\alpha$ :  $P_W = 8^{\text{d}}3$ ,  $A_W = 0.755 \text{ Å}$ . На панели (e) отображены абсолютные значения  $W_\lambda$  в Å.

параметры переменности  $W_\lambda$  для слабых линий:  $P_W = 12^{\text{d}}4 \pm 0^{\text{d}}3$ ,  $A_W = 44.0 \pm 11.0 \text{ мÅ}$ ,  $\gamma_W = 360.0 \pm 8.0 \text{ мÅ}$ . Фазовая кривая показана на рис. 2а.



**Рис. 3.** Фазовые кривые центральных глубин линий: с периодом  $P_{R_0} = 12^{\text{d}}.5$  и соответственно с амплитудами 19.0, 32.0, 67.0 для (а) слабых, (б) сильных фотосферных линий, (с) ветровой линии He I  $\lambda$  5876; с периодом  $P_{R_0} = 10^{\text{d}}.5$  и соответственно с амплитудами 70.0 и 123.0 для (d) H $\beta$  и (e) эмиссионной линии H $\alpha$ .

Из числа сильных фотосферных линий аналогичным образом были отобраны две линии: He I  $\lambda$  4026, 4471 Å. Для их средних значений  $W_\lambda$  были получены следующие параметры переменности:  $P_W = 12^{\text{d}}.2 \pm 0^{\text{d}}.3$ ,  $A_W = 85.0 \pm 15.0 \text{ m}\text{\AA}$ ,  $\gamma_W = 655.0 \pm 12.0 \text{ m}\text{\AA}$ . Периоды и амплитуды



**Рис. 4.** Параметры переменности линий в зависимости от их  $\lg \tau_\lambda$ . Лучевая скорость: (а) период  $P$ , (б) амплитуда  $A$ , (с)  $\gamma$ -скорость. Амплитуда переменности: (d) эквивалентных ширин  $W_\lambda$ , (е) центральных глубин  $R_0$ . Ошибки определения параметров указаны вертикальными размерами символов или барирами.

для линий He I  $\lambda$  5876 и 6678 Å также оказались одинаковыми. Они были усреднены и для них найдены следующие параметры переменности:  $P_W = 12^{\text{d}}.6 \pm 0^{\text{d}}.3$ ,  $A_W = 208.0 \pm 24.0 \text{ m}\text{\AA}$ ,  $\gamma_W = 735.0 \pm 14.0 \text{ m}\text{\AA}$ . Фазовые кривые для этих двух групп линий представлены на рис. 2b и 2с.

Для абсорбционной линии H $\beta$  и эмиссионной линии H $\alpha$  соответственно были найде-

ны следующие параметры:  $P_W = 12^{\text{d}}1 \pm 0^{\text{d}}4$ ,  $A_W = 240.0 \pm 36.0$  mÅ,  $\gamma_W = 625.0 \pm 24.0$  mÅ и  $P_{R_0} = 7^{\text{d}}3 \pm 0^{\text{d}}3$ ,  $A_{R_0} = 0.755 \pm 0.045$  Å,  $\gamma_{R_0} = 3.04 \pm 0.03$  Å. Фазовые кривые представлены на рис. 2d и 2e. На рис. 2a, 2b, 2c и 2d эквивалентные ширины приведены в mÅ. В случае эмиссионной линии H $\alpha$  на рис. 2e представлены абсолютные значения  $W_\lambda$  в Å. Максимальные ошибки измерения эквивалентной ширины для каждой группы линий отображены в правом нижнем углу рис. 2 вертикальными барами.

#### 4.2. Центральные глубины линий

Для достоверности полученных результатов из слабых фотосферных линий по вышеуказанному принципу (раздел 4.1) были отобраны четыре: Si III  $\lambda$  4552, 4567 и He I  $\lambda$  4387, 4713 Å. Остальные линии из этой группы (раздел 1) показывают аналогичные переменности, но с большим разбросом. Из числа сильных фотосферных линий были отобраны три: He I  $\lambda$  4026, 4471, 4921 Å. Для каждой группы измеренные центральные глубины линий были усреднены. Так как амплитуды переменности для  $R_0$  оказались маленькими, поиск параметров переменности был выполнен с увеличенными в тысячу раз значениями:  $R_0 = (1 - r_0) \times 1000$ . Периоды переменности для линий фотосферных групп, а также линий He I  $\lambda$  6678 и 5876 Å оказались одинаковыми:  $P_{R_0} = 12^{\text{d}}5 \pm 0^{\text{d}}5$ . Амплитуда переменности соответственно составляет  $A_{R_0} \times 1000 = 19.0 \pm 3.0$ ,  $32.0 \pm 4.0$ ,  $53.0 \pm 5.0$  и  $67.0 \pm 5.0$ . Поэтому, как и в случае с эквивалентными ширинами, эти линии He I не были объединены в одну группу. Фазовые кривые для слабых и сильных групп фотосферных и ветровой линии He I  $\lambda$  5876 Å соответственно представлены на рис. 3a, 3b и 3c.

Периоды для абсорбционной линии H $\beta$  и эмиссионной линии H $\alpha$  оказались одинаковыми. Для обеих линий на периодограмме одновременно выявляются два значимых периода  $12^{\text{d}}1 \pm 0^{\text{d}}7$  и  $10^{\text{d}}5 \pm 0^{\text{d}}5$ . Но данные со вторым значением периода лучше ложатся на фазовую кривую. Амплитуды составляли около  $P_{R_0} A = 70.0 \pm 5.0$  и  $123.0 \pm 7.0$  для линий H $\beta$  и H $\alpha$  соответственно. Фазовые кривые центральных глубин для этих линий представлены на рис. 3d, 3e. Для линии H $\alpha$  (рис. 3e) вертикальные размеры символов равны ошибкам измерений  $R_0$ . В остальных случаях максимальные ошибки измерения показаны в правом нижнем углу каждой панели рис. 3.

#### 5. СТРАТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ПЕРЕМЕННОСТИ $V$ , $W_\lambda$ , $R_0$ В АТМОСФЕРЕ ЗВЕЗДЫ

Таким образом, в спектре сверхгиганта  $\kappa$  Cas параметры переменности лучевых скоростей, эквивалентных ширин и центральных глубин линий отличаются для разных линий. Для исследования стратификации этих параметров в атмосфере были рассчитаны росселландовские глубины формирования линий в атмосфере  $\kappa$  Cas (Rzaev 2017a). На уровне фотосферы было принято  $\lg \tau_\lambda = 0$ . Для слоев атмосферы этот параметр принимает отрицательные значения, а к верхним слоям атмосферы его абсолютная величина возрастает. Для всех исследуемых линий этот параметр определялся на уровне половины их интенсивности. Для групп слабых фотосферных линий Si III+O II+He I (weak) средняя величина  $\lg \tau_\lambda = -0.036 \pm 0.01$ , для сильных (H $_{10}$  – H $\delta$ ) + He I (strong) этот параметр  $\lg \tau_\lambda = 0.060 \pm 0.012$ . Для линий He I  $\lambda$  6678, 5876 Å, H $\delta$ , H $\gamma$ , H $\beta$  и H $\alpha$  средняя величина  $\lg \tau_\lambda$  около  $-0.085$ ,  $-0.111$ ,  $-0.185$ ,  $-0.192$ ,  $-0.197$  и  $-0.221$  соответственно.

Рисунок 4 иллюстрирует изменения параметров переменности лучевых скоростей, эквивалентных ширин и центральных глубин линий как функции глубины их формирования  $\lg \tau_\lambda$  в атмосфере звезды. Для слабых и сильных фотосферных линий приведены средние значения  $\lg \tau_\lambda$  и горизонтальными барами отмечены их границы. На рис. 4 параметры переменности лучевой скорости — период  $P$ , амплитуда  $A$  и средняя скорость  $\gamma$  — даны с нижним индексом  $V$ . Амплитуды переменности эквивалентных ширин и центральных глубин линий соответственно обозначены переменными с нижними индексами  $W$  и  $R_0$ . Вертикальные бары и размеры символов соответствуют ошибкам определения параметров. На рис. 4d для наглядности рядом с каждым символом указаны линия или группа линий.

#### 6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значения параметров переменности лучевой скорости для слабых и сильных фотосферных линий были взяты из работы Rzaev (2017a). Величины периода и амплитуды для этих двух групп линий одинаковы и составляют около  $P = 4^{\text{d}}4 \pm 0^{\text{d}}2$  и  $A = 10.0 \pm 0.5$  км с $^{-1}$ , а  $\gamma$ -скорости различаются.

Период отличается для разных линий и составляет  $4^{\text{d}}4 \pm 0^{\text{d}}2$ ,  $13^{\text{d}}5 \pm 1^{\text{d}}2$  и  $22^{\text{d}}0 \pm 3^{\text{d}}5$  для линий фотосферы, He I  $\lambda$  6678, 5876 Å и H $\beta$  соответственно. Следовательно, период колебаний значительно увеличивается к верхним слоям атмосферы (рис. 4a). Амплитуда переменности лучевой

скорости также возрастает к верхним слоям атмосферы и составляет около  $10.0 \pm 0.5$ ,  $13.0 \pm 1.2$ ,  $16.0 \pm 1.2$  и  $42.0 \pm 3.0$  км с<sup>-1</sup> для линий фотосферы, He I  $\lambda$  6678, 5876 Å и H $\beta$  (рис. 4b). Величина амплитуды переменности для H $\beta$  значительно больше, чем у остальных линий (рис. 4b). Как было отмечено в разделе 3, это связано с влиянием дополнительных эмиссионных компонентов на лучевую скорость линии.

По величине  $\gamma$ -скорости для слабых фотосферных линий можно сказать, что проекция лучевой скорости центра массы звезды составляет около  $1.5 \pm 0.5$  км с<sup>-1</sup>. Таким образом,  $\kappa$  Cas — убегающая звезда. Для сильных фотосферных линий и ветровых линий He I  $\lambda$  6678, 5876 Å и H $\beta$   $\gamma$ -скорости соответственно составляют около  $-1.5 \pm 0.5$ ,  $-8.5 \pm 0.5$  и  $-29.0 \pm 2.2$  км с<sup>-1</sup>. Следовательно, слои, где формируются эти линии, расширяются относительно центра массы звезды, и скорость расширения увеличивается к верхним слоям атмосферы (рис. 4с).

В случаях  $W_\lambda$  и  $R_0$  для всех исследуемых линий значения периода переменности оказались одинаковыми:  $P = 12^d.5 \pm 0^d.5$ . Возможно, это связано с тем, что эти переменности обусловлены одними и теми же физическими процессами. Или это связано с длительностью (наши наблюдения не охватывают все возможные фазы переменности) и скважностью наших наблюдений. Амплитуда переменности для  $W_\lambda$  составляет  $44.0 \pm 11.0$ ,  $85.0 \pm 15.0$ ,  $208.0 \pm 24.0$  и  $240.0 \pm 36.0$  mÅ, а для  $R_0$  —  $0.019 \pm 0.003$ ,  $0.032 \pm 0.004$ ,  $0.053 \pm 0.005$  и  $0.067 \pm 0.006$  соответственно для линий слабых, сильных фотосферных групп, He I  $\lambda$  6678, 5876 Å и H $\beta$ . Следовательно, амплитуда переменности  $W_\lambda$  и  $R_0$  также увеличивается к верхним слоям атмосферы (рис. 4d, 4e).

Для однопиковой эмиссионной линии H $\alpha$  период и амплитуда переменности лучевой скорости, а также амплитуда переменности  $W_\lambda$  и  $R_0$  больше, чем для других исследованных линий. Таким образом подтверждается увеличение периода и амплитуды переменности к самым верхним слоям атмосферы, где формируется линия H $\alpha$  (рис. 4). Для линии H $\alpha$  период переменности эквивалентной ширины составляет около  $P = 8^d.3 \pm 0^d.3$ , что

отличается от найденных величин для других линий. Возможно, это свидетельствует о том, что ее переменность обусловлена другими физическими процессами.

Если варьировать эволюционные параметры из литературы (Crowther et al. (2006) и Searle et al. (2008)), для  $\kappa$  Cas величина периода пульсаций в основной фундаментальной моде составляет около пяти часов (Lovy et al. 1984). Следовательно, по данным работы Lovy et al. (1984), полученные нами значения периода для лучевой скорости соответствуют нерадиальным пульсациям в  $g$ -модах.

Таким образом, в спектре сверхгиганта  $\kappa$  Cas переменность лучевой скорости всех исследованных линий обусловлена нерадиальными пульсациями. Параметры переменности: период, амплитуда и скорость расширения ( $\gamma$ -скорости) — увеличиваются от нижних слоев атмосферы к верхним. Амплитуды переменности эквивалентных ширин и центральных глубин линий также возрастают по высоте в атмосфере. Все полученные результаты, в особенности периоды переменности эквивалентных ширин и центральных глубин линий, нуждаются в подтверждении на основе длительных и непрерывных наблюдений.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. P. A. Crowther, D. J. Lennon, and N. R. Walborn, *Astron. and Astrophys.* **446**, 279 (2006).
2. D. Lovy, A. Maeder, A. Noëls, and M. Gabriel, *Astron. and Astrophys.* **133**, 307, (1984).
3. F. A. Musaeov, G. A. Galazutdinov, A. V. Sergeev, et al., *Kinematics Phys. Celest. Bodies* **15**, (3), 216 (1999).
4. A. Kh. Rzaev, *Astrophysical Bulletin* **72**, 35, (2017).
5. A. Kh. Rzaev, *Astrophysical Bulletin* **72**, 452 (2017).
6. S. C. Searle, R. K. Prinja, D. Massa, and R. Ryans, *Astron. and Astrophys.* **481**, 777 (2008).

**Nonstationarity of the Atmosphere of  $\kappa$  Cas. III. Atmosphere Kinematics****A. Kh. Rzaev**

The variability of radial velocities, equivalent widths and central line depths in the spectrum of the  $\kappa$  Cas supergiant was studied using CCD coude-echelle spectra with high spectral resolution and signal-to-noise ratio. The radial velocity variability of all the studied lines is due to non-radial pulsations. The variability parameters (period  $P$ , amplitude  $A$  and average value  $\gamma$ ) of radial velocity, equivalent width and central depth of the lines were determined. These parameters differ for different lines. Based on the calculation of the formation depth of the lines  $\log \tau_\lambda$ , the stratification of these parameters in the atmosphere of the star was studied. For the radial velocity, the period, amplitude, and rate of expansion ( $\gamma$ -velocity) increase from the lower to the upper layers of the atmosphere. The amplitudes of variability of the equivalent widths and central depths of the lines also increase with the height in the atmosphere.

Keywords: *stars: supergiants—stars: individual:  $\kappa$  Cas*