

НЕОБЫЧНАЯ ДВОЙНАЯ СИСТЕМА HD83058 В  
ОВ АССОЦИАЦИИ SCO-CENМ.А. ПОГОДИН<sup>1</sup>, Н.А. ДРАКЕ<sup>2,3</sup>, Е.Г. ЖИЛИНСКИЙ<sup>1,3</sup>,  
К.В. ПЕРЕЙРА<sup>3</sup>, Г.А. ГАЛАЗУТДИНОВ<sup>4,5</sup>, А. ХЕРРЕРА<sup>6</sup>,  
Дж. ТЕЛТИНГ<sup>5</sup>, А.Ф. ХОЛТЫГИН<sup>6</sup>, Ю.К. АНАНЬЕВСКАЯ<sup>1</sup>

Поступила 22 ноября 2018

Принята к печати 13 марта 2019

Представлены результаты спектроскопии с высоким спектральным разрешением двойной системы HD83058, расположенной в ОВ ассоциации Sco-Cen. Наблюдения были проведены в обсерваториях ESO<sup>4</sup> и Сьерра Армандос (Чили) в течение 3-х сезонов: в марте 1998г., в 2007-2009гг. и в мае 2013г. Всего был получен 41 спектр объекта. На основе анализа лучевых скоростей линий обоих компонентов системы были получены элементы орбиты и определен орбитальный период  $P = 2.3650804 \pm 0.0000034$  дней. Используя модели звездных атмосфер, мы разделили спектры двух компонентов системы и определили их параметры  $T_{\text{eff}} = 25700 \pm 400$  K,  $\log g = 4.27 \pm 0.05$  и  $T_{\text{eff}} = 19200 \pm 600$  K,  $\log g = 4.03 \pm 0.20$  для компонентов А и В, соответственно. Мы подтвердили наличие движущихся локальных деталей на профилях линий Si III в спектре компонента А, которые могут быть связаны либо с пульсационной активностью звезды, либо с вращением латиподобных неоднородностей на ее поверхности. Мы установили, что линии в спектре компонента В показывают другой тип переменности, при которой ширина и глубина практически всех атмосферных линий в отдельные даты изменяются в противофазе. Было показано, что система является в значительной степени асинхронной. Мы предполагаем, что десинхронизация могла возникнуть вследствие гравитационного взаимодействия системы с каким-либо третьим телом, так как плотность звезд внутри ОВ ассоциации должна быть гораздо выше обычной.

*Ключевые слова: двойные системы; элементы орбиты; разделение спектров компонентов; спектральная переменность; HD83058*

1. *Введение.* Яркая В2 звезда HD83058 (I.Vel, HIP 46950,  $V = 5^m.03$ ) из ОВ ассоциации Sco-Cen в начале 2000-х стала объектом программы поиска в этой ассоциации звезд с высокими скоростями собственного движения и их связи с малыми подгруппами объектов внутри самой ассоциации. Конечной целью этого исследования была локализация мест возможных вспышек сверхновых, которые и могли бы быть причиной "убегания" этих звезд. Сама процедура поиска заключалась в анализе: а) параллакса, б) собственных движений и в) лучевых скоростей отдельных объектов и восстановлении их 3-мерных траекторий движения по методу, первоначально описанному Хугерверфом и др. в [1]. Лучевые скорости нескольких объектов из десятков звезд-кандидатов были измерены на 2.2-м телескопе Европейской Южной

обсерватории (ESO) в Чили с эшелле-спектрографом FEROS (см. подробнее раздел 2 "Наблюдения"). Обзор публикаций по этой программе приведен в работе Жилинского и др. [2]. В этой работе был также сделан вывод, что одна из звезд программы HD83058 может представлять интерес и для других астрофизических исследований. Авторами было установлено, что HD83058: а) не является "убегающей" (runaway) звездой; б) представляет собой двойную систему, состоящую из двух звезд раннего спектрального класса с орбитальным периодом около 2.3 дней; в) профили линий ее более массивного компонента содержат локальные движущиеся детали; г) профили линий менее массивного компонента в отдельные даты становятся шире. По отдельности, некоторые свойства этого объекта были упомянуты в литературе и ранее. Так, двойственность этого объекта была отмечена еще в 90-х годах в работе [3], а наличие переменности профилей спектральных линий главного компонента системы обсуждалось Телтингом и др. в [4].

Задачами нашей работы были: а) существенное уточнение параметров орбиты системы; б) определение основных фундаментальных параметров каждого из компонентов системы и в) предложение возможных выводов об особенностях спектральной переменности обоих компонентов.

**2. Наблюдения.** В основу настоящей работы были положены результаты наблюдений, которые были проведены на трех телескопах в течение трех наблюдательных периодов.

В марте 1998г. 16 спектров в области триплета SiIII 4553, 4568, 4575 были получены на спектрографе CES (Coude Echelle Spectrometer), установленном на 1.4-м телескопе CAT (Coude Auxiliary Telescope) обсерватории ESO (Чили). Спектральное разрешение аппаратуры соответствовало  $R = 50000$ .

С июня 2007г. по декабрь 2009г. 16 спектров HD83058 были получены на 2.2-м телескопе обсерватории ESO (Чили) с эшелле-спектрографом FEROS (Fiberfed Extended Range Optical Spectrograph). Спектральный диапазон прибора охватывал  $\lambda\lambda 3800 - 9200 \text{ \AA}$  при разрешении  $R = 48000$ .

В мае 2013г. наблюдения проводились на 0.84-м ИК телескопе обсерватории Cerro Armazones в Чили со спектрографом BESO (Bochum Echelle Spectroscopic Observer,  $R = 45000$ , диапазон длин волн  $\lambda\lambda 3600 - 8500 \text{ \AA}$ ). Всего было получено 9 спектров.

Для работы были использованы лучевые скорости атмосферных линий в спектрах обоих компонентов системы. Эта скорость определялась как центр тяжести части нормированного профиля абсорбционной линии, окружающего минимум ее интенсивности  $I_m$  на уровне интенсивности ниже  $I_m - 0.1$  ( $1 - I_m$ ). Таким образом, уменьшалось влияние малоамплитудной переменности в центральной части профиля на измеряемую величину лучевой скорости. В

сезоне 1998г. использовались линии триплета SiIII, в 2007-2009гг. - 5 линий: SiIII 4552 и 4568; MgII 4481 и HeI 5876, 6618. Область спектральной

Таблица 1

ЛУЧЕВЫЕ СКОРОСТИ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ  
КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ А И В

Дата	MJD	$V_A$ (км/с)	$V_B$ (км/с)	Спектрограф
15.03.1998	50887.021	66.4 ± 0.7	-70.4 ± 1.2	CES
18.03.1998	50890.012	-52.9 ± 1.4	126.0 ± 3.7	CES
18.03.1998	50890.056	-57.0 ± 1.6	131.0 ± 0.1	CES
18.03.1998	50890.098	-60.3 ± 1.0	139.0 ± 0.3	CES
18.03.1998	50890.139	-61.6 ± 1.2	143.8 ± 0.3	CES
19.03.1998	50891.025	55.0 ± 1.6	-59.2 ± 2.7	CES
19.03.1998	50891.062	60.7 ± 1.7	-67.2 ± 2.2	CES
19.03.1998	50891.114	72.4 ± 0.3	-80.4 ± 0.5	CES
20.03.1998	50892.144	-14.2 ± 0.5	-	CES
21.03.1998	50893.047	-17.8 ± 1.0	-	CES
22.03.1998	50894.051	77.5 ± 0.5	-90.4 ± 2.4	CES
23.03.1998	50894.991	-61.0 ± 1.2	144.0 ± 1.2	CES
23.03.1998	50895.051	-59.8 ± 0.7	141.1 ± 2.1	CES
23.03.1998	50895.102	-58.4 ± 1.6	133.2 ± 0.9	CES
24.03.1998	50896.000	92.4 ± 0.2	-114.3 ± 5.2	CES
24.03.1998	50896.047	98.3 ± 1.2	-126.2 ± 1.0	CES
01.06.2007	54252.986	-34.8 ± 2.5	91.4 ± 2.9	FEROS
02.01.2008	54467.327	93.4 ± 2.2	-121.2 ± 2.6	FEROS
23.02.2008	54519.012	35.0 ± 2.7	-	FEROS
24.05.2008	54610.975	-1.4 ± 0.6	-	FEROS
23.12.2008	54823.320	-67.0 ± 2.4	152.0 ± 3.7	FEROS
09.03.2009	54899.185	-54.4 ± 2.7	138.8 ± 3.4	FEROS
12.05.2009	54963.957	86.6 ± 2.7	-117.0 ± 2.2	FEROS
24.12.2009	55189.145	58.2 ± 3.4	-63.2 ± 2.5	FEROS
24.12.2009	55189.272	21.2 ± 3.4	-	FEROS
24.12.2009	55189.346	12.4 ± 1.1	-	FEROS
25.12.2009	55190.121	-59.6 ± 3.6	133.0 ± 4.2	FEROS
25.12.2009	55190.158	-56.2 ± 3.4	129.2 ± 2.9	FEROS
25.12.2009	55190.362	-20.0 ± 3.1	68.0 ± 3.1	FEROS
26.12.2009	55191.132	95.8 ± 2.2	-128.2 ± 1.3	FEROS
26.12.2009	55191.204	94.6 ± 2.7	-124.8 ± 0.8	FEROS
26.12.2009	55191.360	81.2 ± 2.5	-106.4 ± 3.3	FEROS
03.05.2013	56416.008	77.5 ± 0.5	-93.7 ± 0.4	BESO
04.05.2013	56416.061	85.7 ± 3.9	-101.2 ± 2.8	BESO
05.05.2013	56417.162	-50.5 ± 0.5	131.7 ± 3.7	BESO
06.05.2013	56418.073	23.0 ± 1.5	-	BESO
06.05.2013	56418.109	27.8 ± 2.3	-	BESO
06.05.2013	56418.996	60.5 ± 0.5	-60.0 ± 0.1	BESO
07.05.2013	56419.038	49.1 ± 0.5	-46.3 ± 0.5	BESO
08.05.2013	56421.001	96.5 ± 1.6	-120.5 ± 1.3	BESO
09.05.2013	56421.043	95.2 ± 3.9	-120.1 ± 2.0	BESO

чувствительности телескопа обсерватории Сетто Агтазонах была сильно смещена в красную сторону, и точно измерить удалось только лучевые скорости линий  $\text{FeI } 5876$  и  $6618$ .

Результаты наших измерений приведены в табл.1, где указаны: дата, модифицированный юлианский дата МJD, лучевые скорости обоих компонентов системы с указанием ошибки измерения и использованный спектрограф.

**3. Определение параметров орбиты.** В настоящее время для определения орбитальных параметров двойных систем обычно используются специализированные программы FOTEL [5] и KOREL [6,7]. Мы в работе использовали нашу собственную программу, которая проста в употреблении, а по точности определения параметров, как оказалось, не уступает традиционным математическим методам.

Метод наших расчетов основан на сравнении наблюдаемой фазовой кривой для предварительно определенного значения орбитального периода  $P$  с теоретической кривой для орбитального движения:

$$V_r = K[e \cos(\omega) + \cos(\theta + \omega)] + \gamma, \quad (1)$$

где  $K$  - полуамплитуда изменения  $V_{r0}$ ,  $e$  - эксцентриситет,  $\omega$  - положение периастра,  $\gamma$  - лучевая скорость центра тяжести системы, а  $\theta$  - истинная аномалия.

Истинная аномалия может быть разложена в ряд по степеням эксцентриситета по известной формуле:

$$\theta = M + 2e \sin M + 1.25e^2 \sin 2M - 4/3e^3 \sin M [1 - 13/4 \cos 2M] + \dots \quad (2)$$

где  $M = 2\pi(\Phi + \Phi_0)$  - средняя аномалия,  $\Phi$  - фаза орбитального движения ( $\Phi \in [0, 1]$ ),  $\Phi_0$  - фазовый сдвиг между теоретической и наблюдаемой кривыми  $V_r$ , определяемый при расчетах. При небольших значениях эксцентриситета бывает достаточно двух-трех первых членов разложения.

Аппроксимация наблюдаемой фазовой кривой теоретической осуществляется путем минимизации суммы квадратов невязок для разных значений орбитальных элементов. При вычислениях каждого орбитального параметра использовался метод последовательных итераций, когда вначале фиксируются значения всех параметров кроме одного, значение которого и определяется на данном этапе. После этого выбирается уже следующий параметр и уточняется его значение. На каждом этапе вычислений фиксированными значениями для остальных параметров становятся те, что были сосчитаны на предыдущих этапах. Процесс повторяется "по кругу" до наступления сходимости, т.е. когда сумма квадратов невязок достигает минимума. Окончательный набор параметров орбиты, полученный при такой процедуре, и будет решением. При малом эксцентриситете и удачном выборе начальных значений определяемых пара-

метров, сходимость наступает достаточно быстро (3-4 цикла итераций).

На следующем этапе производится минимизация суммы невязок уже для разных значений орбитального периода  $P$ , что позволяет его существенно уточнить.

Точность определения всех орбитальных параметров оценивалась путем проведения всех процедур вычислений по отдельности для всех четных и нечетных дат наблюдательного ряда. Для параметров, общих для обоих компонентов системы (период, начальная фаза), дополнительной оценкой точности являются также сравнение значений, полученных отдельно для обоих компонентов.

В начале расчетов мы произвели проверку на возможное существование в системе третьего тела, а также оценили некоторые орбитальные параметры, значения которых были затем использованы при точных расчетах в качестве первого приближения. Для этого была построена зависимость наблюдаемых лучевых скоростей спектральных линий для двух компонентов системы А и В (А - более массивный), при этом использовались такие линии, как SiIII 4553, 4568; MgII 4481; HeI 5876, 6678 и др. Полученная зависимость, показанная на рис.1, носит чисто линейный характер и не показывает

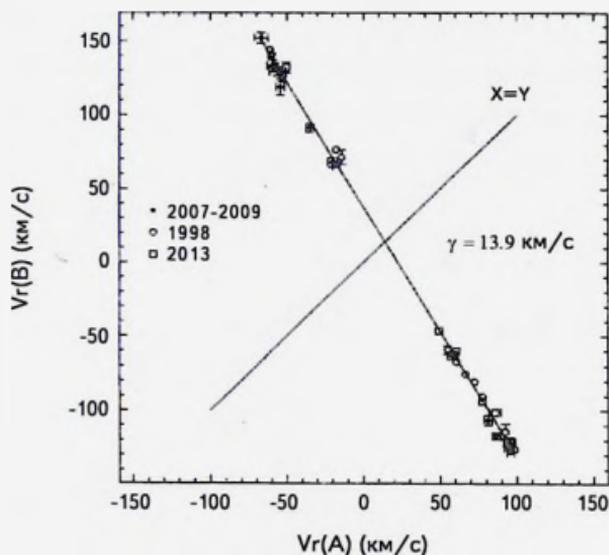


Рис.1. Зависимость амплитуд изменения лучевых скоростей линий в спектрах компонентов системы А и В. На рисунке приведены значения, усредненные для каждой даты по всем линиям с указанием ошибки среднего (см. табл.1). Пересечение полинома 1-й степени, аппроксимирующего зависимость, с биссектрисой прямого угла (линия  $X=Y$ ) соответствует собственной лучевой скорости системы  $\gamma$ .

Таблица 2

## ОЦЕНКИ ОРБИТАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Параметр	Значение
$P$ (сутки)	$2.3650804 \pm 0.0000034$ $(1.7 \pm 0.1) \cdot 10^2$
MJD <sub>0</sub> (сутки)	$54000.8983 \pm 0.0071^*$
$K(B)$ (км/с)	$137.3 \pm 1.5$
$K(A)$ (км/с)	$81.1 \pm 1.4$
$K(A)/K(B)$	$0.591 \pm 0.010$
$\gamma$ (км/с)	$14.5 \pm 0.5$

\* - для момента, когда  $V_r(A) = V_r(B) = \gamma$ , после чего  $V_r(A)$  становится больше  $V_r(B)$ ;

присутствие в системе какого-либо третьего тела. Пересечение этой линии с биссектрисой прямого угла (линия  $X = Y$  на рисунке) позволяет сделать оценку параметра  $\gamma = 13.9 \pm 0.5$  км/с, а по наклону прямой можно определить в первом приближении отношение амплитуд изменения лучевых скоростей компонентов А и В, а значит и отношение их масс  $M_B/M_A = 0.592 \pm 0.010$ .

Окончательные результаты определения параметров орбиты приведены в табл. 2.

Точность определения орбитального периода сильно зависит от длитель-

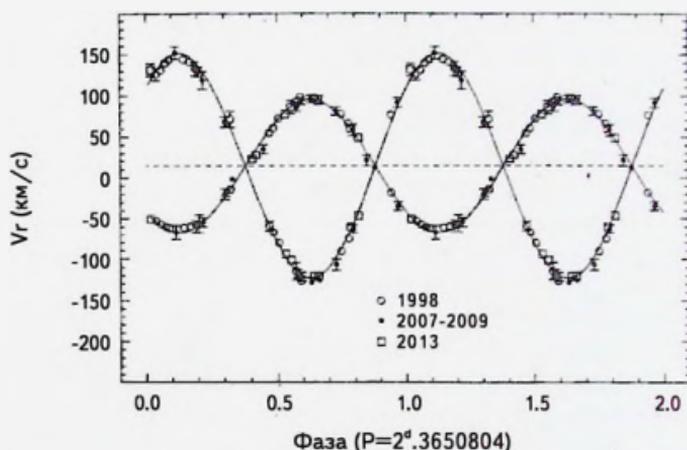


Рис. 2. Лучевые скорости линий обоих компонентов системы А и В на фазовой зависимости, построенной для орбитального периода  $P = 2^d.3650804$  с нулевой фазой на MJD = 54000. Данные аппроксимированы соответствующими орбитальными кривыми. Каждая точка на графике соответствует величинам, усредненным для данной даты по разным линиям, наблюдаемым в эту дату (см. табл. 1). Вертикальные бары обозначают ошибку измерения каждой величины.

ности ряда наблюдений. Так, при использовании только данных, полученных в ESO в 2007-2009 гг., точность определения периода была существенно ниже:  $P = 2.365102 \pm 0.000165$  суток (см. нашу предварительную работу [8]).

Итоговые орбитальные кривые изменения лучевых скоростей обоих компонентов системы показаны на рис.2. Как можно видеть, орбита практически круговая.

Мы сравнили точности определения орбитального периода  $\sigma_p$  и эфемериды  $\sigma_t$  с результатами подобных орбитальных решений, опубликованных в [9,10]. На рис.3 показаны зависимости величины ошибки от величины периода, аппроксимированные полиномами 2-й степени с указанием средне-квадратического отклонения от среднего. Видно, что наши результаты вполне соответствуют точности определения параметров, достигаемой в других работах, где применялись современные математические методы расчетов.

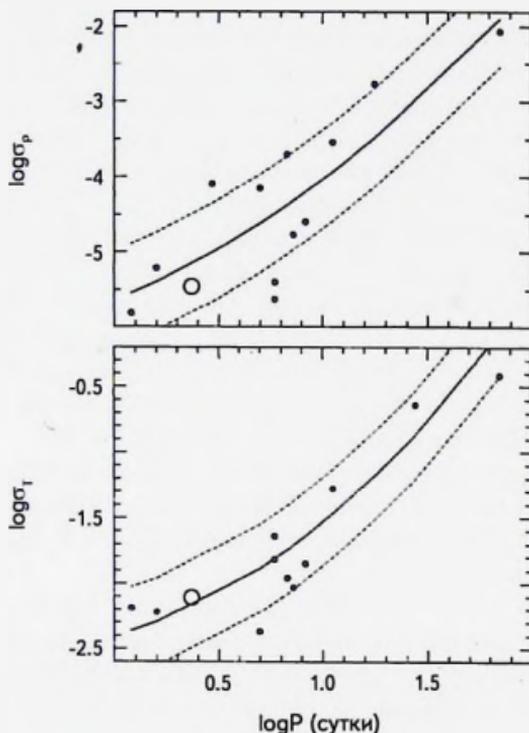


Рис.3. Зависимость ошибок определения орбитального периода  $\sigma_p$  и эфемериды MJD(o)  $\sigma_t$  от величины периода  $P$  по данным работ [9,10] (темные кружки) в сравнении с результатами, полученными в настоящей работе (большой светлый кружок). Зависимости, полученные в других работах, аппроксимированы полиномами 2-й степени (сплошная линия) с указанием среднеквадратического отклонения (штриховые линии).

4. *Определение фундаментальных параметров компонентов системы.* К подобным параметрам компонентов системы относятся: эффективная температура  $T_{\text{eff}}$ , ускорение силы тяжести  $\log g$ , проекционная скорость вращения  $V \sin i$  и скорость микротурбулентности  $U$ .

В настоящее время существует несколько специализированных программ, позволяющих разделять на отдельные компоненты спектры звезд – двойных систем [7, 11]. Мы в данной работе предложили и использовали наш собственный метод разделения спектров, основанный на построении и анализе синтетических спектров компонентов системы в области различных спектральных линий.

В процессе исследования мы столкнулись со сложностью, связанную с тем, что профили линий менее массивного компонента В показывают в отдельные даты крупномасштабные изменения. Встал вопрос о выборе подходящей даты, когда профили этого компонента можно было бы считать невозмущенными. Сравнение профилей линий этого компонента с синтетическими спектрами, построенными для разных наборов параметров звезды показали, что наилучшее соответствие достигается для спектров, полученных в ночь 26.12.2008. Как будет показано ниже, подобные профили линий в спектре компонента В наблюдались во все даты наблюдательного сезона 2007–2009 гг., кроме двух дат 02.01.2008 и 23.12.2008, когда эти профили были сильно искажены. Они и были использованы в нашем исследовании.

Оценка величины  $V \sin i$  была сделана по ширине профилей узких неглубоких линий, которая оказалась практически нечувствительной к остальным параметрам модели, влияющих только на глубину линий. Используя линии MgII 4481.220 и OII 4452.375 во всех спектрах, полученных в 2007–2009 гг. в ESO (кроме дат 02.01.2008 и 23.12.2008), мы получили значения  $V \sin i = 57.4 \pm 1.0$  км/с (А) и  $27.0 \pm 1.4$  км/с (В), которые хорошо соответствуют оценкам, приведенным в [2]:  $64 \pm 2$  км/с (А) и  $24 \pm 2$  (В).

Наша программа разделения спектров основана на предположении о сферичности звезд в этой системе. Наблюдаемый нормированный спектр всей системы состоит из суммы двух спектров для А и В, а интенсивности спектральных линий равны:

$I_{\text{obs}} = (I_{\text{mod}} + a)/(1 + a)$  – для линий компонента А и  $I_{\text{obs}} = (aI_{\text{mod}} - 1)/(1 + a)$  – для линий компонента В, где  $I_{\text{obs}}$  и  $I_{\text{mod}}$  – наблюдаемая и модельная остаточная интенсивность линий обоих компонентов, а параметр  $a = [F_{\lambda}(B) / F_{\lambda}(A)] (R_B / R_A)^2$  – отношение наблюдаемого потока в непрерывном спектре компонентов В и А в области линии на длине волны  $\lambda$ , при этом  $F_{\lambda}$  – это энергетический поток в непрерывном спектре на единицу площади поверхности звезды (берется из стандартных моделей Куруца), а  $R$  – радиус звезды.

По ходу работы было рассчитано более 600 синтетических спектров на основе ЛТР моделей по программе Пискунова SYNTH + ROTATE [12],

содержащих профили 7 линий, не показывающих признаки штарковских крыльев: MgII 4481.220; OII 4452.375, 4590.974, 4596.172; SiIII 4552.616, 4567.823, 4574.759. При моделировании были охвачены следующие диапазоны параметров звезд:

$T_{\text{eff}}$ : от 20000 до 30000 К (А) и 14000-20000 К (В);  $\log g$ : 3.50-4.50;  $V_t$ : 2-10 км/с.

Для каждого модельного профиля вычислялся параметр  $a$  по формулам:  $a = (I_{\text{obs}} - I_{\text{mod}})/(1 - I_{\text{obs}})$  для А и  $a = (1 - I_{\text{obs}})/(I_{\text{obs}} - I_{\text{mod}})$  для В. Все 7 используемых линий имеют близкие значения длины волны, в пределах которых зависимость  $a$  от длины волны оказывается незаметной.

По результатам для всех 7 линий строился график (см. рис.4), для каждой пары  $T_{\text{eff}}$  и  $V_t$ , осями которого были  $\log g$  и  $a$ . Если все 7 линий пересекались в одной точке с точностью по  $a$  не хуже  $\pm 0.02$ , соответствующие значения  $a$  и  $\log g$  считались решением, найденным для данной пары  $T_{\text{eff}}$  и  $V_t$ . На рис.4 показан пример найденного решения для компонента А, при котором для  $T_{\text{eff}} = 26000$  К и  $V_t = 6.0$  км/с были определены величины  $a = 0.26 \pm 0.01$  и  $\log g = 4.38 \pm 0.10$ .

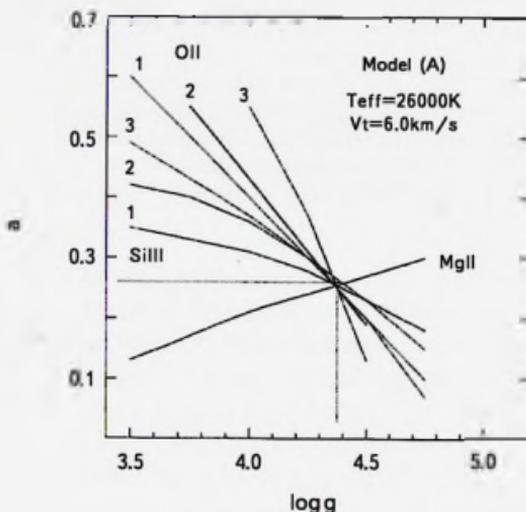


Рис.4. Зависимости параметра  $a$  от параметра  $\log g$  для данной пары параметров  $T_{\text{eff}}$  и  $V_t$  (модель для компонента А) для каждой из 7 выбранных линий (3 линии SiIII, 3 линии OII и линия MgII, см. текст). Каждая точка на зависимости соответствует совпадению центральной интенсивности данной линии в наблюдаемом и синтетическом спектре. Пересечение всех 7 зависимостей в одной точке позволяет найти истинную величину параметра  $a$ .

Примеры модельной аппроксимации профилей триплета SiIII 4552, 4568, 4575, наблюдаемых на разных фазах орбитального движения, показаны на рис.5.

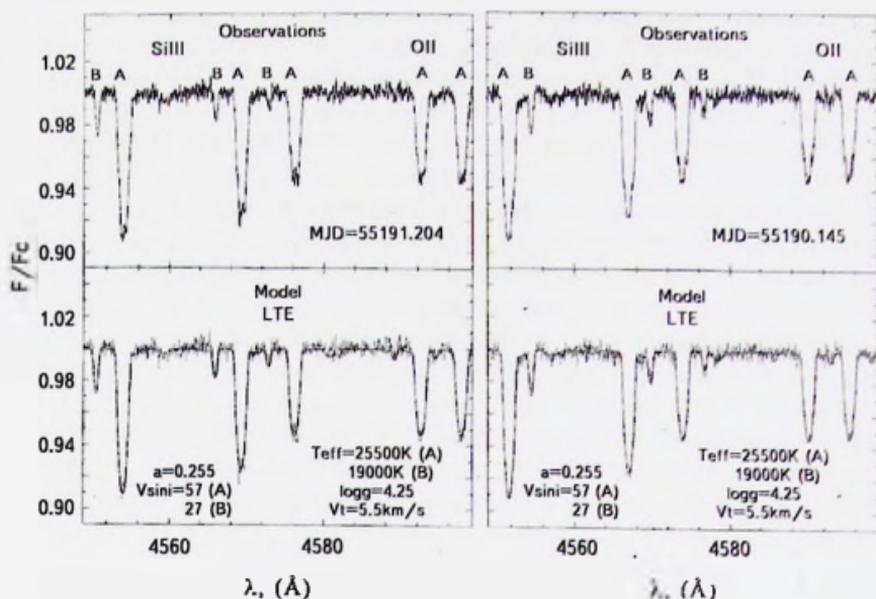


Рис.5. Пример модельной аппроксимации наблюдаемого спектра HD83058 для 2-х дат, соответствующих разным орбитальным фазам. Данный участок спектра включает узкие линии триплета SiIII и 2 линии OII. Верхние панели демонстрируют наблюдаемый спектр, а нижние - его аппроксимацию ЛТР-модельным спектром, параметры которого указаны на рисунке

Оказалось, что наблюдаемые глубокие линии с широкими штарковскими крыльями (линии водородной серии Бальмера и линии гелия) значительно глубже тех же линий на синтетических спектрах, рассчитанных на основе ЛТР моделей. Для модельной аппроксимации мы использовали более современную программу TLUSTY, учитывающую также и не-ЛТР эффекты [13]. На рис.6-8 показаны примеры модельной аппроксимации профилей линий  $H\alpha$ ,  $H\beta$  и нескольких линий гелия, наблюдавшихся в дату MJD = 55191.204.

Более 80 моделей было рассчитано и в результате была достигнута хорошая точность аппроксимации всех наблюдаемых профилей линий. Область значений модельных параметров  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$  и  $V_i$ , при которых была достигнута удовлетворительная аппроксимация наблюдаемых спектров синтетическими, приведена на рис.9.

В результате нашего исследования были получены следующие параметры звезд - компонентов системы (см. табл.3).

Параметр  $a$  (для  $\lambda = 4500 \text{ \AA}$ ) был определен как  $0.255 \pm 0.005$ . Это, в свою очередь, приводит к оценке отношения радиусов компонент:  $R_B/R_A = 0.66 \pm 0.03$ .

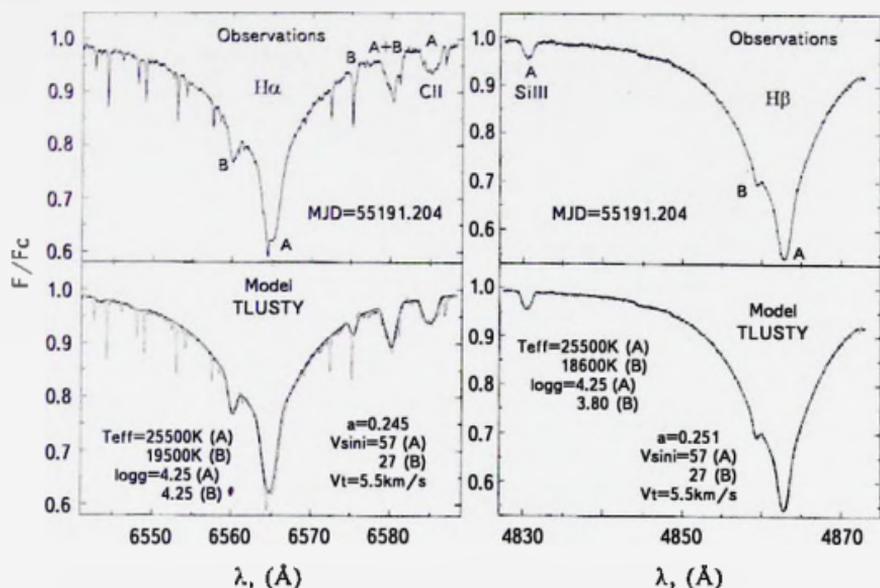


Рис.6. То же, что рис.5, но для наблюдаемого спектра, содержащего линии H $\alpha$  и H $\beta$  с широкими птарковскими крыльями. Модельные спектры рассчитывались с использованием программы TLUSTY, учитывающей не-ЛТР эффекты.

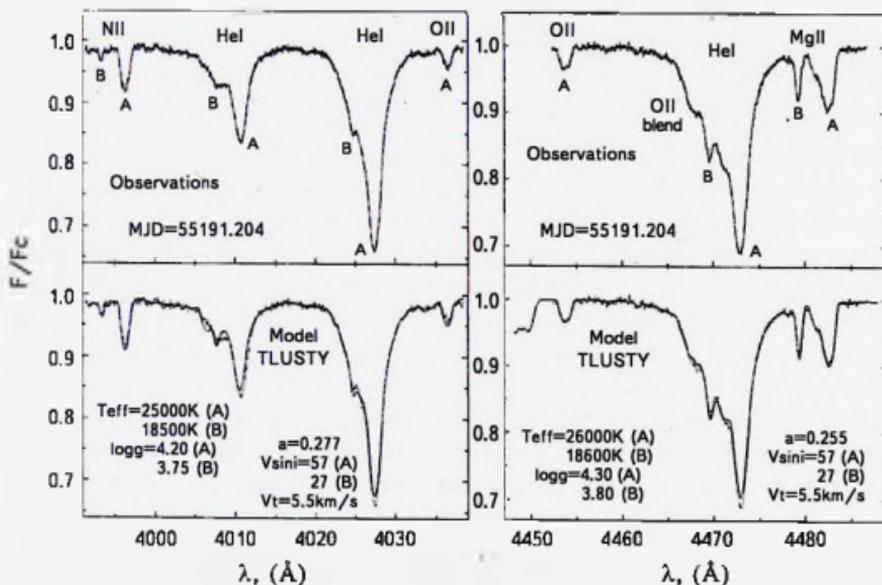


Рис.7. То же, что рис.6, но для области спектра, содержащей голубые линии He I и линию Mg II 4481.

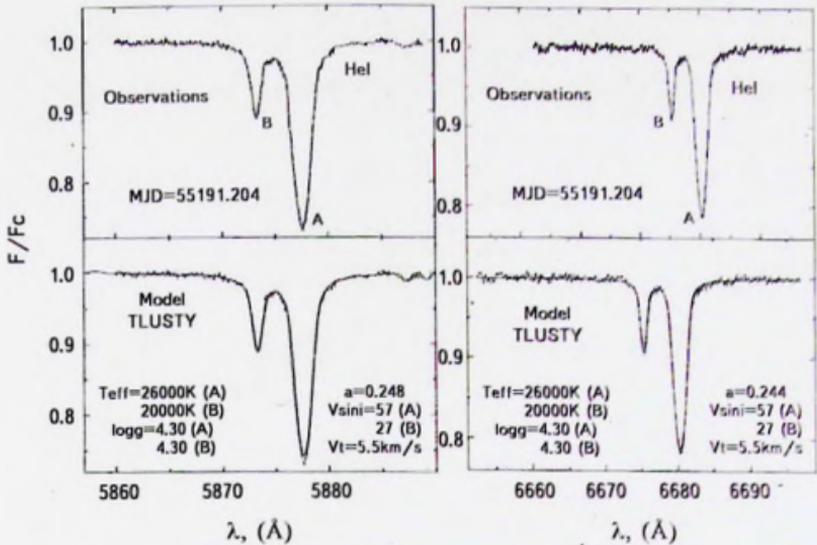


Рис.8. То же, что рис.6, но для области спектра, содержащей линии HeI 5876 и 6678.

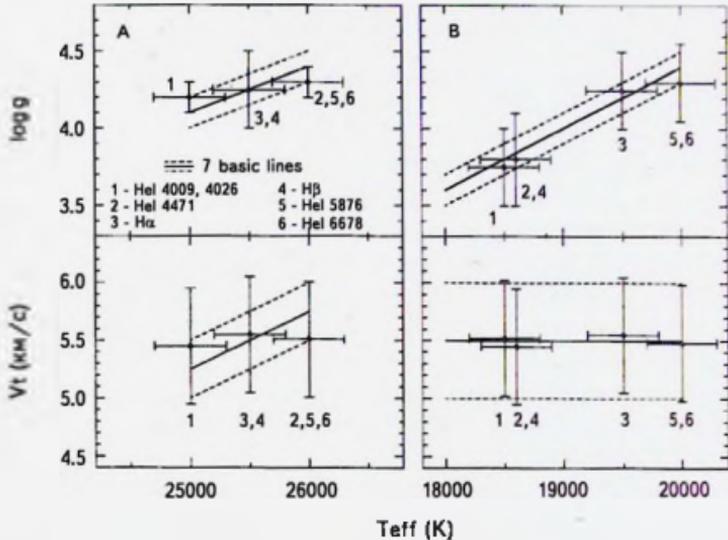


Рис.9. Область значений модельных параметров  $T_{\text{eff}}$ ,  $\log g$  и  $V_t$ , при которых была достигнута удовлетворительная аппроксимация наблюдаемых спектров синтетическими. Пунктирными линиями ограничена область допустимых значений параметров, определенная только по 7 базовым линиям без широких штатовских крыльев. Точки с барями ошибок соответствуют линиям со штатовскими крыльями.

Таблица 3

## ПАРАМЕТРЫ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ HD83058

Параметр	A	B
$T_{orb}$	$25700 \pm 400$ К	$19200 \pm 600$ К
$\log g$	$4.27 \pm 0.05$	$4.03 \pm 0.20$
$V$	$5.5 \pm 0.5$ км/с	$5.5 \pm 0.5$ км/с
$K \sin i$	$57.4 \pm 1.0$ км/с	$27.0 \pm 1.4$ км/с

Из уравнения функции масс:

$$[M_A (M_A + M_B)]^2 M_A (\sin i_{orb})^3 = (K_B^3 P_{orb}) / (2\pi G) \quad (3)$$

вытескает:

$$M_A (\sin i_{orb})^3 = (1.36 \pm 0.014) M_{\odot}.$$

При ожидаемой массе  $M_A$  от 15 до  $20 M_{\odot}$  получается угол наклона орбиты  $i_{orb}$  от  $24^\circ$  до  $27^\circ$ .

Эти оценки позволяют определить скорость орбитального движения компонентов системы:  $V_A =$  от 180 до 190 км/с и  $V_B =$  от 300 до 330 км/с. Учитывая, что ожидаемые радиусы компонентов находятся в пределах:  $R_A = 6 + 7 R_{\odot}$  и  $R_B = 4.0 - 4.6 R_{\odot}$ , можно оценить радиусы орбит компонентов в долях радиусов звезд:  $r_A$  от 1.15 до 1.55  $R_A$  и  $r_B$  от 3.1 до 3.8  $R_B$ . Расстояние между компонентами  $r_A + r_B$  будет от 22.5 до 24.3  $R_{\odot}$ . Используя известную формулу Игглтона для радиусов полостей Роша [14], получаем  $R_{\text{рочбе}}(A) = 1.4 + 1.8 R_A$  и  $R_{\text{рочбе}}(B) = 1.6 + 2.0 R_B$ . То есть, заполнения полостей Роша у HD83058 нет.

**5. Переменность спектральных линий у компонентов системы.** Быстрая переменность профилей линий у основного компонента A наблюдается во все эпохи. Сильнее всего она наблюдается у линий триплета SiIII 4552, 4568, 4575, но заметна также и у других линий, например, у MgII 4481. Пример такой переменности показан на рис.10 для 2-х линий SiIII 4552, 4568, по спектрам, полученным в 2 даты в декабре 2009г. На профилях видны бегущие волны с характерным временем изменений порядка часа. Подобная переменность наблюдается у многих звезд раннего спектрального класса. Она связывается, как правило, с двумя типами процессов: а) нерадиальные пульсации в атмосфере звезды и б) существование на поверхности звезды локальных азимутальных неоднородностей (магнитоактивных пятен?), вращающихся вместе со звездой. В этом случае будет происходить так называемая вращательная модуляция профилей линий. Картина переменности в виде бегущих волн может быть достаточно сложной. Оба процесса могут приводить к очень похожим наблюдаемым эффектам, что затрудняет однозначную интерпретацию

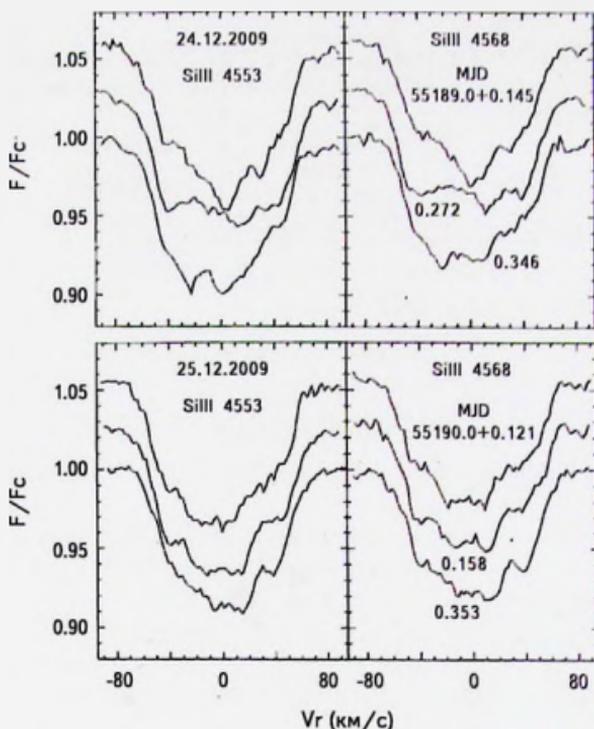


Рис.10. Примеры движущихся локальных деталей на профилях линий триплета SiIII, наблюдающиеся в спектре компонента А, в течение отдельных полей.

подобных явлений. Наблюдательный материал, представленный в настоящей работе, пока недостаточен для квалифицированного анализа переменности этого типа. Для его проведения требуются дополнительные наблюдения HD83058 с высоким спектральным и временным разрешением.

Совершенно другой тип спектральной переменности демонстрировал второй компонент В во разные даты наблюдений. Еще в статье [2] было отмечено, что в отдельные даты линии компонента В меняют свою ширину. Используя тот же наблюдательный материал, но расширив количество исследуемых линий, мы полностью подтвердили этот первоначальный вывод, сделанный в [2]. На рис.11 показано, как по-разному выглядят профили 6 линий в спектре HD83058, полученном в две разные даты наблюдений MJD54467.327 и MJD55191.204. У некоторых линий наблюдается блендирование профиля линии компонента В широким штарковским крылом этой же линии в спектре компонента А. На рисунке видно, что в первую дату профили линий

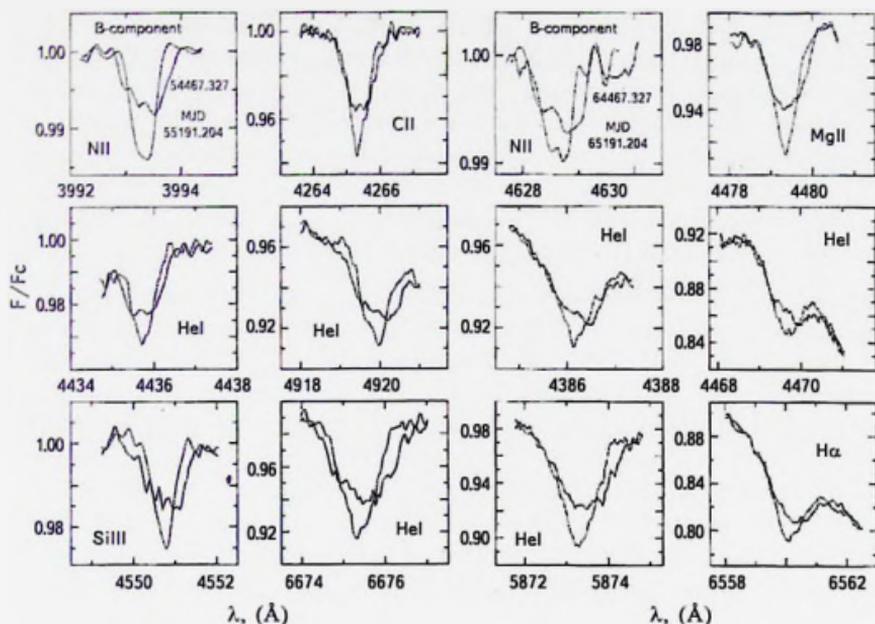


Рис. 11. Изменения профилей спектральных линий компонента В, наблюдающиеся в отдельные даты. Профили, полученные в дату MJD54467.327 проиллюстрированы сплошными линиями, а в дату MJD55191.204 - штриховыми линиями.

выглядели: а) более мелкими, б) более широкими, в) показывали заметное смещение в красную сторону. Они сильно отличались от профилей тех же линий в синтетическом спектре звезды. Но во вторую дату соответствие наблюдаемых и теоретических профилей было хорошее.

Мы попытались исследовать временной масштаб этой переменности. На рис.12 показано изменение профилей 2-х линий HeI 5876 и 6678 от даты к дате в течение 2007-2009гг. (12 дат). Оказалось, что: а) в течение одной ночи переменность практически незаметна, б) от даты к дате она проявляется только как небольшие изменения глубины линии, в) и только в первые 2 даты профили демонстрировали масштабные изменения, описанные выше.

Мы также проверили, наблюдалась ли такая картина переменности в другие эпохи (в 1998 и 2013гг.). Рис.13 (левый) иллюстрирует зависимость ширины профиля линии SiIII 4552, измеренной на уровне непрерывного спектра от ее глубины, построенную для всех трех эпох наблюдений (1998, 2007-2009, 2013гг.). Обращает на себя внимание то, что: а) ширина и глубина линии демонстрируют единую зависимость в разные эпохи на протяжении

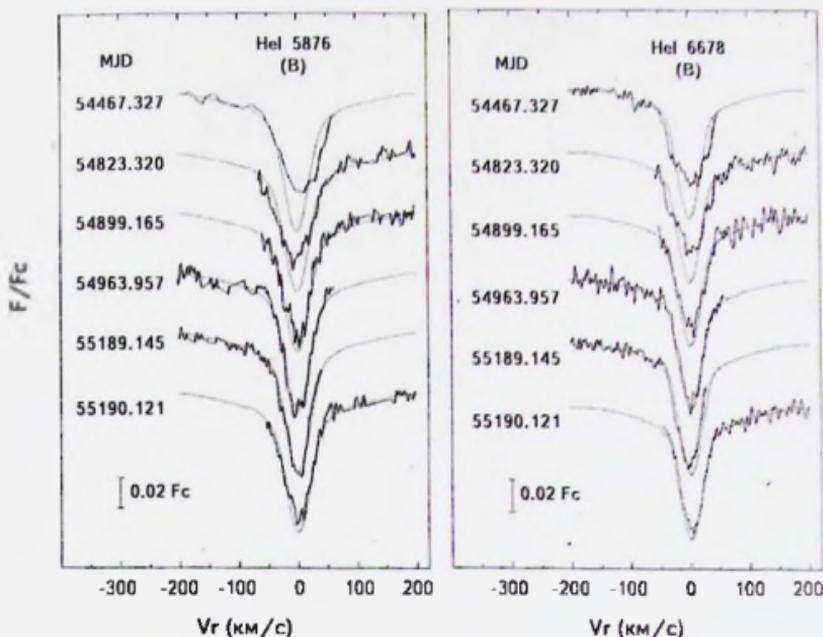


Рис.12. Изменения профилей линий He I 5876 и 6678 от даты к дате в спектре компонента В в сезон наблюдений 2008-2009гг. Тонкой линией показаны модельные профили.

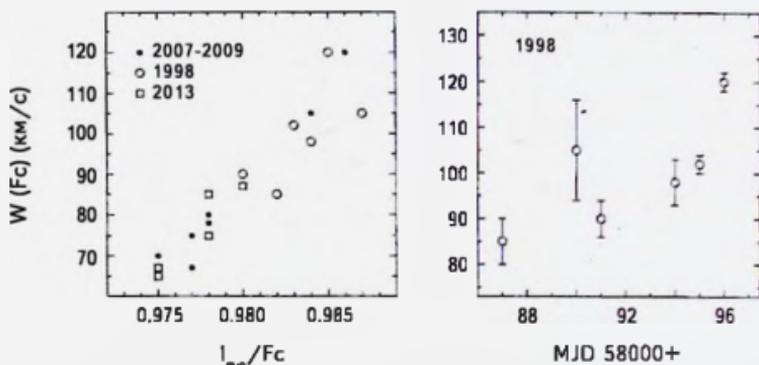


Рис.13. *Левая панель:* Зависимость между шириной профиля линии Si III 4552 в спектре компонента В на уровне непрерывного спектра и его остаточной интенсивностью, наблюдавшаяся в течение всего периода наблюдений с 1998 по 2013гг. *Правая панель:* Изменения ширины профиля линии Si III 4552 в спектре компонента В на уровне непрерывного спектра от даты к дате по данным 2013г.

более 15 лет, б) если в 2007-2009гг. появление широких и при этом метких линий было отмечено только в 2 первые даты (см. рис.12), то в 1998г. они наблюдались во все даты, а в 2013г. практически не были видны вообще.

Чтобы определить характерное время изменений профиля в 1998г., когда искаженный профиль наблюдался во все даты, мы построили рис.13 (правый), иллюстрирующий временные изменения ширины профиля линии SiII 4552 в течение 10 суток. По данным, полученным в данную эпоху, можно сделать вывод, что характерное время изменений должно быть порядка суток.

6. *Обсуждение результатов и заключения.* В результате нашей работы, где был использован итерационный метод, мы определили орбитальные параметры системы HD83058 с точностью  $\sigma_P = \pm 0.0000034$  (для периода  $P$ ), и  $\sigma_T = \pm 0.0071$  для момента MJD(0). Как показало сравнение с подобными результатами других работ, где использовались традиционные математические методы, нами была достигнута не меньшая точность.

Используя метод сравнения наблюдаемых и теоретических профилей, мы разделили спектры обоих компонентов системы А и В и определили их такие параметры, как:  $T_{eff} = 25700 \pm 400$  К (А) и  $19200 \pm 600$  К (В);  $\log g = 4.27 \pm 0.05$  (А) и  $4.03 \pm 0.20$  (В);  $Vt = 5.5 \pm 0.5$  (для обоих компонентов) и  $V \sin i = 57.4 \pm 1.0$  км/с (А) и  $27.0 \pm 1.4$  км/с (В).

При этом мы смогли также вычислить отношение радиусов компонента В и компонента А ( $R_B/R_A = 0.66 \pm 0.03$ ), оценить угол наклона орбиты к лучу зрения (от  $24^\circ$  до  $27^\circ$ ), а также определить ожидаемые размеры орбит компонентов и скорости их орбитального движения. Оценка размеров полостей Ропа показала, что звезды их не заполняют. Были также получены свидетельства, что система не является синхронизованной, хотя этот результат оказался достаточно неожиданным для системы с такими массами компонентов и таким коротким периодом. Для синхронизованной системы периоды вращения каждого из компонентов должны быть равны орбитальному периоду, а углы наклона их осей вращения будут совпадать с осью орбиты. В этом случае должно выполняться соотношение:  $R_B/R_A = V \sin i(B)/V \sin i(A)$ . Но, по нашим расчетам, отношение радиусов компонентов равно  $0.66 \pm 0.03$ , а отношение проекционных скоростей равно  $0.47 \pm 0.03$ . Этот результат противоречит необходимым признакам синхронизации системы. Причиной этого могли быть гравитационные взаимодействия системы с другими звездами из ОВ ассоциации Sco-Cep, где плотность звездного населения должна быть выше обычной. Эти же взаимодействия могли стать причиной спектральной переменности, наблюдающейся у обоих компонентов системы.

Мы подтвердили, что профили некоторых линий (главным образом линий триплета SiIII 4552, 4568, 4575) в спектре более массивного компонента А

демонстрируют быструю переменность, проявляющую себя как движение по профилю локальных спектральных деталей. Это явление может быть как проявлением периодических пульсаций, так и вращательной модуляции профилей магнитоактивными образованиями на поверхности звезды. Оба процесса могут привести к похожей картине переменности, и для их идентификации требуется дополнительный спектральный материал, полученный с высоким временным и спектральным разрешением.

Мы попытались систематизировать изменения, наблюдающиеся в линиях второго компонента В. По результатам анализа могут быть сделаны следующие выводы:

1. В отличие от переменности линий компонента А, у компонента В она наблюдается практически у всех атмосферных линий.

2. Характер переменности - это уменьшение в отдельные даты глубины линии, сопровождающееся увеличением ширины ее профиля. В такие даты профили линий сильно искажены и по форме отличаются от профилей этих же линий на синтетических спектрах, построенных для разных параметров атмосферы. В остальные даты соответствие наблюдаемых и теоретических профилей линий вполне удовлетворительное.

3. В разные эпохи наблюдений эта переменность проявлялась по-разному. В 1998г. почти во все даты линии были аномально широкими и мелкими. В 2007-2009гг. искаженные профили наблюдались только в две даты наблюдений в 2008г. (2 января и 23 декабря). В 2013г. подобные изменения профилей не наблюдались совсем.

4. Во все сезоны наблюдений в течение 15 лет (с 1998 по 2013гг.) зависимость между шириной и глубиной отдельных атмосферных линий сохраняла свой характер.

5. Анализ временного масштаба изменений по данным 1998г. показал, что характерное время может составлять порядка суток. А переход объекта из обычного в активное состояние и наоборот может происходить на временном масштабе от месяцев до лет.

6. Как и для компонента А, для дальнейшего исследования спектральной переменности компонента системы В требуются новые спектроскопические наблюдения высокого спектрального и временного разрешения.

Результаты настоящей работы интересно сравнить с результатами аналогичного исследования двойной системы Alpha Virginis (Слика), содержащей две звезды класса В с характеристиками, близкими к параметрам компонентов системы HD83058, также вращающихся по мало эксцентрическим орбитам с периодом около 4-х дней [15].

Участники работы из ГАО РАН (Погодин, Галазутдинов, Ананьевская)

выражают благодарность Программе Президиума Российской академии наук (РАН) № 28 "Космос: исследование фундаментальных процессов и их взаимосвязей" за поддержку при выполнении этого исследования. Н.А.Драке благодарит фонды РФФИ № 18-02-00554а и № 18-52-06004\_Аз\_а за финансовую поддержку.

Мы также благодарим А.Е.Тарасова (Крымская АО) за полезные замечания при обсуждении работы на стадии ее подготовки.

<sup>1</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН,  
e-mail: mikhailpogodin@mail.ru

<sup>2</sup> Лаборатория наблюдательной астрофизики, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

<sup>3</sup> Observatório Nacional/MCTIC, Rua General José Cristino 77, CEP 20921-400, Rio de Janeiro, Brasil

<sup>4</sup> Instituto de Astronomia, Universidad Católica del Norte, Av. Angamos 0610, Antofagasta, 1270709, Chile

<sup>5</sup> Nordic Optical Telescope, Rambla José Ana Fernández Pérez, E-38711, Breca Baja, Santa Cruz de Tenerife, Spain

<sup>6</sup> Кафедра Астрономии, Санкт-Петербургский государственный университет, Россия

<sup>7</sup> Специальная Астрофизическая Обсерватория РАНЮ пос. Нижний Архыз, Карачаево-Черкесская Республика, 369167, Россия

<sup>8</sup> Astronomy Center, University of Antofagasta, 02899, Av. Universidad de Antofagasta, Chile

## THE UNUSUAL BINARY SYSTEM HD83058 IN THE OB ASSOCIATION SCO-CEN

M.A.POGODIN<sup>1</sup>, N.A.DRAKE<sup>2,3</sup>, E.G.LILINSKI<sup>1,3</sup>, K.V.PEREIRA<sup>3</sup>,  
G.A.GALAZUTDINOV<sup>1,4,7</sup>, A.HERRERA<sup>8</sup>, J.TELTING<sup>5</sup>,  
A.F.KHOLTYGIN<sup>6</sup>, Yu.KANANJEVSKAJA<sup>1</sup>

We present results of high-resolution spectroscopy of the binary system HD83058 situated in the region of the Sco-Cen OB association. The observations were carried out in observatories ESO and Sierra Armazones (Chile) during three observing sets in March 1998, during 2007-2009, and in May 2013. 41 spectra have been obtained. On the base of radial velocity-curve solution we have determined the elements of the orbit and derived the period  $P = 2.3650804 \pm 0.0000034$  days. Using stellar atmosphere models we have disentangled the spectra

of the two components of the system and derived the following parameters:  $T_{\text{eff}} = 25700 \pm 400$  K,  $\log g = 4.27 \pm 0.05$  and  $T_{\text{eff}} = 19200 \pm 600$  K,  $\log g = 4.03 \pm 0.20$  for primary (A) and secondary (B) components respectively. We have confirmed the presents of local moving features in the SiIII line profiles seen in the spectrum of the A component, which can be connected with either pulsation activity of the star or the rotation of spot-like inhomogeneities on the stellar surface. We have also found that the lines in the spectrum of the B component show another type of variability, where the depth and the width of the profile of practically all atmospheric lines in certain dates are changed in counterphase. This double system is likely non-synchronized. We assume that the desynchronization can be the result of an interaction of the system with a third body because it located in a place of the OB association with star volume density higher than usual.

Keywords: *binary systems: orbital elements: disentangling spectra of components: spectral variability: HD83058*

## ЛИТЕРАТУРА

1. R.Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne, P.T. de Zeeuw, *Astron. Astrophys.*, **365**, 49, 2001.
2. E.Jilinski, V.G.Ortega, N.A.Drake et al., *Astrophys. J.*, **721**, 469, 2010.
3. L.O.Loden, A.Sundman, *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **112**, 9, 1995.
4. J.H.Telting, C.Schrijvers, I.V.Ilyin et al., *Astron. Astrophys.*, **450**, 1149, 2006.
5. P.Hadrava, *Contr. Astron. Obs. Skalnatc Pleso*, **20**, 23, 1990.
6. P.Hadrava, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **114**, 323, 1995.
7. P.Hadrava, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **122**, 581, 1997.
8. M.A.Pogodin, N.A.Drake, E.G.Jilinski et al., *Proc. Symp. IAU*, **302**, 315, 2014.
9. F.Carrier, P.North, S.Udry et al., *Astron. Astrophys.*, **394**, 151, 2002.
10. K.Yakut, A.E.Tarasov, C.Ibanoglu, *Astron. Astrophys.*, **405**, 1087, 2003.
11. C.P.Folsom, O.Kochukhov, G.A.Wade et al., *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **407**, 2383, 2010.
12. N.Piskunov, in: "Stellar Magnetism", eds. Yu.V.Glagolevskij & I.I.Romanyuk. "Nauka", St. Petersburg, p.92.
13. I.Hubeny, T.Lanz, NASA/GSPC, Code 681, "TLUSTY - A USERS GUIDE", 1997.
14. P.P.Eggleton, *Astrophys. J.*, **268**, 368, 1983.
15. D.Harrington, G.Koenigsberger, E.Olguin et al., *Astron. Astrophys.*, **590**, A54, 2016.