

УДК 524.38-327:520.84

ЗВЕЗДЫ С РАЗЛИЧАЮЩИМИСЯ ВЕЛИЧИНАМИ $v \sin i$, ОПРЕДЕЛЕННЫМИ ПО ЛИНИЯМ Ca II 3933 И Mg II 4481 Å. VII. HD 9531 (SB), HD 31592 (SB2), HD 129174 (SB?)

© 2018 Ю. Зверко^{1,2*}, И. Илиев³, И. И. Романюк⁴,
И. Статева³, Д. О. Кудрявцев⁴, Е. А. Семенко⁴

¹Институт теоретической физики и астрофизики, Татранска Ломница, 05960 Словакия

²Масариков университет, Брно, 60177 Чешская Республика

³Институт астрономии, НАО Рожен, София, 1784 Болгария

⁴Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 4 апреля 2018 года; принята в печать 14 мая 2018 года

В данной работе серии мы анализируем три объекта из списка звезд с различающимися значениями $v \sin i$: HD 9531 и HD 31592, которые демонстрируют переменность лучевых скоростей, характерную для спектральной двойственности, а также HD 129174, которая является звездой класса пекулярности Мп с возможными магнитным полем. Мы подтверждаем переменность лучевой скорости, полученной для HD 9531 по водородным линиям, а также по линии Ca II на 3933 Å. Профиль линии кальция также переменный, что, учитывая оцененное магнитное поле $B_e = -630 \pm 1340$ Гс, свидетельствует в пользу того, что кальций неравномерно распределен по поверхности звезды. Мы отождествили линии вторичного компонента в спектре HD 31592, показывая таким образом, что она является двойной звездой типа SB2 с компонентами классов В9.5V и A0V. Главный компонент вращается со скоростью $v \sin i = 50$ км с⁻¹, а вторичный — быстрее: $v \sin i = 170$ км с⁻¹. Только 60% линий Мп, идентифицированных в спектре HD 129174, удастся промоделировать единственным значением содержания; остальные линии или сильнее, или слабее модели. Мы также обнаружили две линии Хе II на 5339.33 Å и 5419.15 Å и оценили их $\log gf$.

Ключевые слова: *звезды: двойные — звезды: вращение — звезды: индивидуальные: HD 9531, HD 31592, HD 129174*

1. ВВЕДЕНИЕ

В данной серии работ мы исследуем спектры звезд, проекции скоростей вращения которых отличаются в зависимости от того, какие спектральные линии использовались для определения. Мы сравнили каталог Палмера и др. [1], основанный на линии ионизованного кальция на 3933 Å, и каталог Вольфа и Престона [2] с данными по линии ионизованного магния на 4481 Å. В предыдущих шести работах мы разобрали 17 из 24 звезд выборки. Семь из девяти звезд с $v \sin i$ (Ca II) $\ll v \sin i$ (Mg II) [3] имеют малые значения проекции скоростей вращения вследствие наличия узкой межзвездной компоненты; одна из двух оставшихся звезд (HD 44783) оказалась Ве-звездой, другая (HD 25152) окружена околосредним веществом. Из восьми оставшихся объектов

HD 8837 является звездой с оболочкой, остальные семь — двойные [4–8].

В настоящей работе мы анализируем три звезды с возможными признаками вторичных компонентов в спектрах.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

ПЗС-спектры с высоким отношением S/N получены в Болгарской национальной астрономической обсерватории Рожен (НАО) и в Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО), также один спектр был извлечен из публичного архива ELODIE [9]. Спектры НАО были получены с помощью ПЗС камеры Photometrics AT200 1024 × 1024 на третьей оптической камере куде-спектрографа установленного на 2-м телескопе системы Ричи-Кретьена с разрешением $R = 22\,000$. Область Ca II находится в диапазоне от 3898 до 3967 Å, а область Mg II — от

*E-mail: zve@ta3.sk

4447 до 4550 Å. Для обработки спектров использовались стандартные процедуры IRAF¹. Спектры САО были получены на 6-метровом телескопе БТА с помощью эшелле-спектрометра фокуса Нэсмита (НЭС), оборудованного ПЗС камерой 2048 × 2048 [10], с разрешением $R = 43\,000$ в спектральной области 4200–6700 Å. Обработка осуществлялась в пакете программ REDUCE [11].

Кроме того, мы анализировали фотографические спектры, полученные на куде-спектрографе 2-м телескопа Астрономического института Академии наук Чешской Республики в городе Ондржеев. Спектральный диапазон составлял 3650–4900 Å, снимки регистрировались на фотоэмульсии Kodak ПаО или ПаОб, величина обратной линейной дисперсии была равна 8.5 Å мм^{-1} . Фотографические спектры были оцифрованы в Астрономическом институте Академии наук Словакии в Татранской Ломнице с помощью микроденситометра и обработаны кодом SPEFO (Шкода [12]), который позволяет построить дисперсионную и калибровочную кривые, приведение к шкале интенсивностей и нормализацию континуума. Определение лучевой скорости было произведено методом кросс-корреляции (CCF) [13]. Исправление спектров было проведено таким образом, что точки максимальной интенсивности между взаимно пересекающимися крыльям бальмеровских линий выбирались к качеству точек континуума. Тот же метод исправления был применен к синтетическим спектрам. Такая процедура позволяет избежать отклонений, вызванных прогрессирующим затуханием интенсивности спектра в направлении увеличения номера линий бальмеровской серии, к которому метод CCF чувствителен. После применения этой процедуры значение лучевой скорости, полученное кросс-корреляцией синтетических и фотографических спектрограмм, соответствует системе бальмеровских линий как доминантной черты спектра.

Код SYNSPEC [14, 15] использовался для расчета синтетических спектров и детальных профилей линий, а также для определения содержания химических элементов путем сравнения с наблюдаемыми линиями. ЛТР-модели атмосфер были получены путем интерполяции сетки моделей Каstellли и Куруца [16]. В дополнение к “*списку линий gf0800*”, используемому в коде SYNSPEC, для получения данных по атомным линиям мы использовали базы VALD [17–20] и NIST [21], а также

¹IRAF распространяется Национальной обсерваторией оптической астрономии (NOAO), под управлением Ассоциации университетов для исследований в астрономии (AURA), в рамках совместного соглашения с Национальным научным фондом (NSF).

работу Вейса и Фюра [22]. Значения эффективных температур и поверхностных тяготений были получены с помощью кодов UVBYBETA Муна и Дворецки [23] и TEFFLOGG Смолли и Дворецки [24] по данным *wbyβ*-фотометрии, взятыми из базы данных SIMBAD. Поправки содержаний, где они указаны, относятся к солнечным [25].

Суммарные спектры двойной были смоделированы путем совмещения спектров индивидуальных компонентов с помощью кода SUMSPEC, предоставленного Р. Комжиком [26].

3. АНАЛИЗ

3.1. HD 9531

HD 9531 (HR 446, HIP 321, KKAud, B9IV, $V = 5.91$). Хоффлайт и Варрен [27] классифицируют объект как CP-звезду класса α^2 CVn с аномалиями Si, обладающей переменностью с коротким периодом в 0.6684 дня и амплитудой 0.012 величины в полосе V, а также отмечают долговременную вариацию периода. Палмер и др. [1] оценили $v \sin i = 215 \text{ км с}^{-1}$ по линии Ca II на 3933 Å, а Вольфф и Престон [2], которые использовали линию Mg II на 4481 Å, получили $\sin i = 175 \text{ км с}^{-1}$. Ройер и др. [28] приводят значение $v \sin i = 176 \text{ км с}^{-1}$.

Значения лучевой скорости, приведенные в литературе, меняются от -20 до $+10 \text{ км с}^{-1}$. Хоффлайт и Варрен [27] приводят $RV = -4 \text{ км с}^{-1}$. Абт [29] приводит пять значений от -20 до 8.9 км с^{-1} , наблюдаемых между 1918 и 1921 годами. Вольфф [30] измерил семь значений между -4.6 и $+13.4 \text{ км с}^{-1}$ и отметил, что это SB звезда. Хрик [31] получил значения от -9.8 до $+7.8 \text{ км с}^{-1}$ путем измерения водородных линий в 21 спектре и утверждает, что лучевая скорость постоянна; однако, линии Sc I, Si II, Sr II, S II и Pb I могут отражать период близкий к 0.17 , найденный ранее Хильдебрандом [32].

В настоящей работе мы используем спектр, полученный на ОЗСП БТА, охватывающий область Mg II 4481 Å, спектры HAO, покрывающие область Ca II 3933 Å, а также один спектр ELODIE в диапазоне длины волн от 4200 Å до H α . Набор фотографических спектров был получен на 2-м телескопах обсерваторий Ондржеев и Рожен, три из них, полученные в обсерватории Ондржеев, были оцифрованы нами. Спектры, использованные в настоящей работе, приведены в Таблице 1.

Значения эффективной температуры, приведенные в литературе, варьируются в широком интервале от $T_{\text{эф}} = 10\,400 \text{ К}$ [33] до $T_{\text{эф}} = 14\,000 \text{ К}$ [31].

Таблица 1. Список спектров и измеренные лучевые скорости HD 9531

Спектр	HJD 2400000+	S/N	Область	RV , км с ⁻¹	Спектр	HJD 2400000+	S/N	Область	RV , км с ⁻¹
Ondřejov	42332.5174	42	H10–H β	+5.3 \pm 4.5	NAO	56586.4050	96	3933 Å	-0.5 \pm 4.1
	44159.4342	34	H11–H β	-6.2 \pm 4.6		56587.4283	85	3933 Å	-1.1 \pm 3.2
	44819.5338	45	H11–H β	-11.3 \pm 4.8		56588.4166	70	3933 Å	-3.4 \pm 3.3
ELODIE	53320.5132	243	4200–H α	+2.8 \pm 2.2		56613.3577	89	3933 Å	-4.2 \pm 3.7
MSS	55075.4071	772	4481 Å	+4.0 \pm 2.8		56640.2675	137	3933 Å	-2.1 \pm 3.7
NAO	56527.5612	70	3933 Å	-8.4 \pm 3.6		56641.2326	116	3933 Å	-8.9 \pm 3.9
	56528.5570	80	3933 Å	-8.4 \pm 3.9		56642.2309	97	3933 Å	-13.7 \pm 4.2

Значения поверхностного тяготения лежат в узком интервале, а именно от $\log g = 4.0$ [31] до $\log g = 4.19$ [34].

Мы использовали индексы $wby\beta$ из базы данных SIMBAD и получили $T_{\text{eff}} = 12040$ К и $\log g = 4.06$.

Синтетический спектр, построенный для модели атмосферы с $T_{\text{eff}} = 12040$ К и $\log g = 4.06$, нулевой микротурбулентностью и $v \sin i = 165$ км с⁻¹, хорошо описывает линии Mg II на 4481 Å, He I на 4471 Å и Ca II на 3933 Å. При расчете спектра содержание магния было увеличено в 2.5 раза, а гелия — уменьшено в 0.9 раз.

В фотографических спектрах и спектре, взятом из архива ELODIE, доминируют бальмеровские линии, в то время как линии металлов размыты вследствие высокой скорости вращения; таким образом, лучевые скорости, полученные методом CCF, относятся к бальмеровским линиям.

В спектре ОЗСП с высоким отношением S/N присутствуют линии He I 4471 Å и Mg II 4481 Å, а также до 20 слабых линий с глубиной менее 0.02, которые могут быть использованы для определения лучевой скорости. Спектры в области линии Mg II на 4481 Å показаны на Рис. 1.

В области линии Ca II 3933 Å отсутствуют различимые спектральные линии. Сама линия имеет относительную интенсивность примерно 0.06, а ее профиль искривлен на четырех из девяти спектров. Таким образом, использование метода CCF для оценки лучевой скорости не приведет к однозначному результату. Более того, низкая чувствительность ПЗС-матрицы в УФ области делает ниже отношение S/N , что проиллюстрировано на Рис. 2.

В пяти из девяти спектров наблюдаемые профили линий соответствуют синтетическим. Профили третьего, восьмого и девятого спектров на Рис. 2,

если считать сверху, искажены в левой части, а четвертого — в правой. Поэтому мы аппроксимируем каждый профиль графически, используя его неискаженную часть для определения лучевой скорости. После чего узкая деталь около центра Ca II в каждом спектре приводилась к одной длине волны. Мы обнаружили, что в спектре HD 9531, полученном на ELODIE, присутствуют линии межзвездного натрия D1 и D2, таким образом, особенность в линии кальция также имеет межзвездную природу и может быть взята в качестве репера для измерения лучевой скорости по линии звезды. Лучевая скорость, измеренная по межзвездной линии, составила +0.55 км с⁻¹.

Сравнение значений 3σ -интервала с величиной искажений показывает, что последние могут представлять собой реальные изменения. Наблюдается фотометрическая переменность с периодом 0.6684 дня, согласно Хильдебрандту [32]. Отметим, однако, что искажения не совпадают с фазами периода.

Искажения в профиле звездной линии Ca II 3933 Å могут указывать на связь с фотометрической переменностью, открытой Хильдебрандтом [32], и возникающей вследствие наличия магнитного поля, которое является причиной неравномерности в распределении химических элементов по поверхности звезды. Панов и Шонайх [35] исследовали HD 9531 как магнитную звезду, а мы оценили величину продольного магнитного поля $B_e = -630 \pm 1340$ Г. Пятна повышенного содержания химических элементов проявляют себя в виде узких депрессий, гуляющих по профилю линии. В случае, показанном на Рис. 2, однако, эта гуляющая деталь больше похожа на небольшую эмиссию, которая может быть вызвана относительно большим поверхностным пятном с экстремально низким содержанием единой дозы ионизованного кальция.

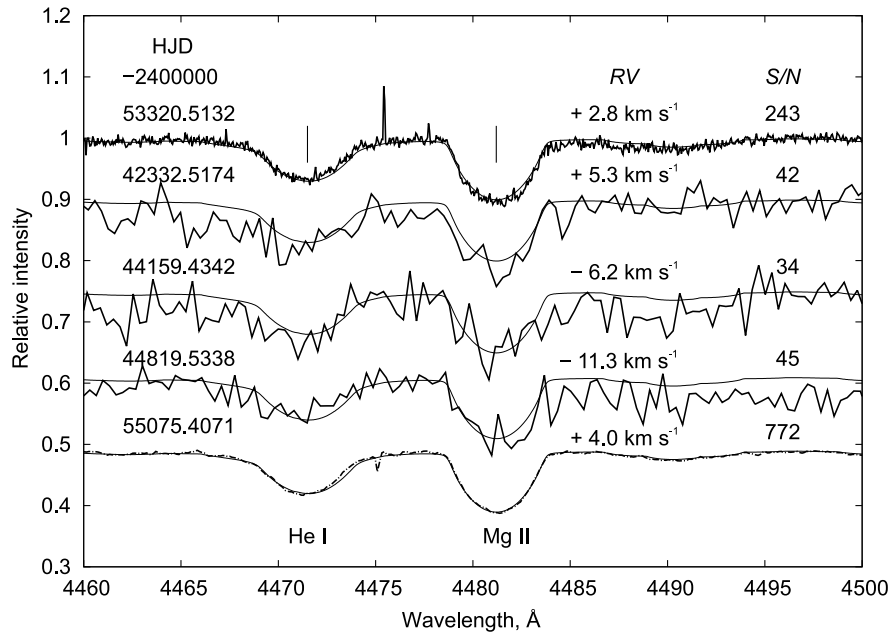


Рис. 1. Область вокруг линии Mg II в спектре HD 9531. Спектры сверху вниз: ELODIE, три фотографических и ОЗСП. На наблюдаемые спектры наложен синтетический (тонкая сплошная линия). Каждый наблюдаемый спектр имеет обозначения, слева направо: HJD, лучевая скорость и S/N , а также сдвинут по шкале длин волн на величину наблюдаемой лучевой скорости.

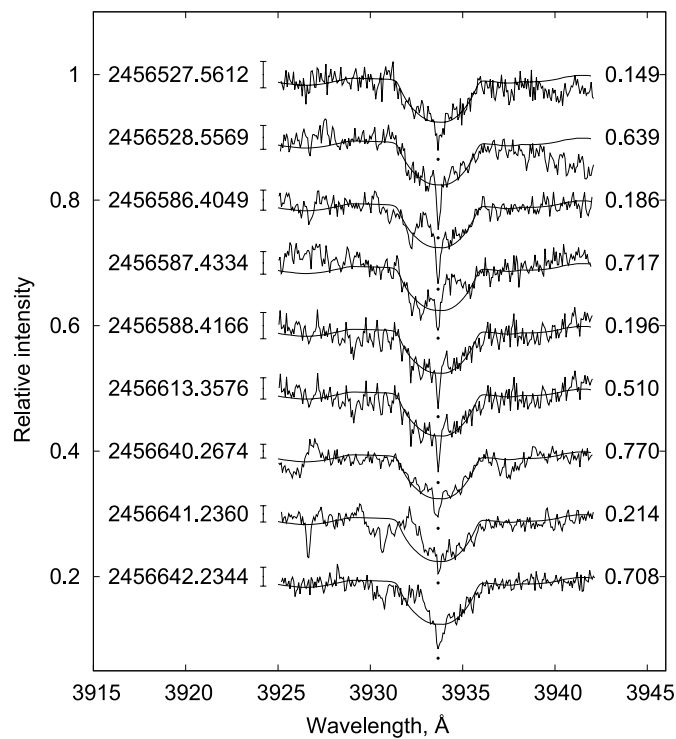


Рис. 2. Область вокруг линии Ca II в спектре HD 9531. На каждом спектре слева отмечены HJD, справа приведены фазы, соответствующие периоду в 0.6684 дня согласно эфемериде [32]. Усы погрешности показывают уровень 3σ соответствующий отношению S/N в континууме вокруг линии Ca II. Точки показывают положения межзвездной компоненты.

Мы делаем заключение, что значения приведенные в Таблице 1 указывают на вероятную переменность лучевой скорости HD 9531. Это становится очевидным при рассмотрении линий водорода в длинных спектрах, несмотря на то, что ошибки фотографических спектрограмм относительно высоки. В случае с ультрафиолетовыми спектрами НАО, где ошибки в два раза меньше, чем у фотографических спектров, возможная переменность лучевой скорости подтверждается нашими оценками по неискаженным профилям линии Ca II на 3933 Å, в которых присутствует межзвездная компонента, имеющая постоянную лучевую скорость. Переменная лучевая скорость указывает на то, что звезда принадлежит спектрально двойной системе. Однако, мы не нашли следов вторичного компонента даже в спектре ОЗСП с высоким отношением $S/N = 772$ ($3\sigma \approx 0.004$), что соответствует отношению интенсивностей компонентов примерно 260 и разности блеска около 6 величин. Это указывает, что невидимый второй компонент может быть звездой главной последовательности позднего класса G.

Периодическая фотометрическая переменность, а также наличие магнитного поля у HD 9531 также согласуются с моделью, в которой переменность профилей металлических линий объясняется существованием пятен с повышенным или пониженным содержанием химических элементов. Авторам не удалось найти доступных наблюдений временных рядов с высоким отношением S/N , охватывающих синюю область спектра с металлическими линиями, которые бы подходили для проведения исследования, направленного на подтверждение заключений Хрика [31]. Неискаженный профиль линии Ca II 3933 Å моделируется нормальным содержанием кальция, поэтому отклонения четырех профилей линий, видимые на наших спектрах НАО, указывают скорее на пятно с пониженным содержанием ионизованного кальция. Следует отметить, что сильная вертикальная стратификация кальция, вызванная радиативной диффузией, ранее наблюдалась только в холодных CP звездах [36, 37]. В присутствии магнитного поля этот процесс может привести к появлению пятен химических элементов. Эффективная температура HD 9531, полученная в настоящей работе, однако, выше, $T_{\text{eff}} = 12\,040$ К, хоть и значительно ниже значения $T_{\text{eff}} = 10\,406$ К, приведенного Макдональдом и др. [33].

Разница между двумя значениями $v \sin i$, полученными по двум разным линиям, Ca II 3933 Å и Mg II 4481 Å, вызвана слабой интенсивностью самих линий. А именно, линия магния, имеющая

глубину примерно 0.1 с отношением S/N фотометрической эмульсии приблизительно 35–45, относительно хорошо различима, а линия кальция на наших фотографических спектрах имеет глубину только около 0.05–0.07, поэтому плохо оценивается не только ширина линии, даже обнаружить ее в спектре довольно сложно. Таким образом, разница в 40 км с^{-1} между этими двумя значениями очевидна.

3.2. HD 31592

HD 31592 (k Tau, HR 1590, HIP 23088, ADS 3547 CCDM J04581+2503A, A0V, $V=5.79$) является звездой в двойной системе. Палмер и др. [1] получили оценку $v \sin i = 170 \text{ км с}^{-1}$ по линии Ca II на 3933 Å, а Вольфф и Престон [2], которые использовали линию Mg II на 4481 Å, приводят $v \sin i = 50 \text{ км с}^{-1}$. Доммангет и Нис [38] сообщают о наличии трех визуальных компонент, где компонента В (зв. вел. 13.3) и С (зв. вел. 9.9) удалены от компоненты А на 41.8 и 94.6 угловых секунд соответственно. Шмидтке и др. [39] обнаружили методом лунного покрытия, что компонент А сам является двойной, с компонентой на 0.22 величины слабее. Хоффлайт и Варрен [27] отмечают, что звезда является спектрально двойной.

Имеющиеся у нас спектры перечислены в Таблице 2.

В литературе может быть найдена альтернативная спектральная классификация звезды. Абт и Моррелл [40] приводят Am/B9.5/A0/A1. Хоффлайт и Варрен [27] определяют звезду как A0V, а Шмидтке и др. [39] — B9V.

Для определения эффективной температуры и поверхностного тяготения мы использовали индексы $wby\beta$, приведенные Кроуфордом и др. [41], и получили $T_{\text{eff}} = 10\,120$ К и $\log g = 4.46$. Существенно более низкая эффективная температура, $T_{\text{eff}} = 9132$ К, была получена Макдональдом и др. [33], которые использовали метод моделей атмосфер для построения спектрального распределения энергии звезды. Хайнтце [42] приводит шкалу температур, полученную по индексам ($U - B$). Используя два набора индексов UBV , приведенных в базе SIMBAD, и следуя трем формулам из вышеупомянутой работы (25a-c), мы вычислили $T_{\text{eff}} = 10\,072$ до $10\,290$ К при $(U - B) = -0.04$ и $T_{\text{eff}} = 9885$ до $10\,109$ К при $(U - B) = -0.01$. Мы использовали модель атмосферы, полученную с помощью индексов $wby\beta$, и приближенную к средним значениям, полученным по индексу ($U - B$). Для наилучшего соответствия синтетического и наблюдаемого спектров содержания гелия и магния были уменьшены в 0.1 и 0.15 раз, а содержания

Таблица 2. Список спектров и измеренные лучевые скорости HD 31592

Спектр	HJD 2400000+	S/N	Область	RV главная, км с ⁻¹	RV вторичная, км с ⁻¹
MSS	55075.5803	>500	Mg II 4481 Å	44.5 ± 0.4	0 ± 4
NAO	56588.4457	102	Ca II 3933 Å	24.5 ± 2.2	-0.7 ± 4.6
	56613.4136	86		16.7 ± 1.3	25.6 ± 3.7
	56614.4771	108		13.2 ± 1.6	34 ± 4.6
	56640.4471	135		-5.1 ± 2.3	29 ::
	56641.4409	133		-8.0 ± 2.7	42 ::

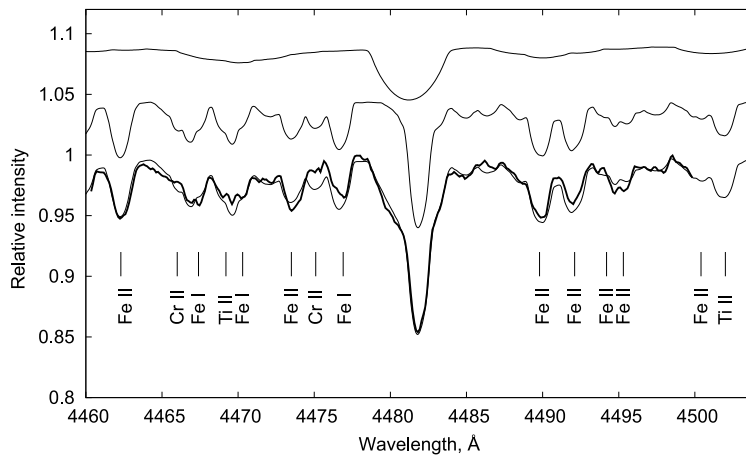


Рис. 3. Область вокруг линии Mg II в спектре HD 31592. Сверху вниз: синтетический спектр вторичного и первичного компонентов. Первичный и вторичный спектры сдвинуты по лучевой скорости на 44.5 км с^{-1} и 0 км с^{-1} соответственно. Суммарный спектр (внизу) наложен поверх наблюдаемого. Спектры сдвинуты по вертикали для наглядности.

кальция и железа были увеличены в 15 раз. Чтобы промоделировать линию кальция на 3933 Å , понадобилось уменьшить его содержание в звезде в 0.01 раз.

Исходя из спектральной классификации МК [43], эффективная температура, полученная в настоящей работе, соответствует спектральному классу V9.5. Разница в спектральном классе второго компонента, который слабее на 0.22 величины, соответствует половине подтипа, следовательно, его спектр может быть определен как A0. Модель с $T_{\text{eff}} = 9720 \text{ К}$ и $\log g = 4.45$ была использована для расчета спектров вторичного компонента. Наилучшее соответствие синтетического и наблюдаемого спектров вторичного компонента достигается при пониженном в 0.5 раз содержании кальция.

На Рис. 3 и 4 продемонстрирована часть спектра с ОЗСП. Асимметрично уширенные линии, как и широкая депрессия между 4465 Å и 4475 Å , хорошо описываются после наложения двух спектров. Синтетические спектры главного и вторично-

го компонентов показаны сверху вниз, в положениях $+44.5 \text{ км с}^{-1}$ и 0 км с^{-1} соответственно. Мы использовали значения $v \sin i = 55 \text{ км с}^{-1}$ для главного компонента и $v \sin i = 170 \text{ км с}^{-1}$ — для вторичного. Третий профиль представляет собой наложение наблюдаемого и синтетического спектров, сложенные в соотношении $I_{\text{prim}}/I_{\text{sec}} = 0.551/0.449$ для компенсации разности блеска. Результат хорошо согласуется с наблюдаемым спектром.

Часть спектра вокруг линии Ca II показана на Рис. 5. Пять наблюдаемых спектров, суммированные по соотношению интенсивностей и выровненные по индивидуальным значениям лучевой скорости, наложены на суммарный синтетический спектр и представлены на нижнем профиле. Синтетические спектры главного и вторичного компонентов в шкале лабораторных длин волн представлены сверху. Согласие между наблюдаемыми и сложенными синтетическими спектрами в целом удовлетворительно, за исключением области на длине волны 3930 Å . На этой длине волны образуется линия Fe I, поэтому мы рассчитали спектр главного

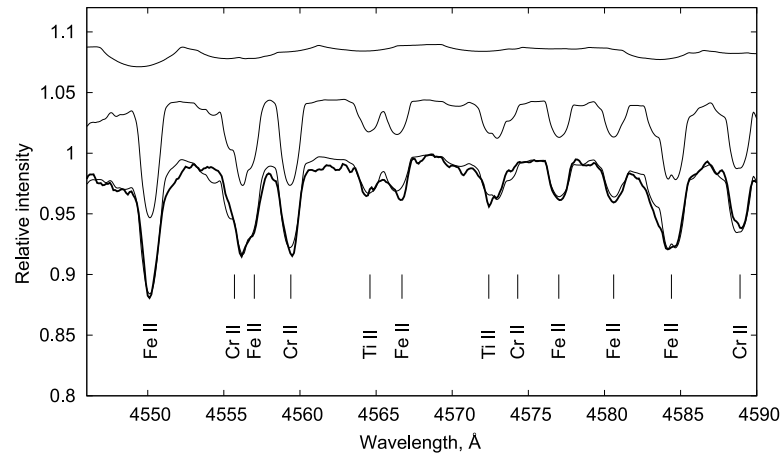


Рис. 4. Часть спектра HD 31592, полученного на ОЗСП. Главный (в середине) и вторичный (сверху) спектры сдвинуты по лучевым скоростям на 44.5 км с^{-1} и 0 км с^{-1} соответственно. Суммарный спектр (снизу) наложен на наблюдаемый. Спектры сдвинуты по вертикали для наглядности.

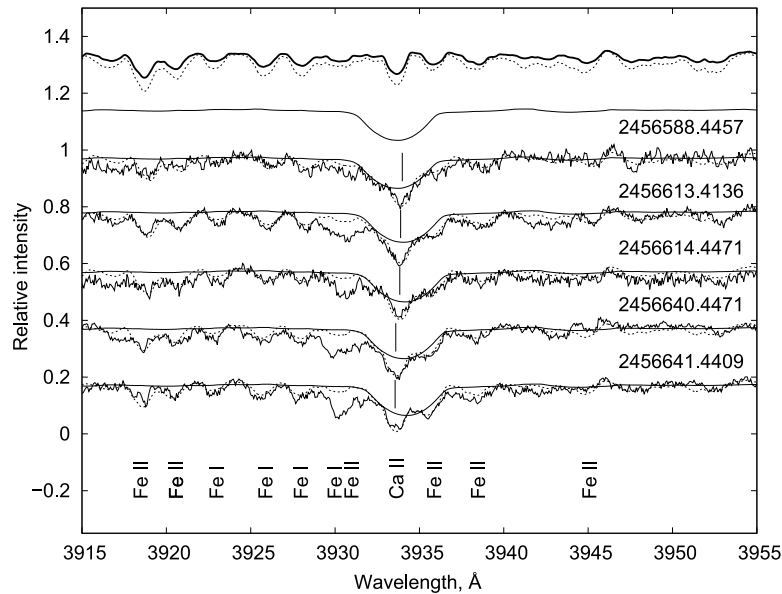


Рис. 5. Область вокруг линии Ca II в спектре HD 31592. Сверху вниз: синтетический спектр главного компонента (“горячий” — толстая сплошная линия, “холодный” — пунктирная линия). Спектры сдвинуты на соответствующее значение $v \sin i$ и уменьшены по интенсивности в соотношении $I_{\text{primary}} : I_{\text{secondary}} = 0.551 : 0.449$. Пять сложенных наблюдаемых спектров (толстая сплошная линия) снизу показаны вместе с суммарным синтетическим спектром (пунктирная линия) и со вторичным компонентом (тонкая сплошная линия); все спектры приведены к одной лучевой скорости.

компонента, используя более низкое значение эффективной температуры из работы [33], вследствие чего линия нейтрального железа должна стать более интенсивной. Этот холодный спектр наложен на более горячий вверху рисунка, однако разница между ними оказалась не существенной. Таким образом, источник абсорбционной детали на 3930 Å остается неясным.

Синтетический спектр вторичного компонента, свернутый со значением $v \sin i = 170 \text{ км с}^{-1}$ и

уменьшенный соответственно в 0.45 раз, также показан на Рис. 5. Каждый из них сдвинут по лучевой скорости для достижения наилучшего визуального соответствия, которое, однако, не совпадает со значением, полученным методом SCF для двух нижних спектров. В любом случае, неопределенность лучевой скорости вторичного компонента возникает вследствие наличия особенности в линии кальция. Не только абсорбционная деталь на

3933 Å, но и линия Fe II около 3936 Å вносят вклад в наблюдаемый профиль.

Таким образом, мы показали, что заключение Палмера и др. [1], которые получили оценку $v \sin i = 170 \text{ км с}^{-1}$ по линии Ca II на 3933 Å, и Вольфа и Престона [2], которые измеряли положение линии Mg II на 4481 Å и получили $\sin i = 50 \text{ км с}^{-1}$, согласуются с наблюдениями, так как в спектре присутствуют линии с двумя различными значениями $v \sin i$. Линия магния в спектре главного компонента узкая и глубокая, а линия кальция в спектре главного компонента с уменьшенным содержанием слаба, над ней преобладает линия вторичного компонента.

3.3. HD 129174

HD 129174 (π^1 Boo A, HR 5475, HIP 7176, ADS 9338A, CCDM J14407+1625A) — яркая, очень хорошо изученная CP звезда, классифицированная как B9IIIрHgMnSi [44]. Она является более ярким компонентом ($V=4.94$ величины [27]) в визуальной двойной системе, где более слабый компонент B ($V=5.8$ величины [27]) находится на расстоянии 5.6 угловых секунд.

Мы включили эту звезду в наблюдательную программу из-за различий между двумя определениями проекции скорости вращения: Палмер и др. [1] получили $v \sin i = 60 \text{ км с}^{-1}$ по линии Ca II на 3933 Å, а Вольфф и Престон получили $v \sin i = 16 \text{ км с}^{-1}$ [2] по линии Mg II на 4481 Å. Список спектров приведен в Таблице 3.

3.3.1. Параметры атмосферы

Основываясь на индексах $uvby\beta$ из базы SIMBAD, мы оценили эффективную температуру $T_{\text{eff}} = 12\,330 \text{ К}$ и поверхностное тяготение $\log g = 3.45$. В многочисленных исследованиях разные авторы приводят значения T_{eff} от 11 000 до 14 400 К, используя фотометрию [45–47], спектрофотометрию [48], профили водородных линий [49], модели атмосфер [50], степени ионизации Mg и Fe [51]. Таким образом, наши модельные параметры лежат около нижней границы температуры и тяготения по разным измерениям. Широкий диапазон оценок, $\pm 1700 \text{ К}$ от среднего значения, и относительно широкий диапазон поверхностных тяготений, от 3.45 (в настоящей работе) до 4.15 [46], вместе с оцененными значениями микротурбулентности между 3 км с^{-1} [52] и 7 км с^{-1} [49] и возможное наличие магнитного поля -75 Гс и $+190 \text{ Гс}$, упомянутое Монтгомери [51], которое нетипично для химической пекулярности типа Mп, подчеркивают необычные свойства HD 129174.

3.3.2. Область линии Ca II на 3933 Å

Мы рассчитали синтетический спектр, используя модель атмосферы с $T_{\text{eff}} = 12\,330 \text{ К}$ и $\log g = 3.45$, а также микротурбулентностью $\xi = 1 \text{ км с}^{-1}$. Кроме кальция, линий He I (на 3926.5 Å), Al II (3900.6 Å), хрома (3905.6 и 3911.3 Å), Ti II (3900.6 и 3913.5 Å), С II (3918.9 и 3920.6 Å), Y (3950.3 Å), присутствуют и другие линии Mп II и Fe II. Содержание марганца оказалось увеличенным в 300 раз, а иттрия — в примерно 2000; недостаток гелия составляет приблизительно 0.05, алюминия — примерно 0.05, а содержание магния уменьшено в 0.5 раз. Хром слегка избыточен, его содержание увеличено в 5 раз, а содержание титана — в 1.8 раз. Содержание железа также было уменьшено в 0.8 раз для получения наилучшего соответствия интенсивностей линий. Для того, чтобы промоделировать линию Ca II на 3933.6 Å, нам пришлось увеличить содержание кальция в 1.7 раз. Наилучшее значение проекции скорости вращения составило $v \sin i = 18 \text{ км с}^{-1}$.

По сравнению со спектром, полученным в оптическом диапазоне (например, спектры NES), ультрафиолетовые спектры вокруг линии Ca II на 3933 Å имеют гораздо более низкие отношения S/N . Поэтому мы сложили пять индивидуальных спектров для получения одного с лучшим S/N . В этой процедуре спектры, которые предстояло сложить, сначала интерполировались эквидистантными шагами по лучевой скорости (здесь 0.079 км с^{-1}), затем кросс-коррелировались для нахождения наилучшего сдвига, а уже потом суммировались. Таким образом, мы получили спектр с $S/N \approx 220$. На Рис. 6 показана узкая область вокруг линии Ca II на 3933 Å. Дополнительная абсорбция четко видна относительно синтетического профиля в левом крыле линии. Эта абсорбция может имитировать большую ширину линии на фотографических спектрах, что в свою очередь приводит к переоценке $v \sin i$ (например, у Палмера и др. [1]).

Положение этой детали, по-видимому, распространяется от более длинных (верхний спектр) к более коротким волнам. В то же время верхний спектр, похоже, имеет еще одну слабую абсорбционную деталь у основания правого крыла линии, что похоже на гуляющую слабую и более широкую линию, которая является следствием присутствия некоего компонента двойной системы. Это заключение, однако, не подтверждается наблюдаемыми глубинами спектральных линий, которые, в таком случае, должны быть в целом менее глубокими из-за дополнительного блеска от компаньона. (Похожая, но более слабая деталь также видна на пятом

Таблица 3. Список спектров и измеренные лучевые скорости HD 129174

Спектр	HJD 2400000+	S/N	Область	RV , км с^{-1}
NES	54964.2641	250	4228–5655 Å	–1.48
NAO	56375.4372	128	Ca II 3933 Å	-4.99 ± 0.79
	56410.3811	101		-5.11 ± 0.83
	56411.4136	130		-3.13 ± 0.90
	56412.4063	109		-0.92 ± 0.68
	56437.3815	78		-6.52 ± 0.83

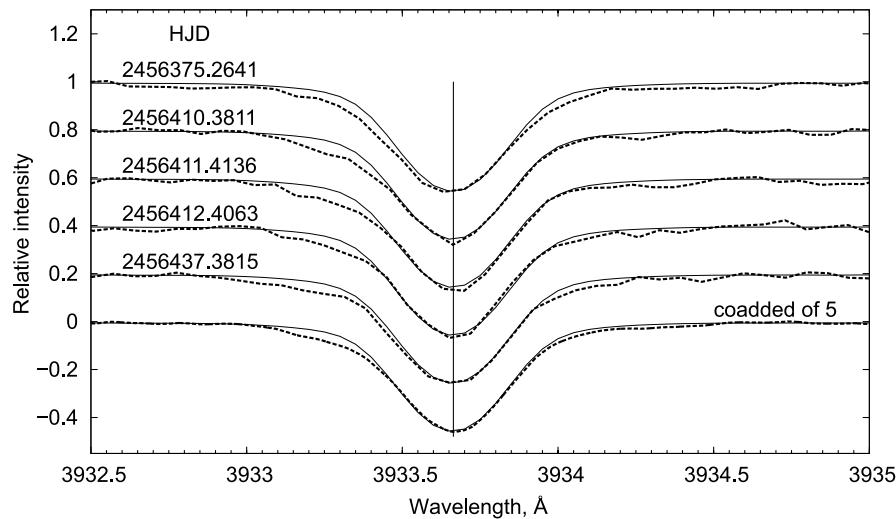


Рис. 6. Узкая область вокруг линии Ca II на 3933 Å в спектре HD 129174. Каждый отдельный спектр (толстая линия), а также суммарный спектр внизу, наложены на синтетические (тонкая линия). Еще одна абсорбционная деталь ясно видна в левом крыле наблюдаемой линии.

спектре, но у последнего гораздо хуже отношение S/N .)

3.3.3. Спектр NES

В спектре NES профили линий лучше всего воспроизводятся при значении проекции скорости вращения $v \sin i = 14 \text{ км с}^{-1}$. В этой области недостатки и/или избытки содержания отличаются в сравнении с областью Ca II 3933 Å. Детали линий марганца, например, лучше всего воспроизводятся при увеличении модельного содержания на 300. Тем не менее, из 160 наблюдаемых линий марганца в этой области, от сильных до очень слабых, только около 60% совпадают по интенсивности с модельными профилями, тогда как остальные линии оказываются сильнее или слабее в равных долях. Такие расхождения могут быть вызваны неточностями в силе осцилляторов, однако, данные

нашего списка линий не настолько отличаются от данных NIST. Такая же картина наблюдается и при параметрах $T_{\text{eff}} = 14000 \text{ К}$, $\log g = 4.0$, что близко к верхней границе температурных оценок других авторов.

Линии в этой области указывают на то, что содержание гелия понижено в 0.1 раз, а магний — уменьшено в 0.3 раз, за исключением линии на 4481 Å, которая описывается при двукратном увеличении содержания. Избыток галлия составляет 7.9×10^4 , а хрома — 3, тогда как азот и кислород демонстрируют нехватку 0.1 и 0.8 раза соответственно. Избыток фосфора составляет 8, скандия — 35, а циркония — 8.3.

Однако, мы нашли несколько слабых линий с центральными глубинами, достигающими примерно 0.05, которые остаются неидентифицированными

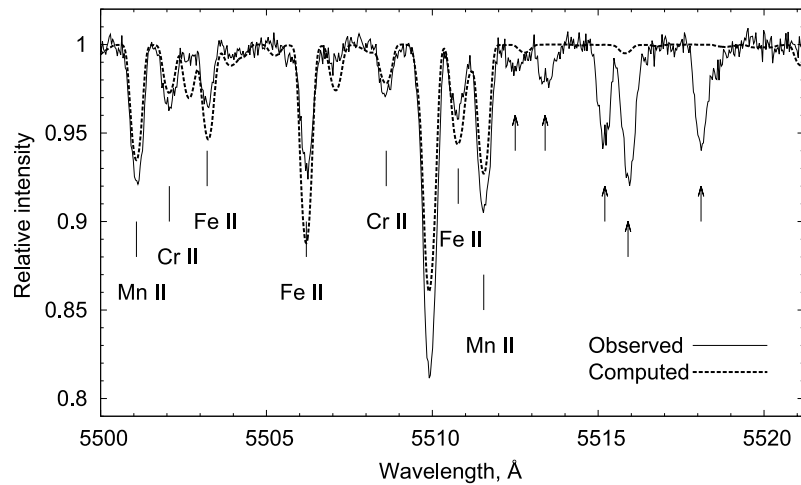


Рис. 7. Часть спектра HD 129174 около $\lambda 5510$ Å. Самая сильная линия на 5510 Å является блендой S II, Y II и Mn II с отношением интенсивностей 5:1:4.

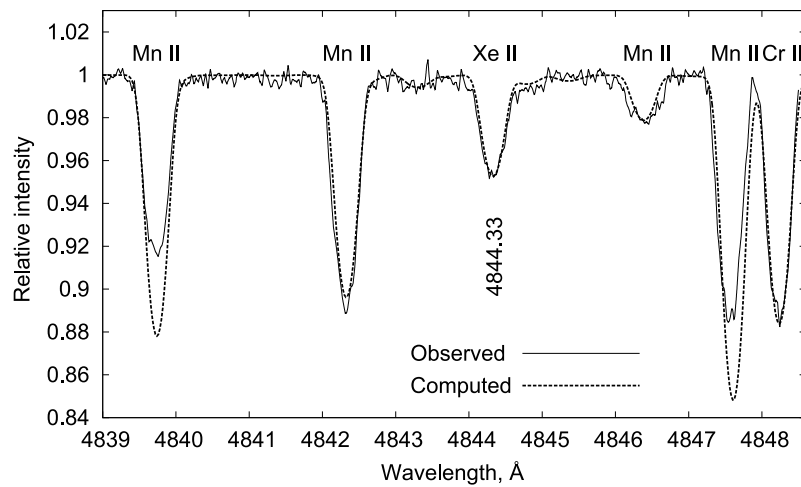


Рис. 8. Часть спектра HD 129174 около линии Xe II $\lambda 4844$ Å. Содержания марганца, ксенона и хрома увеличены в 450, 8000 и 3 раза соответственно.

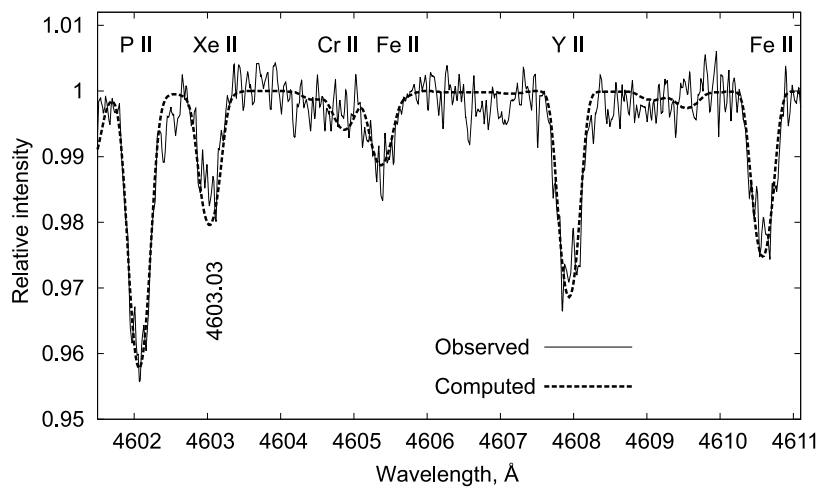


Рис. 9. Часть спектра HD 129174 около линии Xe II $\lambda 4603$ Å. Содержания фосфора, ксенона, железа и иттрия увеличены в 7, 4500, 2, 2000 и 3 раза соответственно.

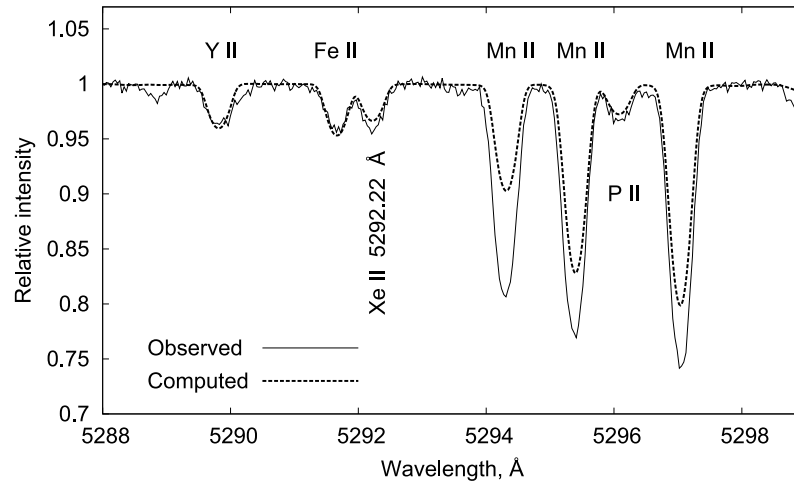


Рис. 10. Часть спектра HD 129174 около линии Xe II $\lambda 5292 \text{ \AA}$. Содержания иттрия, железа, марганца и фосфора умножены на 8000, 0,6, 300 и 8 соответственно. Показанные линии марганца нельзя аппроксимировать однозначным значением содержания.

Таблица 4. Список линий, идентифицированных с помощью NIST

Длина волны, \AA	Идентификация NIST	$\log gf$ Эмпирическое	$\log gf$ Другое
1	2	3	4
4251.1	4251.155 Ga II	0.46	0.46 [49]
4254.0	4254.073 Ga II	-0.20	
4255.7	4255.720 Ga II	1.38	0.68 [49]
4263.1	4263.136 Ga II	-0.80	
4603.	4603.03 Xe II		-0.02 список линий gf0800
4844.	4844.33 Xe II		0.51 список линий gf0800
5219.7	5219.658 Ga II	-0.20	
5292.	5292.22 Xe II		0.38 список линий gf0800
5338.2	5338.240 Ga II	0.00	
5339.3	5339.33 Xe II	0.00	
5360.4	5360.402 Ga II	0.20	
5363.6	5363.585 Ga II	-0.10	
5416.3	5416.318 Ga II	0.20	
5419.2	5419.15 Xe II	0.10	

ми. На Рис. 7 мы показываем часть спектра около $\lambda 5510 \text{ \AA}$ с пятью неотожествленными линиями.

Дворецки и др. [53] обнаружили линии ксенона у ряда CP звезд класса HgMn. Они идентифицировали линии Xe II на 4603.03, 4844.33 и 5292.22 \AA и оценили переизбыток ксенона в 3.1–4.8 dex. Пользуясь этими данными, мы получили оценку содержания ксенона $4.5\text{--}8 \times 10^3$. Помимо трех данных линий мы также идентифицировали линии Xe II на

длинах волн 5339.33 и 5419.15 \AA ; они приводятся в NIST, но без величины сил осцилляторов. С другой стороны, линий на 4330.52 и 4464.19 \AA с интенсивностями, сравнимыми со значениями из NIST, мы не обнаружили. На Рис. 8, 9 и 10 показаны спектры около линий Xe II на 4884.33 \AA , 4603.03 \AA и 5292 \AA , содержания которых подбирались по отдельности.

По данным NIST мы также отождествили линии галлия, которые не были включены в наш список

линий. Эти линии Ga II и Xe II перечислены в Таблице 4, оценки значений $\log gf$ приведены для них в колонке (3).

Мы показали, что в коротковолновом крыле линии кальция Ca II 3933 Å видна абсорбционная деталь, которая добавляет примерно 0.07 относительной интенсивности (Рис. 6). А это значит, что значение $v \sin i$ переоценено.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы обнаружили свидетельства присутствия вторичного компонента в спектре HD 31592, известной спектрально двойной, и классифицировали объект как двойную систему типа SB2. Главный компонент — звезда B9.5V с $v \sin i = 50 \text{ км с}^{-1}$, тогда как вторичный компонент — звезда A0V с $v \sin i = 170 \text{ км с}^{-1}$. Этим обусловлено разногласие между значениями приведенными Палмером и др. [1], которые соответствуют более быстро вращающемуся вторичному компоненту, и Вольфом и Престоном [2], которые соответствуют более глубокой и узкой линии магния.

HD 9531 и HD 129174 схожи в нескольких аспектах. Обе они — CP звезды, первая является переменной класса α^2 CVn, вторая классифицирована как звезда класса Мп. Оценки эффективных температур, полученных разными методами, у обоих объектов имеют очень широкий диапазон. Также у всех из них обнаружено магнитное поле. Первая звезда демонстрирует фотометрическую переменность и изменения в профиле линии Ca II 3933 Å. Вторая имеет неглубокую и широкую абсорбционную деталь в коротковолновом крыле линии Ca II 3933 Å которая, по видимому, движется. Мы не исключаем вероятность, что HD 129174 является SB звездой схожей с HD 9531.

БЛАГОДАРНОСТИ

В данной работе использовалась базы SIMBAD Центра Астрономический Данных, Страсбург, Франция, NIST [21], а также база VALD для атомных данных Венского университета. Работа основана на спектральных наблюдениях на 6-м телескопе САО РАН и на 2-м телескопе Национальной Астрономической Обсерватории, Болгария, а также на данных публичного архива ELODIE. ИР, ДК и ЕС благодарны РФФ за частичную поддержку (грант РФФ 14-50-00043). ИИ и ИС благодарят за частичную поддержку Болгарский ННФ, гранты DN-08/1-2016 и DN-18/13-12.12.2017. ЮЗ благодарит Р. Комжика за поддержку программного обеспечения. Астрономический институт Словацкой академии наук предоставил компьютерное и инструментальное оснащение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D. R. Palmer, E. N. Walker, D. H. P. Jones, and R. E. Wallis, *Royal. Obs. Bull.* **135**, 385 (1968).
2. S. C. Wolff and G. W. Preston, *Astrophys. J. Suppl.* **37**, 371 (1978).
3. J. Zverko, I. Iliev, I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **68**, 57 (2013).
4. J. Zverko, J. Žižňovský, I. Iliev, et al., *Astrophysical Bulletin* **66**, 325 (2011).
5. J. Zverko, I. Iliev, I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 57 (2012).
6. J. Zverko, I. Romanyuk, I. Iliev, et al., *Astrophysical Bulletin* **68**, 442 (2013).
7. J. Zverko, I. Romanyuk, I. Iliev, et al., *Astrophysical Bulletin* **71**, 199 (2016).
8. J. Zverko, I. Romanyuk, I. Iliev, et al., *Astrophysical Bulletin* **72**, 17 (2017).
9. J. Moutaka, S. A. Ilovaisky, P. Prugniel, and C. Soubiran, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **116**, 693 (2004).
10. V. Panchuk, V. Klochkova, M. Yushkin, and I. Najdenov, *Journ. Opt. Technology* **76**, 87 (2009).
11. N. E. Piskunov and J. A. Valenti, *Astron. and Astrophys.* **385**, 1095 (2002).
12. P. Škoda, *ASP Conf. Ser.* **101**, 187 (1996).
13. J. Zverko, J. Žižňovský, Z. Mikulášek, and I. Kh. Iliev, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **37**, 49 (2007).
14. I. Hubeny, T. Lanz, and C. S. Jeffery, *Newslett. Analysis Astron. Spectra*, No. 20 (1994).
15. J. Krtička, PhD Thesis, (Masaryk University, Brno, 1998) [in Czech language].
16. F. Castelli and R. L. Kurucz, *ASP Conf. Ser.* **288**, A20 (2003).
17. N. E. Piskunov, F. Kupka, T. A. Ryabchikova, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **112**, 525 (1995).
18. T. A. Ryabchikova, N. E. Piskunov, F. Kupka, and W. W. Weiss, *Baltic Astronomy* **6**, 244 (1997).
19. F. Kupka, N. E. Piskunov, T. A. Ryabchikova, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **138**, 119 (1999).
20. F. Kupka, T. A. Ryabchikova, N. E. Piskunov, et al., *Baltic Astronomy* **9**, 590 (2000).
21. A. Kramida, Yu. Ralchenko, J. Reader, and NIST ASD Team (2018). *NIST Atomic Spectra Database* (ver. 5.5.2), [Online. Available: <http://pgsysics.nist.gov/asd>] [2018, February 17]. National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD.
22. W. L. Wiese and J. R. Fuhr, *J. Phys. Chem. Ref. Data* **38**, 565 (2009).
23. T. Moon and M. M. Dworetzky, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **217**, 782 (1985).
24. B. Smalley and M. M. Dworetzky, *Astron. and Astrophys.* **293**, 446 (1995).
25. N. Grevesse, M. Asplund, and A. J. Sauval, *Space Sci. Rev.*, **130**, 105 (2007).
26. R. Komžík, private communication.
27. D. Hoffleit and J. H. Warren, Jr., *The Bright Star Catalogue*, 5th rev. ed. (Astron. Data Center, 1991).
28. F. Royer, J. Zorec, and A. E. Gomez, *Astron. and Astrophys.* **463**, 671 (2007).

29. H. A. Abt, *Astrophys. J.* **19**, 387 (1970).
30. S. C. Wolff, *Astrophys. J.* **222**, 556 (1978).
31. L. Hric, *Astrophys. and Space Sci.* **169**, 177 (1990).
32. G. Hildebrandt, *Astronomische Nachrichten* **296**, 277 (1975).
33. I. McDonald, A. A. Zijlstra, and M. L. Boyer, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **427**, 343 (2012).
34. P. North, *Astron. and Astrophys.* **334**, 181 (1998).
35. K. Panov and W. Schöneich, *Astronomische Nachrichten* **297**, 177 (1976).
36. J. Babel, *Astron. and Astrophys.* **283**, 189 (1994).
37. T. Ryabchikova, O. Kochukhov, and S. Bagnulo, *Astron. and Astrophys.* **480**, 811 (2008).
38. J. Dommangeat and O. Nys, *Com. de l'Observ. Royal de Belgique* **115**, 1 (1994).
39. P.C. Schmidtke, J.R. Africano, and R. Quigley, *Astron. J.* **97**, 909 (1989).
40. H. A. Abt and N. I. Morrell, *Astrophys. J. Suppl.* **99**, 135 (1995).
41. D. L. Crawford, J. V. Barnes, J. C. Golson, and D. P. Hube, *Astron. J.* **78**, 738 (1973).
42. J. R. W. Heintze, *IAU Symp.* **54**, 231 (1973).
43. A. N. Cox, *Allen's Astrophysical Quantities*, 4th ed. (Los Alamos, 1999), p. 381.
44. H. A. Abt and O. Cardona, *Astrophys. J.* **276**, 266 (1984).
45. M. Zboril, *Contrib. Astro. Obs. Skalnaté Pleso*, **16**, 47 (1987).
46. M. Takada, *Publ. Astron. Soc. Japan* **31**, 473 (1979).
47. C. R. Cowley and G. C. L. Aikman, *Astrophys. J.* **242**, 684 (1980).
48. S. J. Adelman and D. M. Pyper, *Astron. J.* **84**, 1603 (1979).
49. K. M. Strom, *Astron. and Astrophys.* **2**, 182 (1969).
50. D. Mihalas and J. L. Henshaw, *Astron. J.* **144**, 25 (1966).
51. J. Wm. Montgomery and L. H. Aller, *Proc. Nat. Academy Sci. USA* **63**, 1039 (1969).
52. L. Searle, W. T. Lingershausen, and E. L. W. Sargent, *Astrophys. J.* **145**, 141 (1966).
53. M. M. Dworetzky, J. L. Persaud, and K. Patel, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **385**, 1523 (2008).

Stars with Discrepant $v \sin i$ as Derived from the Ca II 3933 and Mg II 4481 Å Lines. VII. HD 9531 (SB), HD 31592 (SB2), HD 129174 (SB?)

J. Zverko, I. Iliev, I. I. Romanyuk, I. Stateva, D. O. Kudryavtsev, and E. A. Semenko

In this paper of the series we analyze three stars listed among stars with discrepant $v \sin i$: HD 9531 and HD 31592, which also show radial velocity variations inherent to spectroscopic binaries, and HD 129174 which is an Mn-type star with a possible magnetic field. In HD 9531 we confirm the radial velocity derived from the hydrogen lines as well as from the Ca II line at 3933 Å as variable. The profile of the calcium line also appears variable, and with the estimated magnetic induction $B_e = -630 \pm 1340$ G, this suggests that the abundance of calcium possibly varies over the surface of the star. We identified the lines of the secondary component in the spectrum of HD 31592 revealing thus it is an SB2 binary with B9.5V and A0V components. While the primary star rotates with $v \sin i = 50 \text{ km s}^{-1}$, the secondary star is faster with $v \sin i = 170 \text{ km s}^{-1}$. We find that only 60% of the Mn lines identified in the spectrum of HD 129174 can be fitted with a unique abundance value, whereas the remaining lines are stronger or fainter. We also identified two Xe II lines at 5339.33 Å and 5419.15 Å and estimated their $\log gf$.

Keywords: *stars: binary — stars: rotation — stars: individual: HD 9531, HD 31592, HD 129174*