

УДК 524.35-327

Звезды с различающимися величинами $v \sin i$, определенными по линиям Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ и Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$.

III. Звезды с $v \sin i (\lambda 3933 \text{ \AA}) < v \sin i (\lambda 4481 \text{ \AA})^1$

© 2013 Ю. Зверко^{1*}, И. Илиев², И. Романюк³,
И. Барзова², Д. Кудрявцев³, И. Статева², Е. Семенко³

¹Институт теоретической физики и астрофизики, Университет Масарика, Брно, 601 77 Чехия

²Институт Астрономии, НАО Рожен, София, 1784 Болгария

³Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Вращение звезды играет важную роль в ее эволюции, физических условиях в атмосфере и проявляется в ее спектре. Мы проанализировали спектры с высоким разрешением и отношением S/N девяти звезд, для которых их проекции лучевой скорости на луч зрения, определенные по линии Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$, значительно ниже, чем скорости, определенные по линии Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$. Используя опубликованные результаты *wavyβ*-фотометрии и вычисленные синтетические спектры, мы определили эффективные температуры и ускорения силы тяжести. Сравнивая наблюдаемые профили указанных двух линий с вычисленными, мы определили величины $v \sin i$. Одна из звезд, HD 44783, является Be-звездой, в которой наряду с узкими абсорбциями в спектре, образованном в околозвездной оболочке, имеются также и линии межзвёздного происхождения. Также мы нашли указания на существование околозвездной среды в спектре HD 25152. В спектрах остальных семи звезд узкие компоненты в линии Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$, также как и узкие абсорбции в линиях Na I $\lambda 5889.951 \text{ \AA}$ (D1) и $\lambda 5895.924 \text{ \AA}$ (D2) имеют межзвёздное происхождение. В спектре HD 114376 существуют две системы межзвёздных компонент, что указывает на существование двух разных межзвёздных облаков в направлении на звезду. В спектре HD 138527 были обнаружены признаки существования компаньона, излучение которого вносит 15% в общий блеск системы.

Ключевые слова: *звёзды: химически пекулярные—звёзды: вращение*

1. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущих двух статьях этой серии (Зверко и др. [1, 2]) мы занимались краткими звездами HD 2913 и HD 90569, у которых $v \sin i$ (Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$) $> v \sin i$ (Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$). Мы показали, что оба объекта имеют сложный спектр, состоящий из спектров звезды V9.5V и ранней F-звезды Главной последовательности. В спектре последней имеются некоторые указания на двойственность, не подтвержденные, однако, до настоящего времени. В этой статье мы исследуем спектры девяти звезд, у которых $v \sin i$ (Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$) $< v \sin i$ (Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$). Они перечислены в Таблице 1.

2. НАБЛЮДЕНИЯ. МЕТОД

Мы получили ПЗС-спектры в Национальной Астрономической обсерватории в Рожене Болгария (НАО) и Специальной астрофизической обсерватории РАН, Нижний Архыз, Россия (САО). Спектры НАО были получены с матрицей Photometrics AT200 CD 1024×1024 px в третьем порядке куде-спектрографа 2-м телескопа системы Ричи-Кретьена с разрешением $R = 22\,000$. Область для Ca II бралась от $\lambda 3898 \text{ \AA}$ до $\lambda 3967 \text{ \AA}$, а для Mg II — от $\lambda 4447 \text{ \AA}$ до $\lambda 4550 \text{ \AA}$. Для обработки этих спектров использовались стандартные процедуры IRAF. Спектры САО получены на 6-м телескопе БТА на эшелле-спектрометре НЭС, оборудованном матрицей ПЗС 2048×2048 px [3], с разрешением $R = 43\,000$ в спектральной области $\lambda \lambda 4226\text{--}5654 \text{ \AA}$ и на Основном звездном спектрографе (ОЗСП), оборудованном зеемановским анализатором и камерой 2048×2048 px, при разрешении $R = 15\,000$ в спектральной области

¹По спектроскопическим наблюдениям, полученным в НАО Рожен, САО РАН и обсерватории Ондражев, и по открытому архиву ELODIE.

*E-mail: zve@ta3.sk

Таблица 1. Список звёзд

HD	HR	Спектр	$v \sin i$, км/с		RV, км/с	Примечания
			Ca II [15]	Mg II [18]		
25152	1234	A0 V	50	250	-20 var	$v \sin i = 68$ км/с
44783	2300	B8 Vn	65	300	3 var	Be-звезда
45563	2347	B9 V ?SiSr	50	125	42	$v \sin i = 80$ км/с
53744	2669	B9 V	160	350	-16 var?	$v \sin i = 280$ км/с
113797	4943	B9 V ?Pec	0	175	-13 var	
114376	4967	B7 III	0	125	-6 var	ADS 8805BC, двойная?
136849	5718	B9 Vn	180	350	-7 SB	$v \sin i = 260$ км/с
138527	5770	B9 V	0	175	-18 var	
188485	7601	A0 III	95	150	-8 var	

Таблица 2. Список спектров HD 25152 и измеренные наблюдаемые параметры

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM (int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
MSS	5075.5770	Mg II λ 4481 Å	600				-9.0 ± 0.4
NAO	4844.3134	Mg II λ 4481 Å	255				-24.9 ± 0.6
NAO	4844.3473	Ca II λ 3933 Å	125	27	0.37	0.2 ± 0.6	-23.5 ± 1.5
NAO	5788.5671	Na I D1 λ 5889 Å	180	94	0.25	10.5 ± 0.1	-0.2 ± 8
		Na I D2 λ 5895 Å		83	0.24		
NAO	5789.5684	Na I D1 λ 5889 Å	260	96	0.24	10.1 ± 0.3	0.0 ± 12
		Na I D2 λ 5895 Å		87	0.23		

$\lambda\lambda$ 4453–4695 Å. Для обработки спектров CAO были использованы пакет программ ZEEMAN, основанный на процедурах ESO MIDAS [4] и пакет REDUCE [5].

Для вычислений синтетического спектра, детальных профилей линий Ca II λ 3933 Å и Mg II λ 4481 Å и для вычисления содержания элементов путем сравнения с наблюдаемыми линиями использовалась программа SYNSPEC [6, 7]. ЛТР-модели атмосфер были интерполированы по сетке моделей Кастелли и Куруча [8]. Использовалась база атомных данных VALD [9–12]. Эффективные температуры и ускорение силы тяжести были определены с использованием программ UVBYBETA [13] и TEFFLOGG [14] по данным $ubvy\beta$ -фотометрии, взятым из базы SIMBAD. Коррекции химического состава, там где они

отмечены, выражены в единицах солнечного содержания.

Относительно низкие величины $v \sin i$, найденные Палмером и др. [15] по линии Ca II λ 3933 Å, указывают на возможное присутствие межзвездных линий. Поэтому, когда было возможно, мы сопоставляли эти данные с новыми 3D-картами плотности газа межзвездных абсорбций Na I и Ca II в пределах 300 пк, составленными Уэлшем и др. [16].

Лучевые скорости определялись кросс-корреляционным методом [17] с использованием синтетического спектра в качестве шаблона.

3. АНАЛИЗ

3.1. HD 25152

HD 25152 (HR 1234, HIP 18769, $V = 6.41$, A0V). В литературе можно найти большое ко-

личество величин проекций скоростей вращения. Палмер и др. [15] дают $v \sin i = 50$ км/с по линии Ca II $\lambda 3933$ Å, Вольф и Престон [18] дают $v \sin i = 250$ км/с по линии Mg II $\lambda 4481$ Å, а Дворецкий [19] — $v \sin i = 100$ км/с. Хьюб [20] определил семь величин лучевой скорости в пределах $RV = -20 \pm 4$ км/с. Беликов и др. [21] дают $RV = -20.4$ км/с.

Спектры, полученные в нашей работе, и определенные по ним параметры приведены в Таблице 2, где эквивалентные ширины EW и полуширины FWHM узких межзвёздных линий (обозначены “int”) указаны в колонках 5 и 6 соответственно, а лучевые скорости, определенные по межзвёздной и звездной компоненте — в колонках 7 и 8.

По двум наборам $uvby\beta$ -индексов, взятым из SIMBAD, мы вычислили $T_e = 10\,530$ К и $T_e = 10\,640$ К и $\log g = 3.94$. Формальные ошибки, получаемые по программам UVVUBETA и TEFFLOG, составляют десятки Кельвинов, в то время как реальные ошибки для звезд этой температуры достигают сотен Кельвинов.

Модели атмосферы были интерполированы для $T_e = 10\,580$ К и $\log g = 3.94$. Теоретический спектр был вычислен для микротурбулентной скорости $\xi = 0$ км/с и солнечного химсостава, за исключением гелия, магния и кальция, содержания которых были слегка изменены: 0.9, 1.5 и 0.45 солнечного содержания соответственно. Участок спектра в области линии Mg II $\lambda 4481$ Å показан на Рис. 1а, где продемонстрировано сравнение спектра, полученного на ОЗСП, с синтетическим.

Ширина линии наилучшим образом описывается при проекции скорости вращения $v \sin i = 127$ км/с, как это видно на Рис. 1б, с. Все наблюдаемые спектры на Рис. 1 сдвинуты на величину, соответствующую лучевой скорости, указанной в последней колонке Таблицы 2.

Спектр НАО в области линии Ca II имеет значительное более низкое отношение сигнал/шум, $S/N = 125$, по сравнению с другими. Несмотря на это, четко видна узкая абсорбция в длинноволновом крыле широкой линии Ca II. У этой абсорбции $FWHM = 0.37$ Å, что указывает на низкое $v \sin i$, а эквивалентная ширина при измерении ниже широкого профиля линии составляет $EW = 27$ mÅ. Лучевая скорость этой спектральной детали $RV = 0$ км/с. Параллакс звезды, измеренный спутником Hipparcos, равен 8.74 mas, а в SIMBAD указана величина 8.25 mas, что соответствует расстояниям от 114 до 121 пк. В каталоге BS приведено расстояние 123 пк с примечаниями: “группа Сириуса, поток Большой Медведицы”. Беликов и др. [21] включают эту звезду в комплекс

Per OB2. Таким образом, узкая абсорбция может иметь межзвёздное происхождение. Уэлш и др. [16] дают $EW = 34$ mÅ для межзвёздной компоненты в спектре ближайшей звезды HD 24760, которая находится на расстоянии 165 пк. Другие четыре звезды, HD 22780, HD 23180, HD 24131 и HD 24912, находящиеся в пределах 5° от HD 25152, имеют межзвёздные компоненты с EW от 26 до 119 mÅ, коррелирующие с расстояниями в пределах от 248 до 543 пк.

Спектр в области дублета линий Na I D1 и D2 показан на Рис. 1д. Синтетический спектр, уширенный вращением до 127 км/с, хорошо описывает линию гелия $\lambda 5875.6$ Å. Лучевая скорость звезды, определенная по этой линии, равна нулю. Однако, лучевая скорость дублета $RV \sim 10$ км/с. Величины FWHM для линий примерно равны 0.24 Å, что сравнимо с разрешением наблюдаемого спектра 0.27 Å. Средние эквивалентные ширины $EW(D1) = 95$ mÅ и $EW(D2) = 85$ mÅ. Две из четырех рассматриваемых выше звезд, HD 22780 и HD 24131, имеют эквивалентные ширины линий Na I D1, D2 130 и 81 mÅ и 254 и 155 mÅ соответственно. Эти звезды находятся на расстояниях 248 и 317 пк, а расстояние до HD 25152 составляет 120 пк.

Несмотря на то, что эквивалентные ширины линий Ca II и Na I у HD 25152 соответствуют по силе межзвёздным линиям в спектрах звезд, находящихся в том же направлении и на сравнимых расстояниях, разные лучевые скорости узких компонент линий Ca II и Na I свидетельствуют об их различном происхождении.

Паунзен и др. [22] предлагают два различных критерия, по которым можно сделать выбор между межзвёздным и околозвёздным происхождением. Согласно первому из них, отношение $EW(D1)/EW(D2) = 2$ соответствует оптически тонкой, т.е. межзвёздной, среде, в то время как отношение близкое к единице характерно для околозвёздного диска. Для HD 25152 $EW(D1)/EW(D2) \approx 1.1$, что указывает скорее на околозвёздное происхождение дублета. Для двух упомянутых выше звезд из работы Уэлша и др. [16] отношение составляет 1.6.

Во втором критерии используется отношение $EW(Ca II)/EW(Na I D1+D2)$. Если это отношение значительно больше единицы, линии имеют околозвёздное происхождение. Для HD 25152 $EW(Ca II)/EW(Na I D1+D2) \sim 0.15$. Для HD 22789 это отношение равно 0.12, и для HD 24131 — 0.18. Согласно этому критерию, линии всех трех звезд не являются околозвёздными.

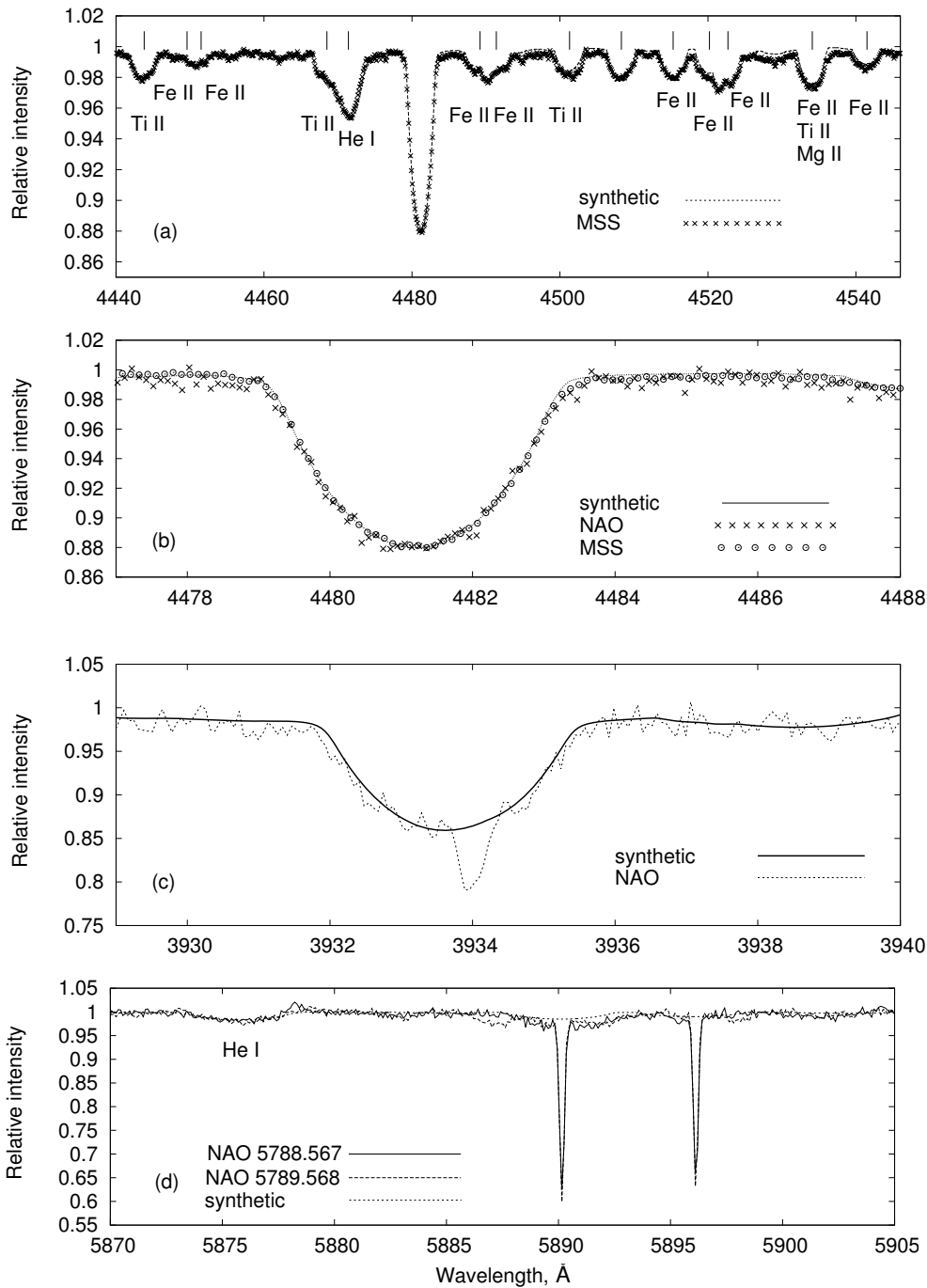


Рис. 1. Спектры HD 25152, $v \sin i = 127$ км/с. Здесь и на всех последующих рисунках наблюдаемые спектры смещены по длине волны на соответствующие значения лучевой скорости звезды.

Исобе и др. [23] измерили эквивалентную ширину (равную 0.2 \AA) широкой межзвёздной диффузной полосы на $\lambda 4430 \text{ \AA}$ в спектре HD 25152.

Хэйлес [24] измерил поляризацию 0.2%, что указывает на присутствие межзвёздной материи в окрестности HD 25152.

Каким бы ни было происхождение узких линий в спектре HD 25152, присутствие узкой линии Ca II приводит к неверному выводу о недооценке величины $v \sin i$, так как у узкой спектральной детали более высокий контраст на фоне окружающего континуума в фотографическом спектре, чем у широкой звездной линии.

Таблица 3. Список спектров HD 44783

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM (int),	RV,	Примечания
	2450000+			mÅ	mÅ		
ELODIE	1896.4386	H α , H β	120			9.2 \pm 1.5	центральная абсорбция
		H γ , H δ				9.1 \pm 1.5	центральное ядро
		Mg II region				9.3 \pm 0.5	$v \sin i = 250$ км/с
		Na I D1, D2				30.4 \pm 1.0	широкие линии
		Na I D1, D2				34/14	0.17/0.15
NAO	5941.3579	Na I D1, D2	140	33/17	0.35/0.33	16.5 \pm 3.1	широкие линии
		Na I D1, D2	140			17.2 \pm 0.2	узкие линии
NES	5281.2781	H β	144	31/16	0.21/0.17	45.9 \pm 1.5	центральная абсорбция
		Na I D1, D2	148			51.0 \pm 4.1	широкие линии
		Na I D1, D2	148			50.1 \pm 0.21	узкие линии

3.2. HD 44783

HD 44783 (HR 2300, HIP 30448, $V = 6.2$, B8 Vn). Палмер и др. [15] дают $v \sin i = 65$ км/с по линии Ca II $\lambda 3933$ Å, Вольф и Престон [18] по Mg II $\lambda 4481$ Å оценили $v \sin i = 300$ км/с. Хоффлейт и Уоррен [25] указывают на переменную лучевую скорость $RV = 3$ var км/с.

Спектры, использованные в данной работе, и полученные по ним параметры представлены в Таблице 3. Спектр ELODIE, покрывающий область от $\lambda 4000$ Å до $\lambda 6800$ Å, также как и спектр НАО, содержащий линии H β , показывает профили Бальмеровских линий, типичные для Ве-звезды. Пример профиля линии H β приведен на Рис. 2а.

Фрегат и др. [26] основываясь на том же спектре ELODIE, который теперь общедоступен, определили $v \sin i = 226 \pm 50$ км/с, $T_e = 13\,000 \pm 1000$ К, $\log g = 3.05 \pm 0.15$ и спектральный класс B9 III. В базе SIMBAD приведены три набора *wavy*-индексов и четыре величины β -индекса. Все эти величины, однако, сильно подвержены влиянию эмиссий в спектре, как, например, в случае линии H β , что искажает β -индекс, или профиля линии H δ , который попадает в v -фильтр и влияет на параметры m_1 и c_1 , являющиеся определяющими при вычислении эффективной температуры и $\log g$. Это вносит неопределенность в определение параметров атмосферы, что отражается также в больших ошибках величин, найденных Фрегат и др. [26]. Детальный анализ спектра HD 44783 не является целью данной работы. Теперь мы знаем, что Палмер и др. [15] могли основываться на узкой абсорбции при определении величины $v \sin i$.

Мы можем привести дополнительные величины лучевой скорости. Для этой цели мы вычислили синтетический спектр, используя модель атмосферы с $T_e = 11\,000$ К и $\log g = 3.0$. Для достижения хорошего согласия мы увеличили микротурбулентную скорость до 5 км/с и увеличили содержание натрия и магния в 10 и 3 раза соответственно. На Рис. 2b мы демонстрируем фрагмент спектра в области линий натрия D1 и D2. Эти две линии хорошо описываются при величине скорости $v \sin i = 125$ км/с, что, однако, представляет собой только половину величины, принятой выше. Профиль линии He I $\lambda 5875$ Å требует $v \sin i = 280$ км/с, что также видно на Рис. 2b. Такой же разницей наблюдается и в области линии Mg II $\lambda 4481$ Å (на спектре ELODIE), где для линий Fe II пригодной является более низкая скорость вращения, в то время, как для линии магния $\lambda 4481$ Å и гелия $\lambda 4471$ Å скорее подходит $v \sin i = 250$ км/с. Более низкая величина также лучше соответствует и бленде линий He I, Fe II и Sc II вокруг $\lambda 4923$ Å, как это показано на Рис. 2а. Наши наблюдения находятся в согласии с рассеянием ± 50 км/с, оцененным Фрегат и др. [26]. Разногласие величин $v \sin i$, найденных по разным спектральным линиям, отражает сложную структуру этой слабо изученной системы и соответствующие способы формирования спектральных линий.

Центральная эмиссия изменяет не только центральную часть линий H α и H β , существуют также следы центральных эмиссий в профилях линий He I $\lambda 5875$ Å в спектре НАО (см. Рис. 2б) и

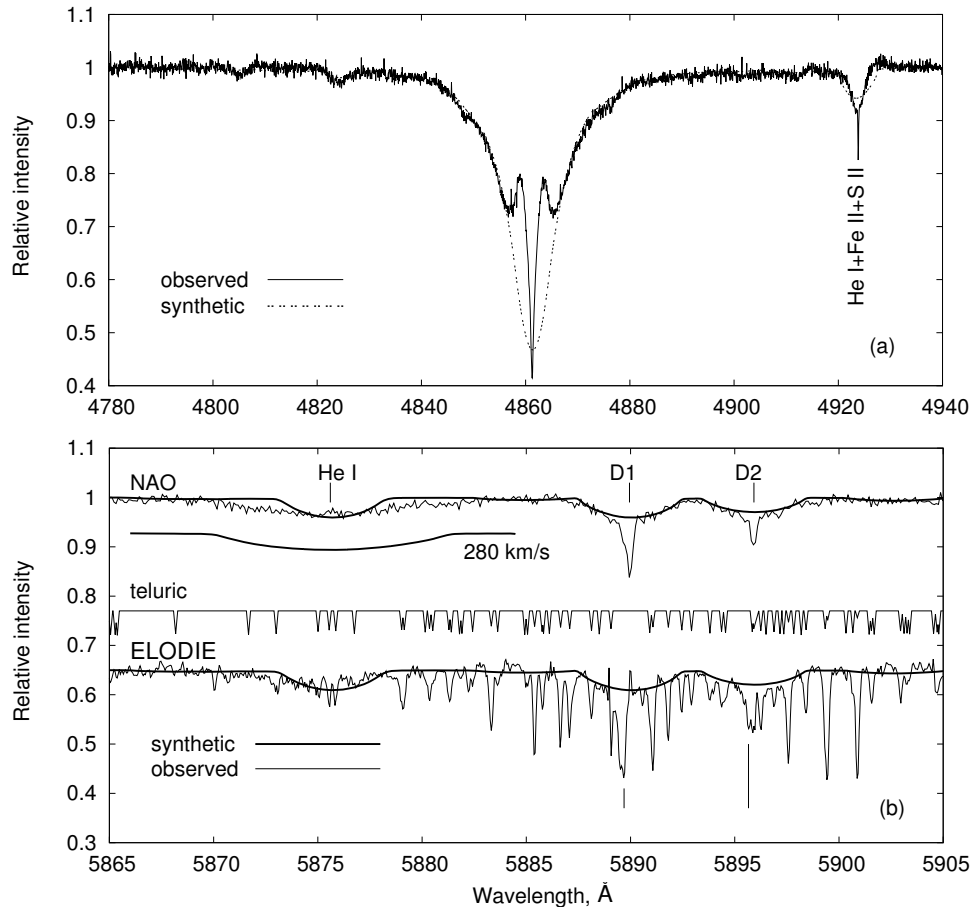


Рис. 2. а) *Shell*-профиль Бальмеровской линии $H\beta$ HD 44783, $v \sin i = 225$ км/с. б) Часть спектра в области линий D1D2. Теллурические линии показаны схематически для идентификации линий в спектре ELODIE. В верхней части панели (б) показан профиль линии He I 5875, а также профиль уширенный до 280 км/с.

$Mg II \lambda 4481 \text{ \AA}$. В то время как для слабых линий металлов вполне подходит более низкое значение $v \sin i = 125$ км/с, внешние крылья линий $H\delta$ и $H\gamma$ требуют для описания $v \sin i > 300$ км/с. Такое разногласие приводит также к соответствующим неопределенностям при нахождении лучевых скоростей. В Таблице 3 мы привели величины лучевых скоростей, определенных разными способами. Величины для Бальмеровских линий определены по центральным пикам, формируемым в околозвездной среде. Эти величины были оценены кросс-корреляционным методом при сравнении наблюдаемого ядра с треугольником, размером и формой повторяющим ядро линии и расположенным на месте ее лабораторной длины волны. Величина в области линии $Mg II$ с большим количеством слабых фотосферных линий металлов была определена кросс-корреляционным методом с использованием синтетического спектра.

Несмотря на то, что два типа линий имеют различное происхождение, их лучевые скорости

одинаковые $RV = 9.2$ км/с, что предполагает околозвездное формирование, при котором области с образующейся узкой абсорбцией не расширяются. Широкие линии D1, D2, которые, как мы предполагаем, имеют фотосферное происхождение, имеют существенно другую лучевую скорость, $RV = 30$ км/с, в спектрах ELODIE. Узкие линии D1, D2 сравнивались с частью синтетического спектра, содержащем только эти две линии натрия. Лучевая скорость дублета, $RV = 13.5$ км/с, не соответствует ни одному из предыдущих определений. Обилие теллурических линий в спектрах ELODIE делает трудными измерения параметров линий D1, D2. Это особенно видно на линии D2 (см. Рис. 2b). Из-за различий в величинах лучевых скоростей между широким и узким дублетами можно предположить, что узкие линии D1, D2 могут иметь межзвездное происхождение. Два значения лучевой скорости, найденные в спектрах NAO по широкой и узкой компонентам, составляют

Таблица 4. Список спектров HD 45563

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM(int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
NAO	5588.4400	Mg II λ 4481 Å	141				31.1 ± 0.6
NAO	5587.3905	Ca II λ 3933 Å	47	22	0.21	18.2 ± 0.6	30.8 ± 1.2
NAO	5941.3743	Na I D1	126	25	0.25	21.7 ± 0.2	45.5 ± 2.7
		Na I D2		14	0.24		

соответственно 16.5 и 17.2 км/с, поэтому необходимо рассмотреть дополнительные критерии их происхождения, чтобы исключить околозвездное происхождение узких линий.

Мы измерили эквивалентные ширины этих линий, используя метод треугольника. Для спектра ELODIE мы определили

$$EW(D1) = 34 \text{ mÅ}, \quad EW(D2) = 14 \text{ mÅ},$$

их отношение равно 2.4;

$$FWHM(D1) = 0.17 \text{ Å}, \quad FWHM(D2) = 0.15 \text{ Å}$$

($R = 0.13 \text{ Å}$). Этот спектр, однако, сильно загрязнен теллурическими линиями, что должно быть принято во внимание при измерении параметров. Для спектров NAO мы определили

$$EW(D1) = 33 \text{ mÅ}, \quad EW(D2) = 17 \text{ mÅ},$$

отношение составляет 1.9;

$$FWHM(D1) = 0.35 \text{ Å}, \quad FWHM(D2) = 0.33 \text{ Å}$$

($R = 0.27 \text{ Å}$). В спектре НЭС

$$EW(D1) = 31 \text{ mÅ}, \quad EW(D2) = 16 \text{ mÅ},$$

отношение составляет 1.9, и

$$FWHM(D1) = 0.21 \text{ Å}, \quad FWHM(D2) = 0.17 \text{ Å}$$

($R = 0.14 \text{ Å}$). Согласно критериям, введенным Паунзенем и др. [22], если линия имеет межзвездное происхождение, то $EW(D1)/EW(D2) = 2$, поэтому эти линии межзвездные, т.к. условие выполняется для всех трех спектров.

Найденные FWHM слегка превышают теоретическое значение разрешения спектров, поэтому некоторый вклад околозвездной материи из оболочки этой Ве-звезды исключить нельзя, как это видно в левой части линии D1 в спектре NAO (Рис. 2b). Уэлш и др. [16] дают $EW(D1) = 88 \text{ mÅ}$ для близкой по угловому расстоянию и находящейся на расстоянии 133 пк звезды HD 47839 и $EW(D1) = 116 \text{ mÅ}$, $EW(D2) = 73 \text{ mÅ}$ для другой близкой звезды HD 43285, находящейся на расстоянии 228 пк. Расстояние до HD 44783 — 348 пк.

3.3. HD 45563

HD 45563 (HR 2347, HIP 30798, $V = 6.48$, B9 V). Палмер и др. [15] дают $v \sin i = 50 \text{ км/с}$ по линии Ca II λ 3933 Å, в то время как Вольф и Престон [18] нашли $v \sin i = 125 \text{ км/с}$ по линии Mg II λ 4481 Å. Ройе и др. [27] определили $v \sin i = 115 \text{ км/с}$, Хоффлейт и Уоррен [25] дают $v \sin i = 80 \text{ км/с}$ и $RV = 42 \text{ км/с}$.

Используя четыре набора значений $uvby$, найденные в SIMBAD, мы определили T_e от 10 840 К до 10 910 К и $\log g$ от 4.08 до 4.14. Средние значения $T_e = 10 890 \pm 30 \text{ К}$, $\log g = 4.10 \pm 0.03$. Мы вычислили синтетический спектр с этими параметрами и микротурбулентной скоростью $\xi = 0 \text{ км/с}$. Для достижения согласия с наблюдаемым спектром в содержание гелия, магния и кальция надо было внести коррекцию на 1.2, 2.5 и 0.6 dex соответственно. Затем мы определили $v \sin i = 105 \text{ км/с}$. Очень хорошее согласие продемонстрировано на Рис. 3.

Лучевые скорости в области линий D натрия были определены кросс-корреляционным методом. Указанная величина для звезды описывает широкие линии He I λ 5876 Å и D1 и D2. Эти величины для межзвездных линий были определены с использованием части синтетического спектра, содержащего только узкие линии D1 и D2.

Отношение эквивалентных ширин

$$EW(D1)/EW(D2) = 1.8,$$

$$EW(\text{Ca})/EW(D1+D2) = 0.56$$

указывает на межзвездное происхождение узких линий. Уэлш и др. [16] определили эквивалентные ширины 26 mÅ и 13 mÅ для D1 и D2 в спектре HD 45563, что находится в превосходном согласии с нашими измерениями — 25 mÅ и 14 mÅ для D1 и D2 соответственно.

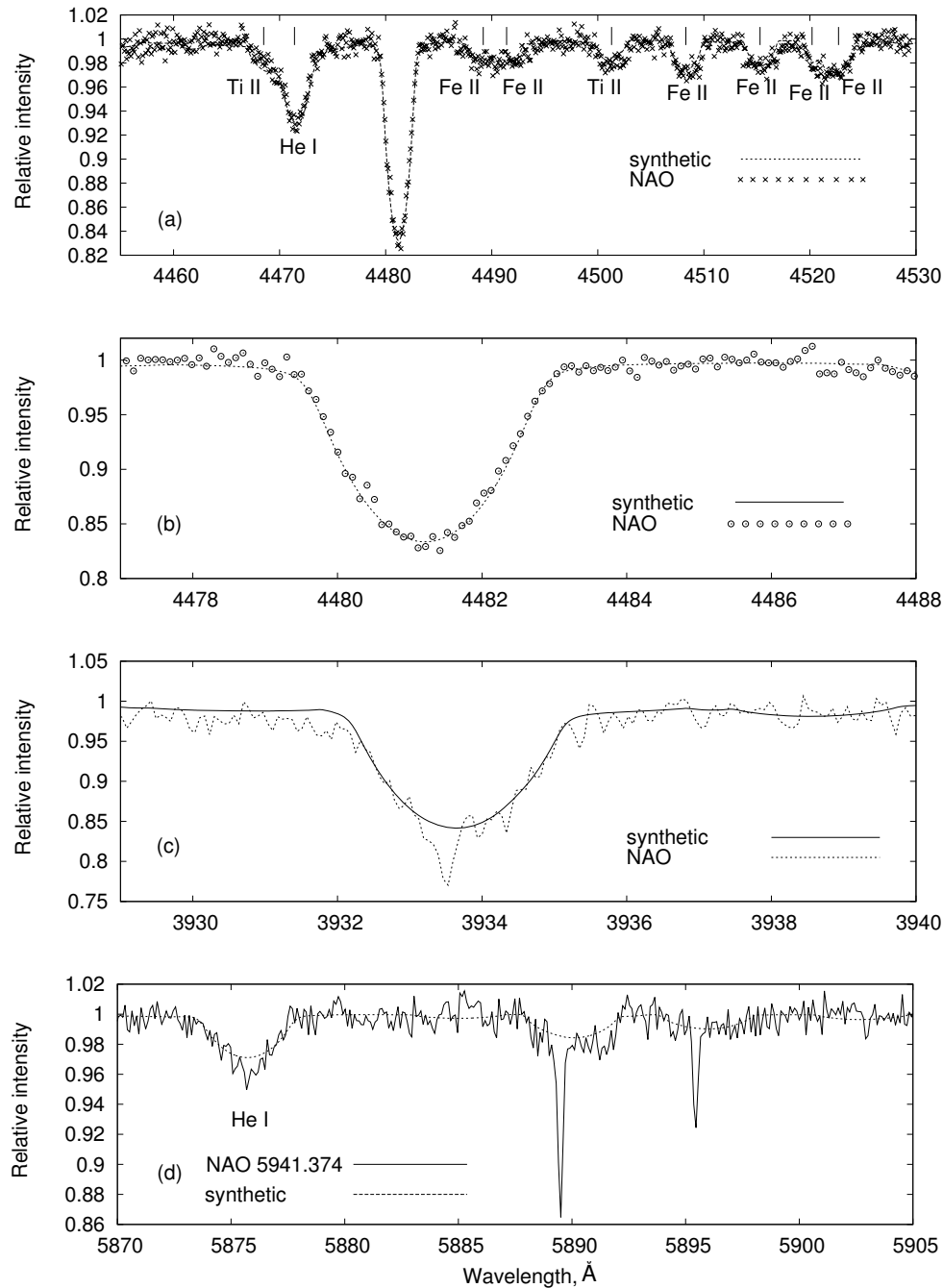


Рис. 3. Спектры HD 45563, $v \sin i = 105$ км/с.

3.4. HD 53744

HD 53744 (HR 2669, HIP 30798, $V = 6.48$, B9 V). Палмер и др. [15] нашли $v \sin i = 350$ км/с по линиям Ca II $\lambda 3933$ Å, а Вольф и Престон [18] дают $v \sin i = 160$ км/с по линии Mg II $\lambda 4481$ Å. В базе данных SIMBAD приведены два значения $v \sin i$, а именно 297 и 250 км/с. Абт [28] приводит величину 250 км/с, Зорец [29] — 288 км/с.

Хоффлейт и Уоррен [25] отмечают возможную переменность лучевой скорости.

Спектры CAO (со спектрографов ОЗСП и НЭС) и НАО приведены в Таблице 5.

Два независимых сетa наблюдений в $wvby\beta$, приведенные в SIMBAD, описываются одинаковыми индексами, из которых следует $T_e = 11\,630 \pm 40$ K, $\log g = 3.56 \pm 0.02$. При такой модели атмосферы и нулевой микротурбулентной скорости величину содержания магния надо уве-

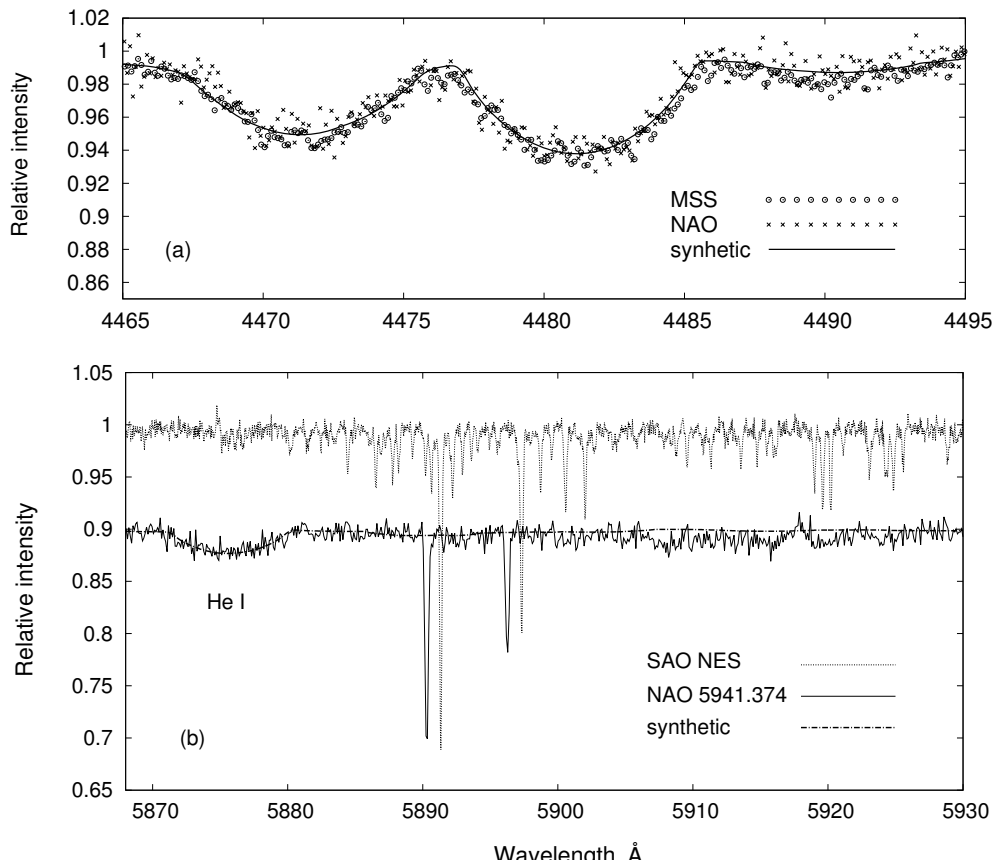


Рис. 4. HD 53744, $v \sin i = 280$ км/с. Для ясности, на панели (b) спектры смещены по относительной интенсивности.

Таблица 5. Список спектров HD 53744

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM (int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
MSS	5282.2736	Mg II λ 4481 Å	400				-19.2 ± 2.1
NAO	5588.4400	Mg II λ 4481 Å	140				-21.6 ± 3.0
NAO	5941.3743	Na I D1	126	56	0.26	10.3 ± 0.1	-7.0 ± 7.6
		Na I D2		32	0.28		
NES	5281.3071	Na I D1	180	56	0.20	43.7 ± 0.1	-26.7 ± 1.4
		Na I D2		33	0.20		

личить в 3.3 раза по сравнению с солнечным, а содержание гелия — в 1.1 раза. В этом случае $v \sin i = 280$ км/с. На Рис. 4а, б приведено сравнение наблюдаемых спектров с вычисленными. Примечательно отсутствие (можно допустить наличие слабых указаний на присутствие) линии He I λ 5875 Å на спектрах НЭС. Глубины и эквивалентные ширины линий D1 и D2 соответствуют более высокому разрешению эшелле-спектров. Остав-

шиеся узкие абсорбции являются теллурическими линиями. Согласно критерию Паунзена и др. [22] отношение $EW(D1)/EW(D2) = 1.7$, таким образом линии имеют межзвёздное происхождение, что не противоречит расстоянию 289 пк, полученному параллаксу, взятому из базы данных VizieR.

Лучевая скорость в спектре NAO HJD 2455941.374 определена по линии He I λ 5875 Å, а лучевая скорость в спектре НЭС —

Таблица 6. Список спектров HD 113797

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW(int),	FWHM(int),	RV(int),	RV(star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
MSS	5281.4931	Mg II λ 4481 Å					-14.2 ± 0.5
NAO	4925.3160	Mg II λ 4481 Å	341				-24.1 ± 0.8
NAO	4999.3602	Mg II λ 4481 Å	362				-18.6 ± 0.5
NAO	5316.3669	Mg II λ 4481 Å	217				-17.5 ± 0.7
NAO	4925.3579	Ca II λ 3933 Å	184	10	0.18	-10.8 ± 0.9	-17.7 ± 1.3
NAO	4999.3148	Ca II λ 3933 Å	252	13	0.18	-9.8 ± 0.8	-17.2 ± 1.6
NAO	5787.2573	Na I D1	234	12	0.26	-8.6 ± 0.3	-21.3 ± 15.5
		Na I D2	234	5	0.24		

по линии H β . Смущает разница между лучевыми скоростями, определенными по линиям D1 и D2 по спектрам НЭС и НАО. Если они имеют одинаковое происхождение и нет оснований предполагать что-нибудь еще, эти лучевые скорости должны соответствовать друг другу в пределах ошибок. Теллурические линии, видимые на спектрах НЭС, находятся в положении, соответствующем $RV = 1.5$ км/с, что согласуется с барицентрической коррекцией, примененной к спектру, — $RV = 1.8$ км/с. Это подтверждает корректность шкалы длин волн.

3.5. HD 113797

HD 113797 (14 CVn, HR 4943, HIP 63901, $V = 5.25$, B9 V), Палмер и др. [15] определили $v \sin i = 0$ км/с по линии Ca II λ 3933 Å, а Вольф и Престон [18] дают $v \sin i = 175$ км/с по линии Mg II λ 4481 Å. Хоффлейт и Уоррен [25] дают $v \sin i = 175$ км/с. В SIMBAD приведены три величины $v \sin i$ от 54 до 152 км/с, лучевые скорости от 22 до 8 км/с и переменность блеска в фильтре V от $5^m 10$ до $5^m 22$.

По двум идентичным сетам $uvby\beta$ -фотометрии, приведенной в SIMBAD, мы определили $T_e = 11200$ К и $\log g = 4.16$. Модель атмосферы с этими параметрами использовалась для вычисления синтетического спектра. Величина микротурбулентной скорости была взята равной 0, а химический состав слегка скорректирован следующим образом: гелий — 1.1, натрий — 3, магний — 2.2, кальций — 0.6, титан и железо — 1.2 солнечного содержания. Это хорошо подтверждается на Рис. 5а, где показано сравнение спектра, полученного на ОЗСП, с теоретическим. Прекрасное согласие наблюдаемого спектра с

проекцией лучевой скорости $v \sin i = 140$ км/с приведено на Рис. 5б, где в увеличенном масштабе приведен участок спектра НАО в районе линии Mg II. Слабая узкая абсорбция четко видна справа от центра широкой линии Ca II на Рис. 5с, так же как и узкие линии D1, D2 на Рис. 5д.

Наши определения эквивалентной ширины линий Ca II и D1, D2 приведены в Таблице 6 и показывают межзвездное происхождение этих линий, так как $EW(D1)/EW(D2) = 2.4$ и $EW(Ca II)/EW(D1D2) = 0.7$, что согласуется с данными Уэлша и др. [16]: $EW(D1) = 13$ mÅ, $EW(D2) = 7$ mÅ, $EW(Ca II) = 14$ mÅ. Эти данные указывают на расстояние до звезды 87 пк, в то время как по параллаксу, взятому из SIMBAD, расстояние равно 105 пк. Близкие величины лучевых скоростей узких компонент также указывают на их общее межзвездное происхождение.

3.6. HD 114376

HD 114376 (15 CVn, HR 4967, ADS 8805 BC, HIP 64217, $V = 6.28$, B7 III). Палмер и др. [15] определили $v \sin i = 0$ км/с по линиям Ca II λ 3933 Å, а Вольф и Престон [18] дают $v \sin i = 125$ км/с по линии Mg II λ 4481 Å. В SIMBAD $v \sin i = 115$ км/с, а Хоффлейт и Варрен [25] дают $v \sin i = 125$ км/с. HD 114376 является кратной системой с визуальным компонентом HR 4971, который находится на расстоянии $284''4$, однако не участвует в общем собственном движении. Хоффлейт и Уоррен [25] отмечают “Двойная?, компонент С 11.2 на расстоянии $1''$ ” и приводят список четырех определений лучевой скорости от -8.0 до $+1.0$ км/с.

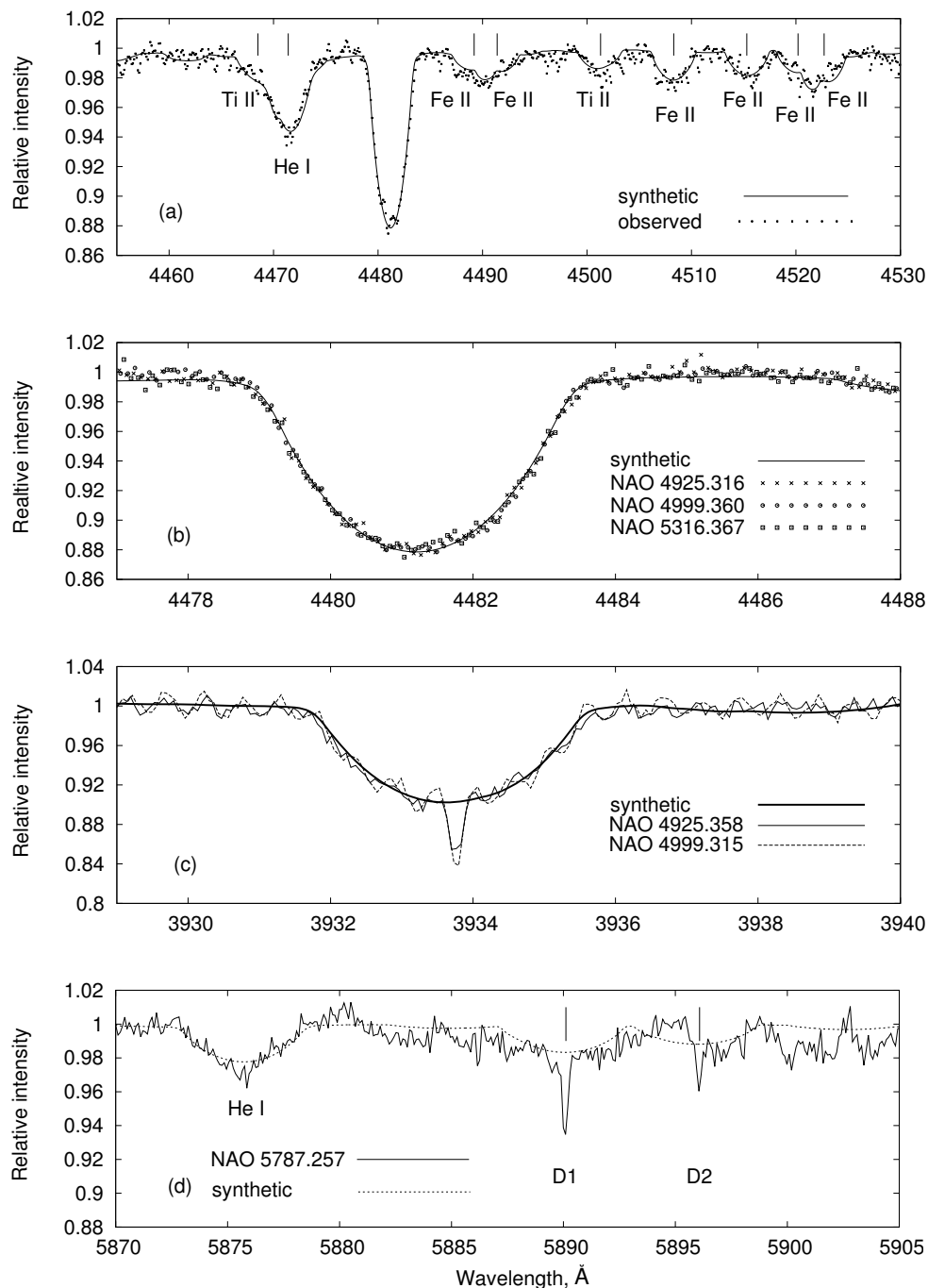


Рис. 5. Спектры HD 113797, $v \sin i = 140$ км/с.

Пять сетов стремгеновской фотометрии, опубликованных в SIMBAD и VizieR, показывают различающиеся величины $\log g$. В SIMBAD присутствуют три сета $uvby\beta$ -фотометрии. Хотя эффективные температуры находятся в пределах от 14030 К до 14230 К, оставаясь в хорошем согласии, ускорения силы тяжести принимают значения $\log g = 3.53$ и 3.54 (VizieR) и 3.77 , 3.79 и 4.03 . Средние величины $T_e = 14100 \pm 60$ К,

$\log g = 3.73 \pm 0.02$. В Таблице 7 мы приводим список наблюдаемых и измеряемых величин. Наилучшее совпадение теоретических и наблюдаемых спектров достигается при $v \sin i = 120$ км/с.

Спектр показывает несколько заметных особенностей. Одна касается профиля линии He I $\lambda 4471$ Å. В линии имеется дополнительная абсорбция в фиолетовой половине профиля, которая не может быть удовлетворительно описана синтети-

Таблица 7. Список спектров HD 114376

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM (int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
MSS	5281.4812	Mg II λ 4481 Å					-3.1 ± 1.7
NAO	4926.4194	Mg II λ 4481 Å	262				-9.5 ± 0.3
NAO	4998.3591	Mg II λ 4481 Å	266				-9.0 ± 0.3
NAO	5262.4973	Mg II λ 4481 Å	136				-15.4 ± 0.5
NAO	4926.3793	Ca II λ 3933 Å(1)	144	19	0.26	-33.2 ± 3.0	-9.5 ± 2.0
NAO		Ca II λ 3933 Å(2)		5	0.26	-8.7 ± 3.0	
NAO	4998.3206	Ca II λ 3933 Å	127	18	0.20	-33.8 ± 2.0	-9.2 ± 2.0
NAO		Ca II λ 3933 Å		5	0.20	-10.4 ± 2.0	
NAO	5787.2690	Na I D1/D2 (1)	184	23/11	0.21/0.20	-35.4 ± 0.3	-14.5 ± 3.5
NAO		Na I D1/D2 (2)		25/12	0.23/0.21	-5.3 ± 0.3	

ческим спектром. Эта особенность хорошо видна как на спектре ОЗСП, так и на трех спектрах НАО (Рис. 6а и 6б соответственно).

Существенным для HD 114376 является появление двух четко разделенных узких абсорбций, или двух систем (в Таблице 7, колонка 3, обозначены как (1) и (2) у линий D1 и D2). Двойная узкая абсорбция, хотя и слегка блендерованная, видна также и в линии Ca II λ 3933 Å. Разделение между двумя системами D1 и D2 составляет 30 км/с, оцененное разделение между двумя системами Ca II — примерно 24 км/с. Лучевые скорости узких линий определялись кросс-корреляционным методом. Для линий Na D был использован синтетический спектр, неуширенный вращением. Для линии Ca II использовался простой треугольный профиль с FWHM = 0.2 Å для фиолетовой компоненты и FWHM = 0.4 Å для красной компоненты.

Согласно отношению $EW(D1/D2) = 2.1$, обе системы линий D1, D2 имеют межзвездное происхождение. Согласно второму критерию $EW(Ca)/EW(D1+D2)$, обе системы также имеют межзвездное происхождение при соответствующих соотношениях 0.54 и 0.14. Таким образом, мы наблюдаем два межзвездных облака в направлении на HD 114376.

HD 114376 находится на расстоянии 350 пк. В списке Уэлш и др. [16] не приводятся близкие звезды на сравнимых расстояниях.

3.7. HD 136849

HD 136849 (50 Boo, HR 5718, HIP 75178, $V = 5.37$, B9 Vn), Палмер и др. [15] определили

$v \sin i = 180$ км/с по линии Ca II λ 3933 Å, а Вольф и Престон [18] приводят $v \sin i = 350$ км/с по линии Mg II λ 4481 Å. Хоффлейт и Уоррен [25] дают $v \sin i = 260$ км/с. Звезда спектрально-двойная. Адамс [30] обнаружил переменность лучевой скорости этой звезды по трем призменным спектрам, полученным на Маунт Вилсон. Фрост и др. [31] приводят пять величин лучевой скорости, измеренных по призменным спектрам Йеркской обсерватории, и комментируют: “линии определено двойные” с расщеплением линий, соответствующим величинам -83.1 и $+88.0$ км/с. Макалистер и др. [32] внесли эту двойную в список звезд, для которых методами спекл-интерферометрии получен отрицательный результат.

Из $uvby\beta$ -фотометрии, взятой из SIMBAD, мы определили $T_e = 10\,970$ К и $\log g = 4.25$. При микротурбулентной скорости, равной нулю, и содержании магния и кальция 2.5 и 0.5 солнечного соответственно, мы получили наилучшее согласие для линии Mg II λ 4481 Å в спектрах ELODIE и НАО, а также для линии Ca II λ 3933 Å в спектрах НАО при величине $v \sin i = 220$ км/с. Это хорошо видно на Рис. 7а, б.

Слабая и узкая особенность с FWHM от 0.10 до 0.22 Å около центра линии Ca II λ 3933 Å видна на всех спектрах НАО, где имеется область с линией кальция. Ее эквивалентная ширина имеет величину от 4 до 6 mÅ. HD 136849 удалена на расстояние 80 пк. Ближайшая к ней звезда HD 138749 находится на расстоянии 95 пк и имеет $EW(Ca) = 7$ mÅ, измеренную Уэлшем и др. [16].

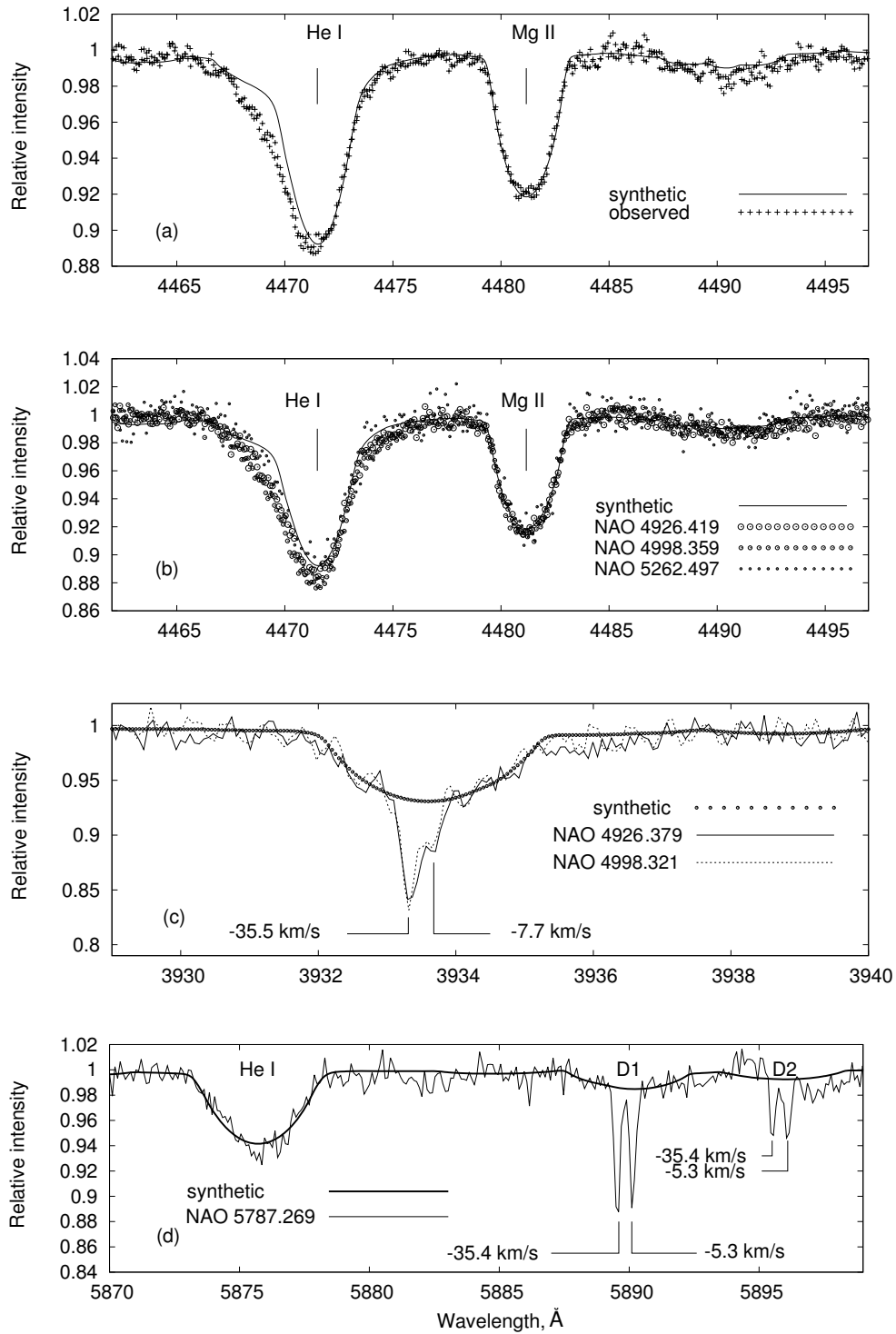


Рис. 6. Спектры HD 114376, $v \sin i = 120$ км/с. На панелях (c) и (d) видны две системы межзвездных линий.

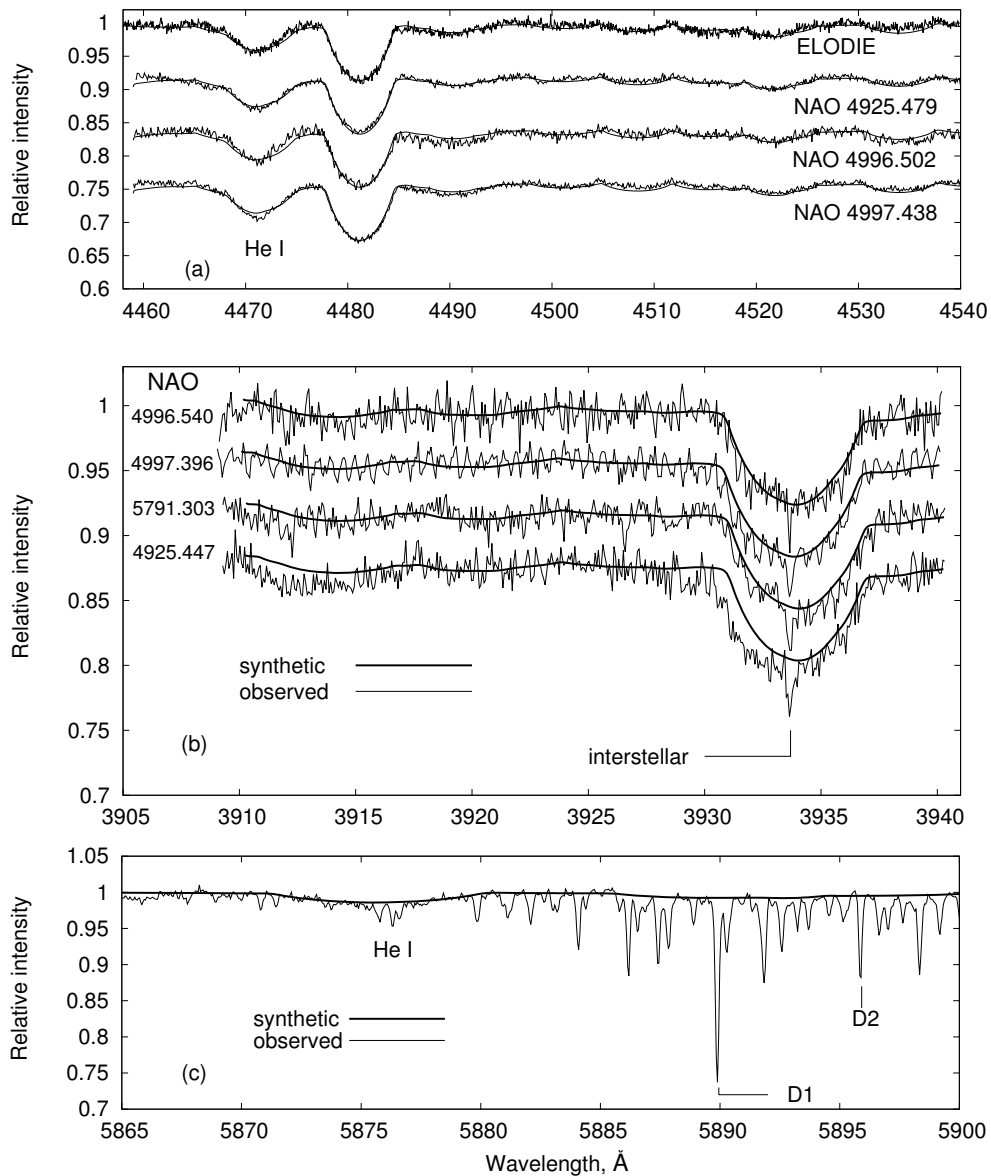


Рис. 7. Спектры HD 136849, $v \sin i = 220$ км/с. Наблюдаемые, как и соответствующие смоделированные спектры, на которых присутствует область Ca II, совмещены с узкими (межзвёздными) особенностями.

Найденные величины указывают на межзвёздное происхождение, тем не менее лучевые скорости это не подтверждают, так как их величины меняются от -6.6 до -22.2 км/с.

Величины лучевой скорости звезды приведены в последней колонке Таблицы 8. Значения, полученные по спектру ELODIE, определены по участку $\lambda\lambda 4440\text{--}4550$ Å — в той же области, которая перекрывается спектрами НАО для линии Mg II. В качестве шаблона использовался теоретический спектр.

Разногласия также существуют и между интенсивностью линии Mg II $\lambda 4481$ Å и интенсивно-

стями более слабых линий Mg II $\lambda\lambda 4390, 4434, 4436.5, 4534.3, 4740$ и 5264 Å, которые имеют более высокий потенциал возбуждения и для которых надо уменьшить содержание до 0.4 по сравнению с солнечным для лучшего согласия.

Примечательной является протяженная абсорбция в синей части профиля линии Ca II в спектре НАО, полученном в HJD 2454925.447, что может указывать, как отмечено в предыдущем параграфе, на сложный спектр спектрально-двойной. Спектр НАО HJD 2454925.479, полученный в ту же дату, не показывает признаков

Таблица 8. Список спектров HD 136849

Спектрограф	HJD 2450000+	Область	S/N	EW (int), mÅ	FWHM(int), Å	RV (int), км/с	RV (star), км/с
ELODIE	3149.4238	4200–6800 Å	299				+0.8 ± 0.2
		Na I D1, D2		58/20	0.19/0.14	-12.8 ± 0.1	
NAO	4925.4787	Mg II λ 4481 Å	278				-19.3 ± 1.1
NAO	4996.5018	Mg II λ 4481 Å	172				-4.3 ± 1.4
NAO	4997.4378	Mg II λ 4481 Å	340				-4.3 ± 1.0
NAO	4925.4472	Ca II λ 3933 Å	115	5	0.18	-19.7 ± 0.9	-26.5 ± 1.8
NAO	4996.5396	Ca II λ 3933 Å	86	4	0.10	-12.4 ± 1.5	-4.9 ± 2.6
NAO	4997.3956	Ca II λ 3933 Å	174	5	0.24	-6.7 ± 1.3	-8.2 ± 2.1
NAO	5791.3025	Ca II λ 3933 Å	126	6	0.22	-22.2 ± 0.9	-1.4 ± 2.3

подобного уширения профиля линии Mg II, что демонстрируется на Рис. 7а.

Происхождение узкой линии Ca II 3933 и линий D1, D2 межзвёздное, так как

$$EW(D1)/EW(D2) = 58/20 = 2.9,$$

$$EW(Ca)/EW(D1+D2) = 5/78 = 0.06.$$

3.8. HD 138527

HD 138527 (12τ² Ser, HR 5770, HIP 76069, V = 6.22, B9 V), Палмер и др. [15] определили $v \sin i = 0$ км/с по линии Ca II λ 3933 Å, а Вольф и Престон [18] дают $v \sin i = 175$ км/с по линии Mg II λ 4481 Å. Хоффлейт и Уоррен [25] нашли переменную лучевую скорость $RV = -18$ км/с, а Стикланд и Вехерби [33] приводят две величины: -18.1 и -26.5 км/с. Макалистер и др. [32] внесли эту двойную в список звезд, для которых методами спекл-интерферометрии получен отрицательный результат.

Три сета $uvby\beta$ -фотометрии позволили найти средние величины $T_e = 11\,200$ К и $\log g = 4.08$. Для построения модели атмосферы с этими параметрами мы должны, во-первых, уменьшить содержания гелия, магния, титана и железа, т.е. тех элементов, которые находятся в области линии Mg II λ 4481 Å, до 0.9, 0.55, 0.4 и 0.3 солнечного содержания соответственно. Это напоминает особенности, характерные для звезд типа λ Boo. Однако относительно высокая эффективная температура и рассеяние результатов измерений лучевых скоростей свидетельствуют скорее о двойной природе звезды. В этом случае свет от спутника

двойной приведет к уменьшению интенсивностей спектральных линий без уменьшения содержаний, необходимых для описания наблюдаемого спектра. Мы вычислили синтетический спектр с нормальными содержаниями и понизили его на фактор 0.85, предполагая таким образом, что вклад спутника составляет 15% от общего блеска двойной. В результате мы получили прекрасное согласие с наблюдаемым спектром. Это показано на Рис. 8а, где пониженный синтетический спектр обозначен как “synthetic 2.” Наилучшее согласие достигается при $v \sin i = 135$ км/с. Часть спектра в области линии Mg II λ 4481 Å, полученная на НЭС, показана на Рис. 8б. При нормальном содержании магния и при $v \sin i = 135$ км/с уменьшение глубины линий составляет 0.8. На Рис. 8с показана область около линии Ca II λ 3933 Å. То же значение $v \sin i$ и содержание кальция, уменьшенное до 0.4, приводит к наилучшему согласию, когда спектр понижен на фактор 0.85. Надо помнить, однако, что наряду с уменьшением величины содержания должен понизиться и фактор, уменьшающий светимость первичного компонента (это означает увеличение доли “главного компонента” в общем блеске двойной). Отношение блеска компонентов двойной должно быть зафиксировано другими индикаторами, например, такими как линии различных химических элементов в случае, показанном на Рис. 8а. Характерными являются слабые узкие особенности, близкие к центру широкой линии Ca II λ 3933 Å. На Рис. 8д показана область линий Na D1, D2. В данном случае вычисленный спектр плохо описывает наблюдаемый. Несмотря на то, что принятая величина $v \sin i$ приемлема, звездные линии D1, D2 описываются, безусловно, неудовлетворитель-

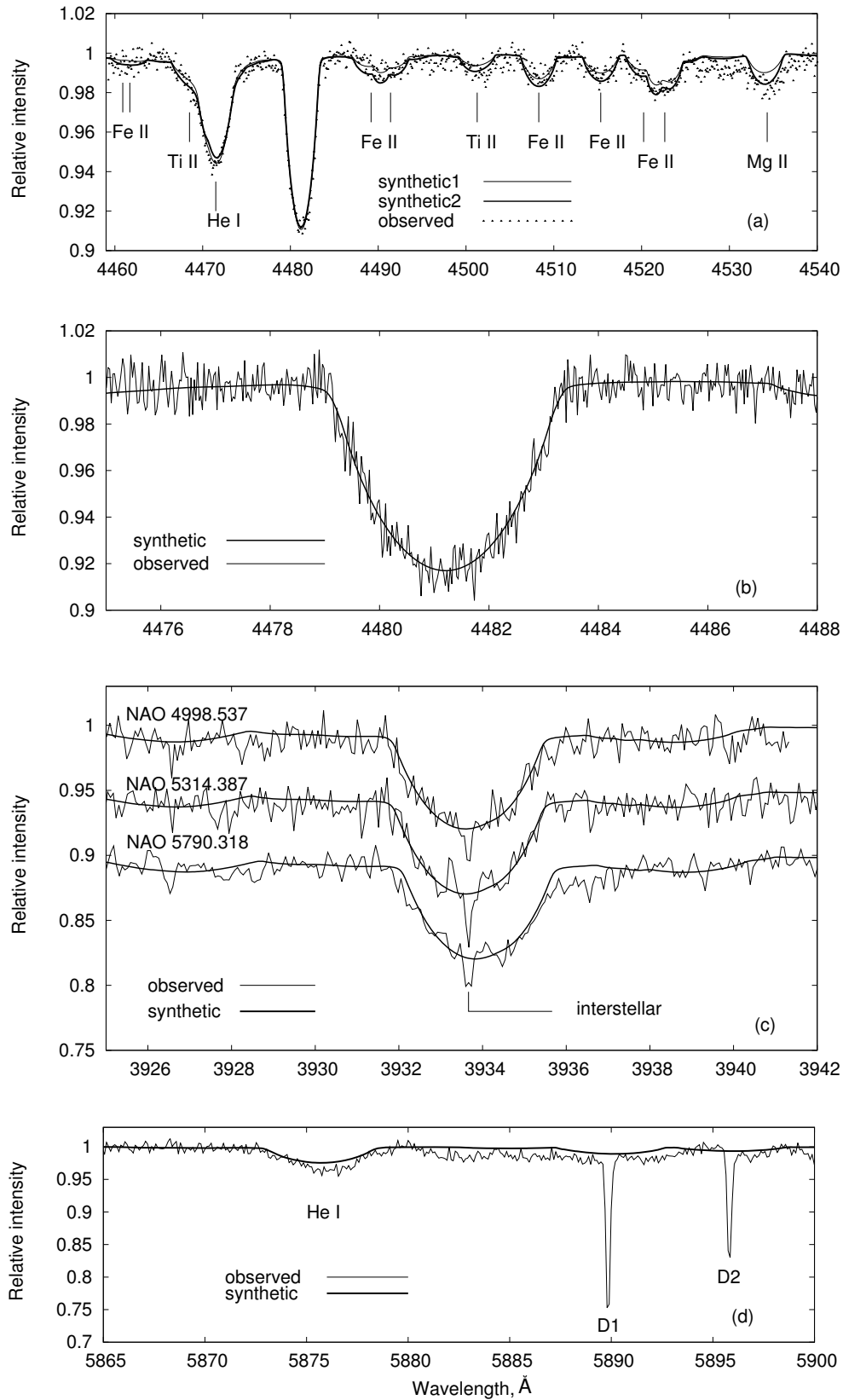


Рис. 8. Спектры HD 138527, $v \sin i = 135$ км/с. На панели (a) “synthetic1” показывает спектр с пониженным содержанием, “synthetic2” показывает спектр с нормальным содержанием но с пониженной в 0.85 раз относительной интенсивностью. На панели (b) наблюдаемые спектры совмещены с лучевыми скоростями узких абсорбций.

Таблица 9. Список спектров HD 138527

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM(int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
NES	4964.3010	Mg II λ 4481 Å	160				-17.6 ± 0.6
NAO	4998.3980	Mg II λ 4481 Å	217				-18.0 ± 0.7
NAO	5314.3419	Mg II λ 4481 Å	141				-23.4 ± 1.2
NAO	4998.4372	Ca II λ 3933 Å	110	4	0.14	-22.5 ± 1.0	-23.4 ± 1.7
NAO	5314.3871	Ca II λ 3933 Å	59	5	0.14	-17.6 ± 0.7	-17.9 ± 2.0
NAO	5790.3176	Ca II λ 3933 Å	60	6	0.18	-23.1 ± 0.8	-6.3 ± 2.8
NAO	5787.2832	Na I D1	233	57	0.21	-20.6 ± 0.1	-15.2 ± 6.5
		Na I D2		39			

Таблица 10. Список спектров HD 188485.

Спектрограф	HJD	Область	S/N	EW (int),	FWHM(int),	RV (int),	RV (star),
	2450000+			mÅ	Å	км/с	км/с
NAO	5407.3641	Mg II λ 4481 Å	180				-7.7 ± 0.6
NAO	5407.3895	Ca II λ 3933 Å	98	10	0.14	-25 ± 2.0	-13.5 ± 1.1
NES	5109.3345	Na I λ 5890 Å	150	34	0.16	-1.6 ± 0.5	-2.6 ± 17
				10			

но, так же как и наблюдаемый профиль линии He I λ 5875 Å, который глубже и асимметричен. Эти наблюдения могут указывать на присутствие вторичного компонента в этом спектре.

Отношения

$$EW(D1)/EW(D2) = 1.5,$$

$$EW(Ca)/EW(D1+D2) = 1$$

указывают на межзвёздное происхождение натрия и узких линий кальция. Уэлш и др. [16] измерили $EW(Ca) = 8 \text{ mÅ}$, что согласуется с нашими измерениями.

3.9. HD 188485

HD 188485 (HR 7601, HIP 97961, $V = 5.52$, A0 III). Палмер и др. [15] по линии Ca II λ 3933 Å определили $v \sin i = 95 \text{ км/с}$, а Вольф и Престон [18] нашли $v \sin i = 150 \text{ км/с}$ по линии Mg II λ 4481 Å. Хоффлейт и Уоррен [25] отмечают переменность лучевой скорости, а в SIMBAD

приведены семь величин в пределах от -11.0 до -2.0 км/с .

Используя три набора $uvby\beta$ -индексов, приведенных в SIMBAD, мы определили $T_e = 10\,580 \text{ K}$, $\log g = 4.03$. В работе Ву и др. [34] были определены $T_e = 10\,124 \pm 186 \text{ K}$, $\log g = 3.93 \pm 0.08$. С нулевой микротурбулентностью линии гелия находятся в дефиците, 0.6 солнечного содержания, содержание магния должно быть увеличено в 3 раза для достижения наилучшего согласия с линией Mg II λ 4481 Å, линии железа лучше описываются при увеличении содержания в 1.5 раза. Сравнение наблюдаемого спектра НАО с синтетическим в области линии Mg II приведено на Рис. 9а. В области кальция содержания магния, кремния и кальция должны быть уменьшены до 0.8, 0.3 и 0.9 относительно солнечного соответственно. Близкие окрестности линии Ca II λ 3933 Å показаны на Рис. 9б, где помимо профиля кальциевой линии с $v \sin i = 115 \text{ км/с}$ около центра звездной линии видны слабые узкие особенности.

В области линий Na I D1, D2 натрий должен быть уменьшен по крайней мере до 0.2 солнечного содержания. Спектр НЭС в этой области

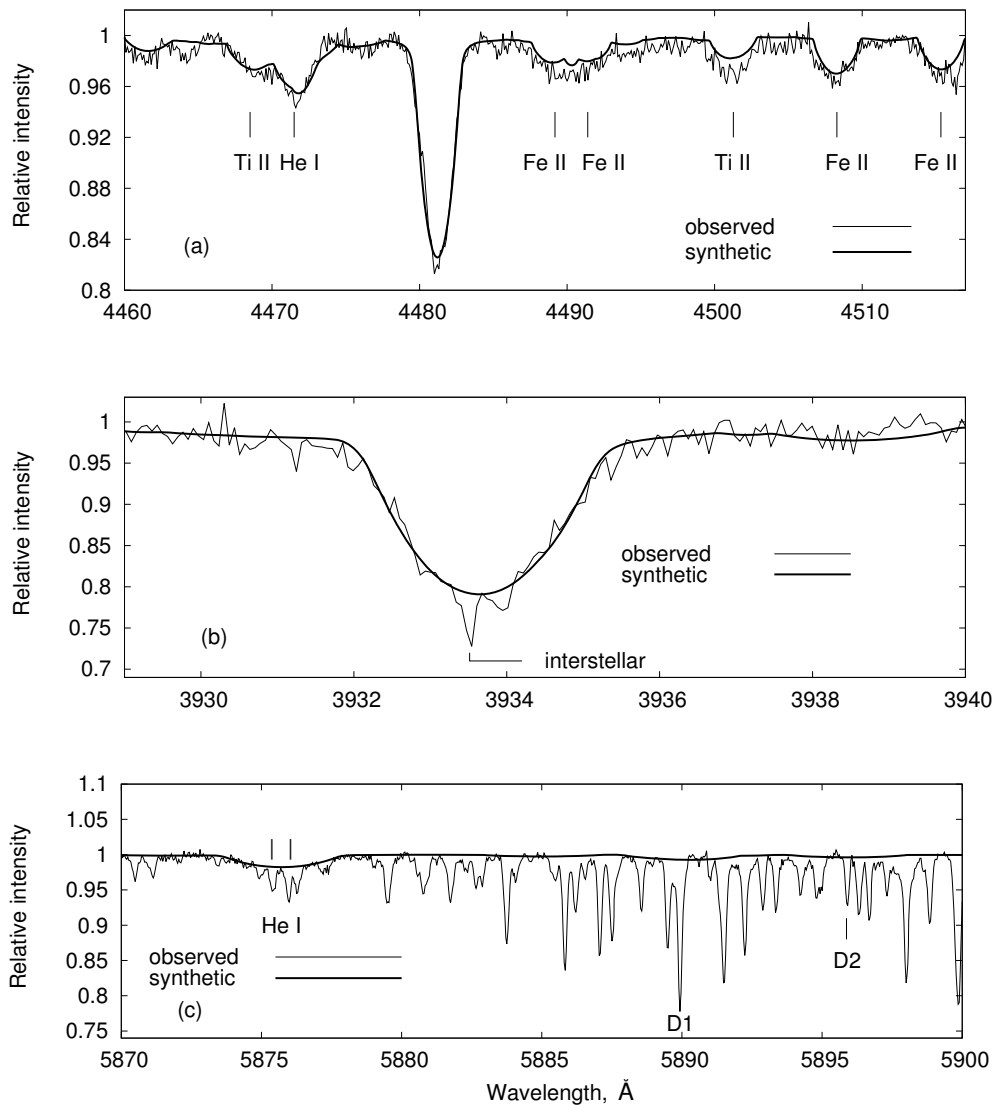


Рис. 9. Спектры HD 188485, $v \sin i = 115$ км/с. Вертикальные черты на панели (с) показывают максимальный сдвиг по длине волны для формальной погрешности радиальной скорости, ± 17 км/с.

загрязнен теллурическими линиями, но это не мешает надежной идентификации узких межзвёздных линий D1 и D2. На их ожидаемом месте видна некая депрессия, но скорее всего это результат блендирования теллурическими линиями.

Согласно критерию $EW(D1)/EW(D2) = 3.4$, а также $EW(Ca)/EW(D1+D2) = 0.23$ линии имеют межзвёздное происхождение. Звезда удалена на 144 пк, $EW(Ca) = 10$ мÅ. Уэлш и др. [16] для близкой по угловому расстоянию звезды HD 187811, удаленной на 190 пк, дают $EW(Ca) = 14$ мÅ. Однако, разница в лучевых скоростях, определенных по узкой линии кальция и по дублету D1, D2, гигантская.

Найденные величины лучевой скорости звезды приведена в последней колонке Таблицы 10, она находится в согласии с данными, взятыми из SIMBAD. Большая формальная ошибка, определенная по спектру НЭС в области Na I, является следствием загрязнения спектра теллурическими линиями, а реальная ошибка может быть меньше. На Рис. 9 видно отличное согласие синтетического профиля линии He I $\lambda 5875$ Å с наблюдаемым при использовании величины $RV = -2.6$ км/с, в то время как сдвиг, близкий к 17 км/с, отмеченный вертикальными барами, согласуется плохо.

Таблица 11. Основные результаты

HD	$v \sin i$, км/с	Расстояние, пк	l , град.	b , град.	Спектр	D1/D2	Ca/(D1+D2)	Происхождение	
25152	127	120	160	-12	NAO Ca		0.15	межзвёздное	
					NAO Na	1.1		околозвёздное	
44783	125/280	348	282	-2	NAO Na	1.9		Ве-звезда	
					ELODIE	2.4		межзв.+околозв.?	
					NES Na	1.9		межзвёздное	
45563	105	160	208	-4	NAO Ca		0.56	межзвёздное	
					NAO Na	1.8		межзвёздное	
53744	250	290	189	+16	NAO Ca		0.22	межзвёздное	
					NAO Na	1.7		межзвёздное	
					NES Na	1.7		межзвёздное	
113797	140	105	104	+80	NAO Ca		0.68	межзвёздное	
					NAO Na	2.4		межзвёздное	
114376	120	350	105	+78	NAO Ca (1)		0.56	межзвёздное	
					NAO Ca (2)			0.22	межзвёздное
					NAO Na (1)	2.1		межзвёздное	
					NAO Na (2)	2.1		межзвёздное	
136849	220	80	52	+57	NAO Ca		0.06	межзвёздное	
					ELODIE	2.9		межзвёздное	
138527	135	140	24	+51	NAO Ca		0.05	межзвёздное	
					NAO Na	1.5		межзвёздное	
188485	115	144	62	-2	NAO Ca		0.23	межзвёздное	
					NAO Na	3.4		межзвёздное	

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы исследовали спектры девяти звезд, для которых опубликованные проекции скоростей вращения, определенные по линии Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$, оказались заметно меньшими, чем найденные по линии Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$. Список звезд сформирован благодаря удачному совпадению с задачами другого проекта и не представляет из себя никакой физической, кинематической или динамической группы. Разница между рассматриваемыми ширинами линий слишком большая, чтобы быть следствием какого-то недостатка в наблюдениях или обработке данных. При анализе спектров были найдены узкие абсорбции не только в области линии Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$, но также и в области

дублета Na I D1, D2 на $\lambda 5890 \text{ \AA}$. Мы просуммировали основные результаты в Таблице 11, где критерии для межзвёздного/околозвёздного происхождения, т.е. отношения эквивалентных ширин D1 к D2 и Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ к D1+D2, приведены в колонках 7 и 8 соответственно. За исключением двух звезд, HD 25152 и HD 44783, в спектрах остальных семи узкие абсорбционные особенности в линиях Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ и Na I $\lambda 5890 \text{ \AA}$ без сомнения имеют межзвёздное происхождение. Отношение $EW(\text{Ca})/EW(\text{D1+D2})$ (колонка 8) для этих семи звезд меньше или значительно меньше единицы, что подтверждает межзвёздное происхождение этих линий. Отношение $EW(\text{D1})/EW(\text{D2})$ (колонка 7) больше единицы, что исключает су-

ществование околозвездного диска для них. У HD 138527 это отношение равно 1.5, что хотя и остается существенно больше единицы, но на эту величину может оказывать влияние возможный вторичный компаньон двойной, что детально обсуждалось в Разделе 3.8. HD 44783 является Ве-звездой с околозвездной оболочкой. Даже несмотря на то, что отношение $EW(D1)/EW(D2)$ для этой звезды больше 2, профили линий D1, D2 предполагают наличие околозвездной компоненты, Раздел 3.2. В случае HD 25152 применение указанных двух критериев приводит к различным результатам. В то время как отношение $EW(Ca)/EW(D1+D2) = 0.15$ без сомнений указывает на межзвездное происхождение, согласно отношению $EW(D1)/EW(D2) = 1.1$ эти линии сформировались целиком в околозвездном окружении. Как обсуждалось в Разделе 3.1 эта звезда является членом звездного комплекса, что может проявиться в ее спектре.

Колонки 3, 4, 5 в Таблице 11 показывают, что межзвездные линии могут присутствовать не только в спектрах удаленных звезд, находящихся на низких галактических широтах, но также и в близких ярких звездах на расстояниях до 100 пк даже на высоких галактических широтах, например, у HD 113797, HD 136849 или HD 138527.

В целом большинство звезд нашей выборки имеют обычный химический состав. Коррекция содержания в 3–0.3 раза была проведена для достижения наилучшего согласия наблюдаемых и теоретических спектров, она не превышает обычное рассеяние.

В колонке 2 Таблицы 11 приведены величины проекции лучевой скорости, найденные в настоящей работе.

ПРИМЕЧАНИЕ ПРИ КОРРЕКТУРЕ

Новые спектры НАО звезды HD 53744 в областях линий Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ и Na I D1, D2 подтверждают межзвездное происхождение узких компонент, поскольку $EW(D1)/EW(D2) = 1.8$ и $EW(Ca)/EW(D1+D2) = 0.6$. Лучевые скорости межзвездных компонент Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ в даты HJD 2456292.5649 и HJD 2456294.5258 составляют $+8.1 \pm 0.3 \text{ km/s}$ и $+7.8 \pm 0.2 \text{ km/s}$ соответственно. Для межзвездных компонент линий D1 и D2 в даты HJD 2456292.5356 и HJD 2456294.4972 скорости равны $+12.9 \pm 0.1 \text{ km/s}$ и $12.3 \pm 0.1 \text{ km/s}$. Лучевые скорости звезды, полученные по широкой линии Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$, составляют $-5.6 \pm 4.5 \text{ km/s}$ и $-7.8 \pm 9.5 \text{ km/s}$ для HJD 2456292.5649 и HJD 2456294.5258 соответственно.

БЛАГОДАРНОСТИ

При проведении этого исследования использовались база данных SIMBAD (CDS, Страсбург, Франция) и база атомных данных VALD, (Венский университет, Австрия). Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантов Болгарского Национального Научного Фонда (DO 02-85, DO 02-362), гранта Института астрономии для поддержки наблюдений (ИИ, ИС, ИБ), а также гранта Российского Фонда Фундаментальных Исследований (12-02-0009) программы Президиума РАН “Эволюция звезд и галактик” (ИР, ДК, ЕС). ЮЗ благодарит Р. Комзика за поддержку программного обеспечения и Институт астрономии Словацкой академии наук за предоставление компьютерного и инструментального оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Zverko, J. Žižňovský, I. Iliev, et al., *Astrophysical Bulletin* **66**, 325 (2011).
2. J. Zverko, I. Iliev, I. Romanyuk, et al., *Astrophysical Bulletin* **67**, 57 (2012).
3. V. Panchuk, V. Klochkova, M. Yushkin, and I. Najdenov, *Journ. Opt. Technology* **76**, 87 (2009).
4. D. O. Kudryavtsev, *Baltic Astronomy* **9**, 649 (2000).
5. N. E. Piskunov and J. A. Valenti, *Astronom. and Astrophys.* **385**, 1095 (2002).
6. I. Hubeny, T. Lanz, and C. S. Jeffery, *Newsletter on Analysis of Astronomical Spectra* **20** (1994).
7. J. Krtička, PhD Thesis (Masaryk University, Brno, 1998).
8. F. Castelli and R. L. Kurucz, *ASP Conf. Ser.* **288**, A20 (2003).
9. N. E. Piskunov, F. Kupka, T. A. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **112**, 525 (1995).
10. T. A. Ryabchikova, N. E. Piskunov, F. Kupka, and W. W. Weiss, *Baltic Astronomy* **6**, 244 (1997).
11. F. Kupka, N. E. Piskunov, T. A. Ryabchikova, et al., *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **138**, 119 (1999).
12. F. Kupka, T. A. Ryabchikova, N. E. Piskunov, et al., *Baltic Astronomy* **9**, 590 (2000).
13. T. Moon and M. M. Dworetsky, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **217**, 782 (1985).
14. B. Smalley and M. M. Dworetsky, *Astronom. and Astrophys.* **293**, 446 (1995).
15. D. R. Palmer, E. N. Walker, D. H. P. Jones, and R. E. Wallis, *R. Obs. Bull.* **135**, 385 (1968).
16. B. Y. Welsh, R. Lallement, J.-L. Vergely, and S. Raimond, *Astronom. and Astrophys.* **510**, A54 (2010).
17. J. Zverko, J. Žižňovský, Z. Mikulášek, and I. Kh. Iliev, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso* **37**, 49 (2007).
18. S. C. Wolff and G. W. Preston, *Astrophys. J. Suppl.* **37**, 371 (1978).
19. M. M. Dworetsky, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **28**, 101 (1974).

20. D. P. Hube, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **72**, 233 (1970).
21. A. N. Belikov, N. V. Kharchenko, A. E. Piskunov, et al., *Astronom. and Astrophys.* **384**, 145 (2002).
22. E. Paunzen, U. Heiter, I. Kh. Iliev, et al., *Recent Res. Devel. Astronom. and Astrophys.* **1**, 1, (2003).
23. S. Isobe, G. Sasaki, and Y. Norimoto, *Publ. Astronom. Soc. Japan* **38**, 511 (1986).
24. C. Heiles, *Astronom. J.* **119**, 923 (2000).
25. D. Hoffleit and J. H. Warren, Jr., *The Bright Star Catalogue*, 5th ed. (Astron. Data Center, NSSDC/ADC, 1991).
26. Y. Frémat, C. Neiner, A.-M. Hubert, et al., *Astronom. and Astrophys.* **451**, 1053 (2006).
27. F. Royer, J. Zorec, and A. E. Gomez, *Astronom. and Astrophys.* **463**, 671 (2007).
28. H. A. Abt, H. Levato, and M. Grosso, *Astrophys. J.* **573**, 359 (2002).
29. J. Zorec and F. Royer, *Astronom. and Astrophys.* **537**, A120 (2012).
30. W. S. Adams, *Astrophys. J.* **35**, 163 (1912).
31. E. B. Frost, S. B. Barret, and O. Struve, *Astrophys. J.* **126**, 64 (1926).
32. H. McAlister, W.I. Hartkopf, and D.I. Hutter, *Astronom. J.* **93**, 183 (1987).
33. D. J. Stickland and J. Weatherby, *Astronom. and Astrophys. Suppl. Ser.* **57**, 55 (1984).
34. Y. Wu, H. P. Singh, P. Prugniel, et al., *Astronom. and Astrophys.* **525**, 71 (2011).

Stars with Discrepant $v \sin i$ as Derived from the Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ and Mg II $\lambda 4481 \text{ \AA}$ Lines. III. The Stars with $v \sin i (\lambda 3933 \text{ \AA}) < v \sin i (\lambda 4481 \text{ \AA})$

J. Zverko, I. Iliev, I. Romanyuk, I. Barzova, D. Kudryavtsev, I. Stateva, E. Semenko

The axial rotation of a star plays an important role in its evolution, physical conditions in its atmosphere and the appearance of its spectrum. We analyzed the CCD spectra of nine stars for which the projected rotational velocity derived from the Ca II line at $\lambda 3933 \text{ \AA}$ was remarkably lower than the one derived from the Mg II line at $\lambda 4481 \text{ \AA}$. We derived the effective temperatures and surface gravities using the published $uvby\beta$ photometries, and computed the synthetic spectra. Comparing the observed line profiles of the two lines with the computed ones, we estimated the values of $v \sin i$. One of the stars, HD 44783, is a Be-star which, besides the narrow absorptions in the spectrum originating in its circumstellar envelope, also has lines of interstellar origin. We also found indications of circumstellar matter in the spectrum of HD 25152. In the spectra of the remaining seven stars the narrow components in the Ca II $\lambda 3933 \text{ \AA}$ line as well as narrow absorptions in the Na I $\lambda 5889.951 \text{ \AA}$ (D1) and HD 114376 there are two systems of interstellar components, thus disclosing two different interstellar clouds in the direction of the star. In the spectrum of HD 138527 signs of a possible companion were detected, the emission of which contributes 15% to the total light of the system.

Keywords: *stars: chemically peculiar—stars: rotation*