

АТМОСФЕРА СВЕРХГИГАНТА 6 Cas

I. СПЕКТРАЛЬНЫЙ МАТЕРИАЛ II ЕГО ФОТОМЕТРИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА С ПОМОЩЬЮ ЭЦВУ

Г. И. Аббасов, С. К. Зейналов, Е. Л. Ченцов

Описана методика и даны оценки точности фотометрической обработки спектрограмм с помощью преобразователя диаграмма—код и вычислительной машины. Показано, что случайные ошибки машинного определения параметров спектральных линий в среднем в 1.5—2.0 раза меньше соответствующих ошибок фотометрической спектрофотометрии. Для звезды 6 Cas (A3 Ia⁺) получены центральные глубины, эквивалентные ширины и полуширины линий в интервале 3660—4740 Å по спектрограммам с дисперсией 4 и 14 Å/мм.

A procedure is described and estimates of the accuracy are given of a photometric processing of spectrograms with the aid of a diagram—to—code converter and a computing machine. Accidental errors of a machine determination of the spectral line parameters are shown to be on an average 1.5—2.0 times as small as the corresponding errors of the photometric spectrophotometry. The central depths, equivalent widths, and half-widths are obtained for the star 6 Cas (A3 Ia⁺) in the range 3660—4740 Å on 4 and 14 Å mm⁻¹ spectrograms.

Звезда 6 Cas ($m_v = 5.6$, A3 Ia⁺) — один из немногих белых сверхгигантов предельно высокой светимости (по [1, 2] $M_v \approx 8.3 \div 8.7$), доступных детальному спектроскопическому исследованию. Это единственный объект класса светимости Ia с $m_v < 6.0$, имеющий спектральный класс между A2 и F0, в то время как в интервале A0—A2 насчитывается 10, а в интервале F0—F5 — 7 таких объектов.

Атмосфера 6 Cas отличается значительной разреженностью и нестабильностью. Об этом свидетельствует, прежде всего, аномально низкая (даже для сверхгигантов Ia) величина ускорения силы тяжести (g), найденного спектрофотометрическим способом. Сопоставление найденных из наблюдений [3, 4] и вычисленных по моделям звездных атмосфер [5] эквивалентных ширин линий H_α и H_β дает для 6 Cas $\lg g \approx 0.7 \div 0.8$. Эта оценка позволяет отнести 6 Cas к звездам, стоящим между обычными белыми сверхгигантами ($\lg g \approx 1.0 \div 2.0$) и так называемыми сверх-сверхгигантами Магеллановых Облаков, такими, например, как HD 33579 ($\lg g \approx 0.2 \div 0.5$; атмосфера этой звезды находится на пределе устойчивости в отношении лучевого давления [6, 7]).

Далее, в линии H_α спектра 6 Cas постоянно наблюдается эмиссионный компонент. Форма профиля этой линии со временем меняется, оставаясь, однако, почти всегда в пределах типа I по Билсу [8]. По-видимому, эмиссия как-то сказывается на профилях и более высоких членов серии Бальмера; не исключено, что именно ею вызвано обнаруженное Абтом [1] различие лучевых скоростей (порядка 5—20 км/сек.), определенных по

линиям H_γ и Fe II. В [1] отмечен также небольшой (около 1 км/сек.) сдвиг линий Fe II относительно линий Si II, вызванный, вероятно, систематическими движениями в атмосфере.

Наконец, δ Cas обнаруживает переменность лучевой [1] и, возможно, микротурбулентной [4, 9] скоростей, а также переменность блеска [10].

Задача настоящей работы заключается в изучении физических условий и, прежде всего, поля скоростей в атмосфере δ Cas. В связи с тем что для ее выполнения нам пришлось использовать спектрограммы как высокой, так и умеренной дисперсий, целесообразно разделить эту задачу на две: 1) измерив по нескольким высокодисперсионным спектрограммам, полученным в течение одной—двух ночей, фотометрические параметры и положения линий, попытаться выявить динамическую структуру атмосферы для некоторого момента времени и 2) используя ряд спектрограмм более низкой дисперсии, охватывающий достаточно большой промежуток времени, изучить переменность лучевой скорости и интенсивностей линий.

Спектральный материал получен на двух дифракционных спектрограффах, один из которых был установлен в фокусе кудэ 2-метрового рефлектора Шемахинской астрофизической обсерватории АН Азербайджанской ССР (дисперсия 4 Å/мм), другой — в фокусе Нэсмита 122-сантиметрового рефлектора Крымской астрофизической обсерватории (дисперсия 14 Å/мм). Сведения о спектрограммах даны в табл. 1.

ТАБЛИЦА 1
Спектрограммы, использованные в настоящей работе

Дата	Выдержка	Дисперсия, Å/мм	Область спектра, λ, Å	Дата	Выдержка	Дисперсия, Å/мм	Область спектра, λ, Å
25 XI 1963	1 ^h 30 ^m	14	3900—4550	12 IX	1 ^h 20 ^m	14	3900—4600
6 X 1964	1 35	14	3900—4550	19 IX	1 40	14	3850—4600
11 X	1 40	14	3900—4550	20 IX	1 30	14	3850—4600
25 X	1 25	14	3900—4550	22 IX	1 40	14	3900—4600
28 X	1 45	14	3900—4600	26 IX	1 30	14	3900—4600
21 VIII 1965	1 30	14	3900—4600	4 X	1 45	14	3900—4600
9 IX	1 30	14	3900—4600	17 VIII 1969	2 ^h 20 ^m , 2 ^h 40 ^m	4	3650—4800
10 IX	1 30	14	3900—4600	18 VIII	2 ^h 00 ^m , 1 ^h 50 ^m	4	3650—4800

Ввиду того что в настоящей работе предусматривается измерение не только интенсивностей, но и положений линий (а это, естественно, предъявляет к спектральному материалу дополнительные требования), необходимо отметить следующее.

Спектрограммы с дисперсией 14 Å/мм получены на спектрографе, конструкция и исполнение которого допускали некоторый инструментальный сдвиг спектра звезды относительно спектра сравнения. Однако к сезону наблюдений 1965 г. этот недостаток был значительно уменьшен, после чего спектрограф успешно применялся для определения лучевых скоростей [11]. Спектр сравнения на наших спектрограммах впечатан дважды — в начале и в конце экспонирования спектра звезды. Для многих дат возможен контроль результатов по спектрограммам с дисперсией 35 Å/мм, полученным с короткими выдержками. Все это позволяет надеяться, что по крайней мере материал 1965 г. окажется пригодным для измерения как эквивалентных ширин, так и лучевых скоростей.

Далее, в то время как спектрограммы с дисперсией 14 Å/мм сняты на пластинках (Kodak OaO), спектрограммы с дисперсией 4 Å/мм получены

на астрономической пленке (А-500), что, вообще говоря, может вызвать сомнение в их пригодности для измерения дифференциальных сдвигов спектральных линий. Однако промеры спектров железной дуги на пленке и на пластинке, выполненные с помощью компаратора ИЗА-2, показали в обоих случаях практически одинаковую точность определения положений линий: отсчеты расходятся в среднем лишь на 1—2 мк. Кроме того, на пленке А-500 были получены 17 VIII 1969 четыре спектрограммы звезды α Суг, которая может служить контрольной по отношению к δ Cas. Спектрограммы обеих звезд получены в одних и тех же условиях; спектры их очень сходны, ввиду чего ошибки измерений должны быть практически одинаковыми. Что же касается эффекта дифференциальных сдвигов, то весьма вероятно, что у δ Cas он окажется более сильным, чем найденный в [12] у α Суг, так как светимость и протяженность атмосферы первой из этих звезд значительно больше, чем у второй.

Фотометрическая обработка спектрограмм осуществлялась с помощью электронных цифровых вычислительных устройств — ЭЦВУ. Мы имели возможность воспользоваться лабораторным образцом полуавтоматического преобразователя диаграмма—код, разработанного на кафедре электроизмерений и вычислительной техники Азербайджанского института нефти и химии им. Азизбекова, и вычислительной машиной «Минск-22» этой же кафедры. Пригодность преобразователя для обработки спектрограмм была показана ранее одним из авторов [13].

В ЭЦВУ закладывается информация о прозрачностях пластинки в виде записи на диаграммной ленте. Записи были сделаны с помощью модернизированного микрофотометра МФ-2 (вентильный фотоэлемент заменен фотоумножителем ФЭУ-15, к нему подключен потенциометр ЭПП-09, осуществлен электрический привод столика). Соотношение скоростей движения столика и ленты подбиралось таким, чтобы профили даже самых резких линий выглядели достаточно плавными — это облегчает операцию преобразования и повышает его точность. Подготовка ленты к преобразованию включала проведение непрерывного спектра, сглаживание шумов фотоэмульсии и разделение бленд, а также построение характеристических кривых в масштабе записи.

В преобразователе диаграмма—код диаграммная лента протягивается с постоянной скоростью (в нашем случае — 2 и 4 м/час). Перпендикулярно к ее движению оператор перемещает копировальное устройство, все время удерживая его острие на кривой прозрачности. Непрерывно меняющееся отклонение копира (от нулевого положения, соответствующего полной непрозрачности) переводится в дискретные величины и записывается в виде восьмиразрядного двоичного кода на перфоленту. Преобразования производятся через равные промежутки времени, соответствовавшие в нашем случае перемещениям ленты на 1 мм (шаг квантования по оси длин волн) для спектрограмм с дисперсией 4 Å/мм и 0.5 мм — для спектрограмм с дисперсией 14 Å/мм (см. рис. 1, а). Шаг квантования по оси прозрачностей равен 1 мм, а максимальное отклонение — 180 мм, так что расхождение записываемого и истинного значений для точки со средней прозрачностью составляет около 1%. Преобразованию подвергался не только сам профиль линии, но и прилегающие к нему с обеих сторон отрезки непрерывного спектра длиной не менее 10 шагов каждый. По ним ЭЦВМ воспроизводит (квадратичной интерполяцией по методу наименьших квадратов) непрерывный спектр над профилем. Для отдельной обработки перекрывающихся или очень близких профилей использовался реверс лентопротяжного механизма. Кодировать данные о характеристической кривой можно также с помощью преобразователя, однако выполнение этой операции вручную позволяет избежать квантования величины освещенности и тем самым получить некоторый выигрыш в точности.

Вычисления на ЭЦВМ «Минск-22» производились по специальной программе, позволяющей перейти от прозрачностей к центральной глубине (R_0), полуширине ($\Delta\lambda$) и эквивалентной ширине (W_λ) линии (две последние получались в мм, для перевода в Å они умножались на дисперсию, найденную непосредственно по записи). Кроме того, можно было записать на перфоленте и воспроизвести с помощью преобразователя код—диаграмма промежуточный результат — остаточные интенсивности во всех точках профиля.

Программа составлена таким образом (см. рис. 1, б), что в качестве центральной глубины принимается величина, соответствующая макси-

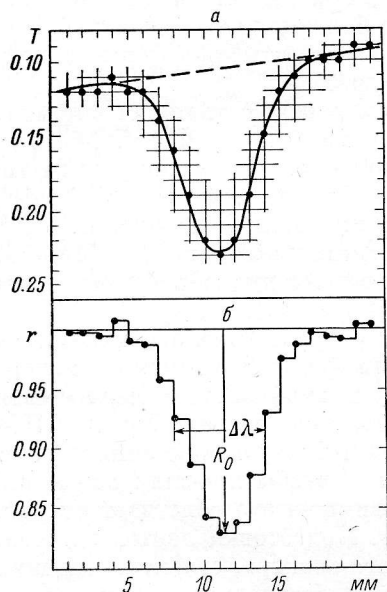


Рис. 1. Профиль спектральной линии, записанный в прозрачностях (а) и преобразованный в остаточные интенсивности (б) с шагом квантования 1 мм по обоим осям.

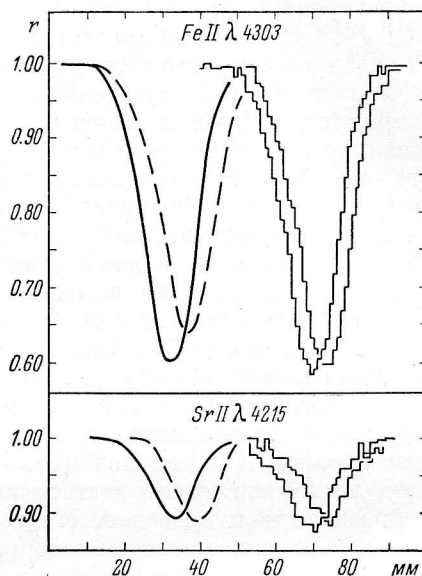


Рис. 2. Профили линий, построенные «вручную» (сплошные кривые) и с помощью ЭЦВУ (гистограммы) по одной спектрограмме.

Пунктирные кривые — профили, построенные «вручную» по другой спектрограмме. Обе спектрограммы получены в одну и ту же ночь 18 VIII 1969.

мальному записанному на перфоленту отклонению копира. Полуширина определяется числом шагов по оси длин волн между точками левой и правой половин профиля, глубина которых наиболее близка к половине центральной. Эквивалентная ширина находится из площади, ограниченной непрерывным спектром и ступенчатой линией, аппроксимирующей профиль.

Скорость счета ограничена в основном быстродействием выходных устройств. Так, для получения только трех вышеуказанных параметров сильной линии, скажем H_β , достаточно 10—12 сек., а дополнительный вывод на печатающее устройство и перфоратор всех остаточных интенсивностей увеличивает время обработки до 1 мин.

Точность определения параметров линий с помощью ЭЦВУ оценивалась по спектрограммам с дисперсией 4 $\text{Å}/\text{мм}$ двумя путями. Во-первых, для 40 неблендированных линий значения параметров, полученные в результате машинной обработки, сопоставлялись с контрольными значениями этих параметров, найденными обычным путем «вручную». Это позволило

отделить случайные ошибки от систематических, найти величины тех и других и в дальнейшем исключить последние введением соответствующих поправок. Во-вторых, повторяя для профилей некоторых линий операцию преобразования по 5—8 раз, можно было найти случайные ошибки сопоставлением результатов отдельных преобразований.

Как видно из рис. 2, полученные с помощью ЭЦВУ гистограммы мало отличаются от соответствующих профилей, построенных вручную, хорошо воспроизводят не только их размеры, но и форму, в частности, некоторую асимметрию линии Fe II λ 4303 (здесь — фиктивную, вызванную зернистостью эмульсии). Результаты двукратной машинной обработки одного профиля различаются между собой не больше, чем результаты его «ручной» обработки на двух спектрограммах, полученных непосредственно одна за другой.

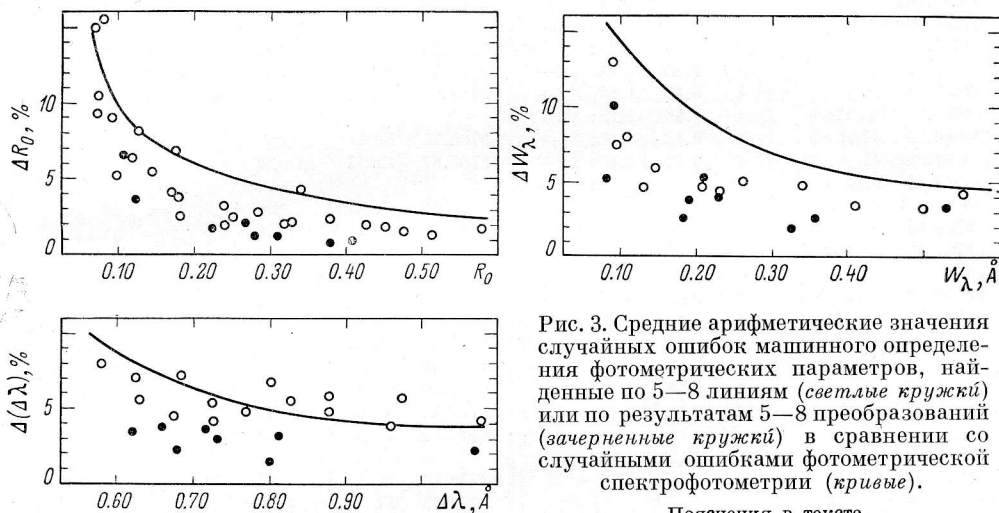


Рис. 3. Средние арифметические значения случайных ошибок машинного определения фотометрических параметров, найденные по 5—8 линиям (светлые кружки) или по результатам 5—8 преобразований (зачерненные кружки) в сравнении со случайными ошибками фотометрической спектрофотометрии (кривые).

Пояснения в тексте.

Случайные ошибки машинного определения параметров в зависимости от самих параметров приведены на рис. 3. Ошибки, оцененные первым из вышеуказанных способов (светлые кружки на рис. 3), несколько завышены, поскольку контрольные значения параметров в свою очередьотяжены хотя и небольшими, но все же заметными ошибками «ручной» обработки. Значения ошибок, найденные вторым способом (зачерненные кружки, лежащие на рис. 3 систематически ниже светлых), могут, напротив, оказаться заниженными. Действительно, помимо естественных при полуавтоматическом преобразовании отклонений копира от кривой и чисто электрических по своей природе флуктуаций кодируемых чисел в младшем разряде, источником случайных ошибок служит, по-видимому, и сам принцип округления кодируемой величины до ближайшего целочисленного значения. Но этот последний источник ошибок при втором способе их оценок, очевидно, исключается.

Таким образом, истинные значения случайных ошибок машинной обработки должны лежать между их значениями, найденными обоими способами. Для всех трех параметров они оказались меньше случайных ошибок фотографической спектрофотометрии (кривые на рис. 3, полученные сопоставлением результатов «ручной» обработки отдельных спектрограмм), в частности, для R_0 — меньше в 1.5—2.5 раза, для W_λ — в 1.8—2.3 раза, для $\Delta\lambda$ — в 1.2—1.5 раза.

Использованием автоматического варианта преобразователя и изменением вычислительной программы можно повысить точность опреде-

ТАБЛИЦА 2

Линии поглощения в спектре 6 Cas и их фотометрические параметры

$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$
3662.26	H ₃₀	6	0.10:	0.08:	—	3754.59	Cr II	20	0.25	0.19	0.75
3663.41	H ₂₉	6	0.12	0.09	—	3755.61	Ca II	8	0.13	0.09	0.74
3664.68	H ₂₈	6	0.16	0.13	—						
3666.10	H ₂₇	5	0.15	0.12	—	3757.68	Ti II	72	0.31	0.25	0.71
3667.68	H ₂₆	5	0.20	0.16	—	3758.24	Fe I	21	0.22:	0.19	0.69
3669.47	H ₂₅	5	0.23	0.22	—	3759.29	Ti II	13	0.56	0.60	0.88
3671.48	H ₂₄	5	0.26	0.25:	—	3761.32	Ti II	13			
3673.76	H ₂₃	5	0.28	0.34	—	3761.69	Cr II	11	0.54	0.57	0.95
3676.36	H ₂₂	4	0.35:	0.38	—						
3677.9	Cr II	12	0.36	0.24:	0.78:	3762.89	Fe II	192	0.16	0.11	0.70
3679.36	H ₂₁	4	0.36	0.46	—	3763.79	Fe I	21	0.22:	0.08	0.50:
3682.81	H ₂₀	4	0.43:	0.57	—	3764.09	Fe II	29	0.28	0.22	0.78
3685.19	Ti II	14	0.46	0.35:	0.78:						
3686.83	H ₁₉	4	0.48	0.65:	—	3765.54	Fe I	608	0.17	0.12:	0.74
3691.56	H ₁₈	4	0.48	0.69:	—	3765.62	Cr II	20			
3697.15	H ₁₇	3	0.50	0.90:	—						
						3766.65	Cr II	20			
3700.34	V II	116				3767.19	Fe I	21	0.11	0.08	0.73:
3700.42	Cr II	1	0.07	0.07:	0.88:						
						3769.46	NiII	4	0.25:	0.10:	0.67:
3703.86	H ₁₆	3	0.53	1.14	—	3770.63	H ₁₁	2	0.62	1.45	—
3706.03	Ca II	3	0.37:	0.37:	0.86:						
3709.25	Cr II	6	0.10	—	—	3774.65	Ti II	12			
						3774.68	V II	129	0.10	0.09:	0.81:
3711.97	H ₁₅	3	0.58	1.37	—	3776.06	Ti II	72	0.13	0.11	0.82
3712.97	Cr II	12	0.20:	0.13:	0.90:	3778.36	V II	21			
						3778.37	Fe II	192	0.08	0.09	0.85
3715.19	Cr II	20									
3715.45	Cr II	147	0.35	0.31	0.86	3779.49	Fe I	74			
						3779.58	Fe II	23	0.12	0.09:	0.65:
3719.94	Fe I	5				3781.51	Fe II	130	0.09	0.07:	0.67
3720.17	Fe II	23	0.22	0.19:	0.68	3783.35	Fe II	14	0.31	0.21	0.69
3721.94	H ₁₄	3	0.62:	1.49	—	3786.33	Ti II	12	—	—	—
3725.29	Mn II	8				3786.37	Fe II	15	0.09	0.07	0.72
3725.30	Fe II	130	0.10	0.10	0.82:	3787.88	Fe I	21	0.07	0.05:	0.78
						3795.00	Fe I	21	0.08	0.05	0.85:
3727.35	V II	21				3797.90	H ₁₀	2			
3727.37	Cr II	117	0.27	0.21	0.83	3799.55	Fe I	21	0.64	1.73:	—
						3799.81	Ti II	13	0.08:	0.04:	0.45:
3728.4	—	—	0.07	0.10:	0.75	3801.68	Fe I	367	0.06:	0.03:	0.50:
						3813.39	Ti II	12	0.15	0.11:	0.70
3732.76	V II	15	0.17	0.13:	0.69	3814.12	Fe II	153	0.26	0.27	0.96
3734.37	H ₁₃	3	0.63	1.46	—	3814.58	Ti II	12			
3736.90	Ca II	3	0.46	0.42:	0.85	3815.84	Fe I	45	0.15	0.14	0.72
3738.38	Cr II	20	0.30	0.23	0.73	3819.61	He I	22	0.07	0.09:	0.68
						3820.43	Fe I	20	0.22	0.16	0.69
3741.56	Fe II	15				3821.92	Fe II	14	0.14	0.11	0.71
3741.63	Ti II	72	0.40	0.26	0.74	3824.44	Fe I	4	0.08:	0.05:	0.63:
						3824.91	FeI I	29	0.24	0.20	0.69
3743.36	Fe I	21	0.12	0.09	0.71	3825.88	Fe I	20	0.18	0.13	0.70
3744.2	—	—	0.06	0.05	0.78:						
						3827.08	Fe II	153	0.15	0.10:	0.67
3745.56	Fe I	5				3827.83	Fe I	45	0.12	0.10:	0.67:
3745.81	V II	15	0.26	0.16	0.77	3829.36	Mg I	3	0.16	0.10	0.68
3746.56	Fe II	14	0.20	0.11	0.68	3832.30	Mg I	3	0.25	0.20	0.77
						3835.39	H ₉	2	0.65	1.75	—
3748.26	Fe I	5				3838.29	Mg I	3	0.31	0.24:	0.70
3748.49	Fe II	154	0.28	0.24	0.80:						
3750.15	H ₁₂	2	0.64	1.81	—	3840.44	Fe I	20	0.10	0.08	0.72
						3841.05	Fe I	45	0.09	0.06	0.66:

Т А Б Л И Ц А 2 (продолжение)

$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_{\lambda}, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_{\lambda}, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$
3843.1	Sc II	1, 17	0.06:	0.04	0.65:	3979.51	Cr II	183	0.10	0.07	0.67
3845.18	Fe II	127	0.18:	0.11	0.67	3982.00	Ti II	11	0.08	0.05	0.77
3848.24	Mg II	5	0.07	0.04	0.68:	4002.07	Fe II	29	0.12	0.10	0.70
3849.58	Ni II	} 11	0.21	0.15	0.70	4002.55	Fe II	190	0.11	0.08:	0.63:
3849.97	Fe I					20	4002.94	V II	9	0.07	0.05
3850.40	Mg II	} 5	0.07	0.06	0.73	4003.30	Cr II	194			
3850.82	Fe I					22					
3853.66	Si II	1	0.27	0.20	0.69	4005.25	Fe I	} 43	0.06:	0.04:	0.60:
3856.02	Si II	1	0.47	0.43	0.83	4005.71	V II				
3859.91	Fe I	4	0.15	0.11	0.67	4012.37	Ti II	11	0.19	0.13	0.68
3862.59	Si II	1	0.43	0.33	0.75	4015.50	Ni II	12	0.07	0.07	0.70
3863.7	Fe II	} 152	0.11	0.08	0.68	4023.39	V II	32	0.09	0.05	0.65
3863.95	Fe II					127	4024.55	Fe II	} 127	0.19	0.14
					4025.14	Ti II	11	0.08		0.06	0.68
3865.53	Fe I	} 20	0.16	0.14	0.72:	4026.19	He I	18	0.07	0.04	0.74
3865.59	Cr II					167	4028.33	Ti II	87	0.14	0.09
3866.54	Cr II	130	0.06	0.06	0.71	4031.46	Fe I	151	0.06	0.03	0.62:
						4032.95	Fe II	126	0.09	0.07	0.68
3872.50	Fe I	} 20	0.17	0.15	0.68	4035.63	V II	32	0.08	0.04	0.66
3872.76	Fe II					29	4038.03	Cr II	194	0.05	0.04
					4044.01	Fe II	172	0.05	0.04	0.69	
3878.02	Fe I	} 20	0.07	0.07	0.67	4045.82	Fe I	43	0.14	0.11	0.69
3878.58	Fe I					4	0.10	0.11:	0.74	4048.83	Fe II
3882.28	Ti II	34	0.09	0.11	0.76	4051.97	Cr II	19	0.09	0.07	0.73
3886.28	Fe I	} 4	0.09	0.07	0.70:	4053.81	Ti II	87			
3889.05	H _s					4	0.63	1.48	—	4054.11	Cr II
3896.16	V II	10	0.08	0.07	0.73	4057.46	Fe II	212	0.06	0.03	0.65
3899.71	Fe I	} 4	0.09	0.08	0.70:	4063.60	Fe I	43	0.10	0.09	0.64
3900.55	Ti II					34	0.40	0.32:	0.70	4067.05	Ni II
						4070.03	Fe II	22	0.05	0.03	—
3902.95	Fe I	} 45	0.09	0.09	0.79:	4070.90	Cr II	193			
3903.27	V II					11				4071.00	Ni II
3905.64	Cr II	} 167	0.21	0.18:	0.68	4071.74	Fe I	43	0.07	0.08	0.87
3905.88	Cr II					128	0.21	0.15	0.70	4075.63	Cr II
3911.32	Cr II	129	0.06	0.04	0.66	4076.87	Cr II	19	0.06	0.05	0.71
3913.46	Ti II	} 34	0.41	0.31:	0.75	4077.50	Cr II	} 19	0.16	0.10	0.64
3914.48	Fe II					3	0.21				
3916.42	V II	10	0.08	0.06	0.68	4087.63	Cr II	19	0.08:	0.04:	0.62:
3918.51	Fe II	191	0.06	0.05	0.66:	4101.74	H _s	1	0.61	1.50	—
3920.26	Fe I	4	0.06	0.03	0.73	4111.01	Cr II	18, 26	0.11	0.10:	0.72:
3922.91	Fe I	4	0.05:	0.04	0.65:	4119.53	Fe II	21	0.06	0.05	0.66
3927.92	Fe I	4	0.06	0.06	0.66	4122.64	Fe II	28	0.21	0.15	0.69
3930.30	Fe I	} 4	0.18	0.15	0.68	4124.79	Fe II	22	0.08	0.04	0.61
3930.31	Fe II					3	4128.05	Si II	} 3	0.29	0.23
					4128.74	Fe II	27	0.16		0.11	0.64:
3932.01	Ti II	} 34	0.12	0.18:	0.76:	4130.88	Si II	3	0.29	0.21	0.73
3933.66	Ca II					1	0.75:	1.40:	—	4132.06	Fe I
3935.94	Fe II	173	0.20	0.15	0.68	4132.42	Cr II	26			
3938.29	Fe II	3	0.24	0.22	0.71	4138.40	Fe II	39	0.05:	0.04:	0.80:
3938.97	Fe II	190	0.11	0.08	0.69	4143.87	Fe I	43	0.07	0.07	0.74
						4145.77	Cr II	162	0.09	0.07	0.83:
3944.01	A II	} 4	0.08	0.07	0.81	4161.52	Ti II	21	0.07	0.05	0.64
3945.21	Fe II					3	0.15	0.13	0.76	4163.64	Ti II
3951.97	V II	10	0.09	0.07	0.80:	4171.90	Ti II	105	0.18	0.11	0.72
3961.52	A II	1	0.10	0.08	0.76	4173.45	Fe II	27	0.39	0.33	0.78
3964.57	Fe II	} 29	0.08	0.07	0.68	4177.54	V II	} 14	0.21	0.14	0.70
3968.47	Ca II					1	0.78:				
3970.07	E _s	1	0.63:	1.60:	—	4178.86	Fe II	} 28	0.40	0.37	0.86
3973.64	V II	9	0.07	0.06	0.62:	4179.43	Cr II				
3974.16	Fe II	29	0.20	0.15	0.71	4183.20	Fe II	21	0.06	0.02	0.66
3975.03	Fe II	} 191	0.06	0.06	0.66:	4184.33	Ti II	21	0.05	0.03:	0.68
3977.73	V II					10	0.05	0.03:	0.60	4187.80	Fe I

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплетта	R_0	$W\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплетта	R_0	$W\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$
4199.10	Fe I	522	0.07:	0.04:	0.62:	4361.25	Fe II	—	0.05	0.04	0.79:
4202.03	Fe I	42	0.06	0.07:	0.77	4362.10	Ni II	9	0.06	0.06	0.81:
4215.52	Sr II	1	0.10	0.07	0.81	4367.66	Ti II	104	0.10	0.08	0.87:
4224.85	Cr II	162	0.09	0.06	0.71	4368.26	Fe II	—	0.07	0.05	0.79:
4226.73	Ca I	2	0.07	0.07	0.79:	4369.40	Fe II	28	0.12	0.12	0.82:
4232.07	V II	225	0.09	0.07	0.70	4374.94	V II	13	0.10	0.11	0.95:
4233.17	Fe II	27	0.48	0.49	0.95	4383.55	Fe I	41	0.16	0.11	0.73
4235.94	Fe I	152	0.05	0.03	0.62:	4384.64	Mg II	10	0.20	0.17	0.93:
4238.6	—	—	0.06	0.04	0.70:	4385.38	Fe II	27	0.29	0.26	0.74
4242.38	Cr II	31	0.25	0.19	0.71	4386.86	Ti II	104	0.08	0.06	0.71
4246.83	Sc II	7	0.18	0.15	0.73	4387.93	He I	51	0.05	0.03	0.85
4250.12	Fe I	152	0.06	0.04	0.75	4390.59	Mg II	10	0.11	0.10	0.79
4250.79	Fe I	42	0.06	0.04	0.75	4394.06	Ti II	51	0.08	0.06	0.78
4252.62	Cr II	31	0.09	0.08	0.78	4395.03	Ti II	19	0.32	0.27	0.84
4254.35	Cr I	1	0.06	0.04	0.85:	4395.85	Ti II	61	0.07:	0.04	0.71
4258.16	Fe II	28	0.17	0.12	0.76	4399.77	Ti II	51	0.17	0.15	0.76
4260.48	Fe I	152	0.06	0.05	0.65	4400.36	Sc II	14	0.07	0.03	0.70:
4261.92	Cr II	31	0.19	0.16	0.68	4402.88	Fe II	—	0.05	0.03	0.66
4269.28	Cr II	31	0.08	0.07	0.70	4404.75	Fe I	41	0.08	0.07	0.74:
4271.16	Fe I	152	0.08	0.03	0.70:	4411.08	Ti II	115	0.07	0.05	0.74
4271.76	Fe I	42	0.10	0.08	0.62:	4413.60	Fe II	32	0.07	0.06	0.70
4273.32	Fe II	27	0.19	0.15	0.68	4415.12	Fe I	41	0.07	0.07	0.77:
4274.80	Cr I	1	0.06	0.04	0.60:	4415.56	Sc II	14	0.07	0.07	0.77:
4275.57	Cr II	31	0.15	0.12	0.71	4416.82	Fe II	27	0.31	0.27	0.85:
4278.13	Fe II	32	0.10	0.10	0.81	4417.72	Ti II	40	0.17	0.12:	0.71:
4284.21	Cr II	31	0.12	0.14	0.72	4428.00	Mg II	9	0.06:	0.05	0.71:
4286.13	V II	23	0.05	0.04	0.67	4433.99	Mg II	9	0.06	0.05:	0.74
4287.89	Ti II	20	0.09	0.08	0.77	4441.73	Ti II	40	0.06	0.04	0.75:
4290.22	Ti II	41	0.24	0.21	0.73	4443.80	Ti II	19	0.27	0.24	0.79
4292.25	Mn II	6	0.04:	0.05	0.58:	4450.49	Ti II	19	0.13	0.08	0.68
4294.10	Ti II	20	0.25	0.18	0.75:	4451.54	Fe II	—	0.08	0.06	0.69
4294.13	Fe I	41	0.25	0.18	0.75:	4455.85	Fe II	140	0.07	0.05:	0.75
4296.57	Fe II	28	0.27	0.24	0.74	4461.65	Fe I	2	0.08	0.07	0.77
4299.24	Fe I	152	0.06:	0.04	0.65:	4464.46	Ti II	40	0.08	0.06	0.76
4300.05	Ti II	41	0.31	0.29	0.78	4465.81	Ti I	146	0.05:	0.03	0.70:
4301.93	Ti II	41	0.18	0.14	0.76	4466.1	Cr I	—	—	—	—
4303.17	Fe II	27	0.38	0.32	0.82	4468.49	Ti II	31	0.27	0.25	0.78
4306.95	Ti II	43	0.04:	0.03	0.64:	4471.48	He I	14	0.08	0.07	0.99:
4307.90	Ti II	41	0.20	0.16	0.71:	4472.95	Fe II	37	0.12	0.10	0.79
4307.91	Fe I	42	0.20	0.16	0.81:	4481.26	Mg II	4	0.57	0.61	1.07
4312.86	Ti II	41	0.20	0.16	0.81:	4488.14	Fe I	819	0.10	0.07	0.84:
4314.08	Sc II	15	0.23	0.19	0.85:	4488.32	Ti II	115	0.10	0.07	0.84:
4314.29	Fe II	32	0.23	0.19	0.85:	4489.19	Fe II	37	0.25	0.21	0.79
4314.98	Ti II	41	0.21	0.16	0.79	4491.40	Fe II	37	0.28	0.24	0.79
4316.81	Ti II	94	0.06	0.04	0.70	4493.53	Ti II	18	0.04	0.03	0.70:
4319.72	Fe II	220	0.05	0.04	0.75	4493.58	Fe II	222	0.04	0.03	0.70:
4320.74	Sc II	15	0.13	0.10	0.82:	4501.27	Ti II	31	0.26	0.25	0.80
4320.97	Ti II	41	0.13	0.10	0.82:	4506.74	Ti II	30	0.05	0.05	0.66
4325.01	Sc II	15	0.08	0.06	0.74:	4508.28	Fe II	38	0.35	0.35	0.84
4325.76	Fe I	42	0.12	0.11	0.93:	4515.34	Fe II	37	0.31	0.28	0.79
4326.76	Mn II	6	0.06:	0.05	0.70:	4520.22	Fe II	37	0.31	0.26	0.81
4329.26	Ti II	94	0.06:	0.04	—	4522.63	Fe II	38	0.39	0.40	0.91
4330.71	Ti II	41	0.06	0.04	0.68:	4529.47	Ti II	82	0.06	0.04	0.72:
4337.92	Ti II	20	0.18	0.15	0.72:	4534.17	Fe II	37	0.32	0.30	0.87
4340.47	H γ	1	0.57	1.59	—	4539.62	Cr II	39	0.04	0.03	0.67:
4343.2	Fe I	644	0.09	0.09	0.71:	4541.52	Fe II	38	0.22	0.19	0.73
4343.99	Mn II	6	0.12	0.12	0.96:	4549.47	Fe II	38	0.44	0.54	1.09
4344.29	Ti II	20	0.12	0.12	0.96:	4554.0	—	—	0.06	0.04	0.68:
4351.76	Fe II	27	0.43	0.43	0.91	4555.02	Cr II	44	0.21	0.16	0.80
4357.57	Fe II	—	0.07	0.06	0.73	4555.89	Fe II	37	0.34	0.34	0.93

ТАБЛИЦА 2 (продолжение)

$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$	$\lambda, \text{Å}$	Элемент	Номер мультиплета	R_0	$W_\lambda, \text{Å}$	$\Delta\lambda, \text{Å}$
4558.66	Cr II	44	0.34	0.33	0.88	4621.41	Cr II	25	0.04	0.04	0.62:
4561.54	Cr I	277	0.05	0.05	0.71:	4621.96	Cr I	244			
4563.76	Ti II	50	0.26	0.23:	0.86	4625.91	Fe II	185	0.05	0.05	0.84:
4565.78	Cr II	39	0.08	0.06	0.82:	4625.93	Cr I	244			
4571.97	Ti II	82	0.30	0.27	0.78	4629.34	Fe II	37	0.32	0.34	0.94
4576.33	Fe II	38	0.23	0.19	0.77	4631.90	Fe II	219	0.06	0.06	0.78:
4577.78	Fe II	54	0.05	0.05:	0.68:	4634.11	Cr II	44	0.22	0.20	0.95
4580.06	Fe II	26	0.09	0.09	0.95:	4635.29	Fe II	186	0.14	0.11	0.81
4581.40	Ca I	23	0.06:	0.04	0.75:	4636.35	Ti II	38	0.05	0.04	0.75:
4581.52	Fe I	555				4643.47	Fe I	820	0.05:	0.02	—
4582.83	Fe II	37	0.24	0.22	0.90:	4644.09	Fe II	31	0.04	0.02	0.65:
4583.83	Fe II	38	0.40	0.46	1.03	4652.16	Cr I	21	0.04:	0.03	0.70:
4588.22	Cr II	44	0.32	0.31	0.86	4652.28	Fe II	219			
4589.89	Cr II	44	0.11	0.09	0.92:	4656.97	Fe II	43	0.10	0.80:	0.77:
4589.96	Ti II	50				4660.93	Fe II	146	0.05	0.03:	0.75:
4592.09	Cr II	44	0.20	0.13	0.65:	4661.19	Fe II	170			
4593.8	—	—	0.05:	0.05:	0.67:	4662.74	Ti II	38	0.08	0.07	0.85:
4595.68	Fe II	38	0.08	0.07	0.85:	4663.70	Fe II	44	0.06	0.04	0.67:
4598.33	Fe I	17	0.05	0.03	0.71	4666.75	Fe II	37	0.14	0.12	0.84
4613.9	—	—	0.05	0.04	0.84:	4669.17	Fe I	821	0.04	0.04:	0.65
4615.44	Sm II	49	0.04	0.03	0.62	4670.17	Fe II	25	0.07	0.06	0.81
4616.64	Cr II	44	0.15	0.14	0.73	4680.87	Cr I	170	0.06:	0.05:	0.75:
4618.83	Cr II	44	0.25	0.22	0.72	4685.19	Zr II	129	0.06:	0.04:	0.75:
4620.51	Fe II	38	0.16	0.15	0.81:	4685.27	Ca I	51			
						4731.44	Fe II	43	0.16	0.12	0.74:

ления параметров, что особенно желательно при определении полуширин линий. Однако и без этих усовершенствований обработка вносит лишь небольшие погрешности; во всяком случае кривые рис. 3 можно считать верхними пределами ошибок окончательных значений параметров, полученных в настоящей работе.

Результаты отождествления и фотометрические параметры линий содержатся в табл. 2.

Отождествление проведено путем сравнения спектра 6 CaS с подробно описанным (например, в [12, 14]) спектром α Cug. Фигурными скобками объединены линии, образующие бленды. Центральные глубины таких линий определяются, как правило, более точно, чем их эквивалентные ширины, что позволило в некоторых случаях уточнить W_λ , используя четко выраженную для неблендированных линий зависимость между W_λ и R_0 .

Табличные значения R_0 и W_λ найдены усреднением по всему спектральному материалу, после того как в результаты измерения спектрограмм с умеренной дисперсией были введены поправки, устраняющие их систематическое расхождение с результатами, полученными по высокодисперсионным спектрограммам. Это расхождение (не превышающее 10% от величин параметров) можно объяснить отчасти различием двух типов спектрограмм

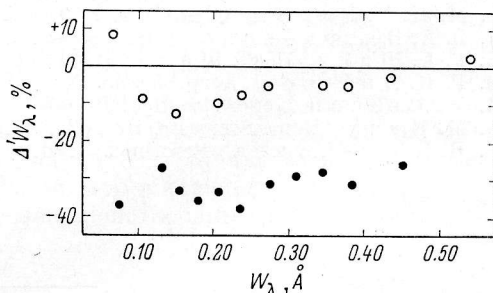


Рис. 4. Средние (по 5—8 линиям) разности эквивалентных ширин, полученных для 6 CaS в [4, 9] и в настоящей работе, в зависимости от W_λ .

Светлые кружки: W_λ ([14]) — W_λ (наст. работа), зачерненные кружки: W_λ ([19]) — W_λ (наст. работа).

по спектральному разрешению и уровню проведения непрерывного спектра, отчасти же изменением интенсивностей линий со временем (некоторые из спектрограмм с дисперсией $14 \text{ \AA}/\text{мм}$ дают величины R_0 и W_λ , различающиеся на 30—50%). Еще одним проявлением переменности интенсивностей линий в спектре 6 Cas является, видимо, большое систематическое отличие значений эквивалентных ширин, найденных Розендалем [9], от их значений из табл. 2 (см. рис. 4). Вероятно, единственная использованная Розендалем спектрограмма 6 Cas была получена в момент ослабления линий, связанного в свою очередь с ослаблением турбулентных движений в атмосфере звезды: значение микротурбулентной скорости по [9] (8.5 км/сек.) оказывается аномально низким по сравнению и с результатами других работ ([4, 15, 16] дают $16\text{--}19 \text{ км/сек.}$) и со значениями, полученными в той же работе [9] для сходных с 6 Cas сверхгигантов ($11\text{--}12 \text{ км/сек.}$).

Значения $\Delta\lambda$ найдены только по спектрограммам с дисперсией $4 \text{ \AA}/\text{мм}$ и даны в табл. 2 без исправления за инструментальное уширение.

Авторы глубоко признательны проф. А. М. Мелик-Шахназарову и доц. Д. И. Вигдорову за предоставленную возможность воспользоваться преобразователем и вычислительной машиной, старшему научному сотруднику И. А. Асланову за помощь при наблюдениях на 2-метровом рефлекторе ШАО, И. Л. Шпаковой и М. М. Мусаеву за помощь в составлении программы и вычислениях.

Литература

1. H. A. Abt, *Astrophys. J.*, **126**, 138, 1957.
2. И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **23**, 148, 1960.
3. Э. А. Витриченко, И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **27**, 241, 1962.
4. Т. С. Галкина, И. М. Копылов, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **28**, 35, 1962.
5. D. Mihalas, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **9**, No. 92, 321, 1965.
6. G. W. Wares et al., *Astrophys. Space Sci.*, **2**, No. 3, 344, 1968.
7. A. Przybylski, *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **139**, 313, 1968.
8. C. S. Veals, *Publ. Dom. astrophys. Obs.*, Victoria, **9**, 105, 1951.
9. J. D. Rosenihal, *Astrophys. J.*, **160**, 627, 1970.
10. M. K. V. Varpu, *Observatory*, **79**, No. 910, 100, 1959.
11. Э. А. Витриченко, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **39**, 63, 1969.
12. Г. А. Шайн, П. Ф. Шайн, *Изв. Крымск. астрофиз. obs.*, **4**, 49, 1949.
13. Г. И. Аббасов, *Астр. ж.*, **45**, № 5, 1077, 1968.
14. W. V. Scombe, *Astrophys. J.*, **114**, 73, 1951.
15. M. H. A. Sack, *Mem. Soc. astr. ital.*, **25**, 481, 1954.
16. R. S. Kushwaha, *Proc. nat. Acad. Sci. India*, **A25**, No. 5, 243, 1959.

Декабрь 1970 г.