

ОТНОСИТЕЛЬНО ИЗМЕНЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТЕЙ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ЗАТМЕННО-ПЕРЕМЕННОЙ 68^u ГЕРКУЛЕСА

Богомил Ковачев

Спектрально-двойная затменно-переменная звезда 68 u Геркулеса (HD 156633), спектральный класс В3 III [1] с периодом $2^d,05102$ [2] в отношении элементов орбиты системы является хорошо изученным объектом (см. [3]). В опубликованных результатах спектрофотометрических исследований, относящихся к наблюдениям, которые сделаны с большим промежутком времени друг от друга, однако, нет полного согласования. В связи с этим существуют предположения, что в интенсивностях отдельных линий проявляется переменность, которая является отражением долгопериодических и монотонных хромосферных процессов [4].

В 1908 г. в Алегенской обсерватории на меллоновском однопризменном спектрографе, приложенном к 75 cm Keeler Memorial рефлектору, для u Геркулеса получена серия из 83 спектрограмм, которая была изучена Бэкером [2]. В своей работе он отмечает, что, кроме широких диффузных линий водорода и гелия, на полученных пластинках пригодна для измерения только линия C II 4267, а линии Ca II 3933 и Mg II 4481 заметны, но очень слабы.

В 1939 г. в Симеизской обсерватории (СССР, Крым) проф. В. А. Крат получил на метровом рефлекторе с однопризменным спектрографом серию из 26 спектрограмм u Геркулеса с дисперсией $35,8 \text{ \AA/mm}$ у H_γ [4]. В работе, кроме центральных интенсивностей и эквивалентных ширин (W_λ) H_β , H_γ , H_δ , H_ϵ и H_ζ , даются еще и линии гелия $\lambda\lambda$ 4922, 4471, 4388, 4141, 4026 и 4009, линии Mg II 4481, линии Si IV 4116 и линии Ca II 3933 (K). В анализе наблюдательного материала констатируется, что линия C II 4267 очень слаба на всех спектрограммах (с W_λ порядка ошибок — $0,1-0,2 \text{ \AA}$ (EW)), в противоположность результатам Бэкера, где она видна лучше, чем λ 4481 и λ 3933. Кроме того, сообщается о появлении новой линии — Si IV 4116, которая равна по интенсивности линиям Mg II 4481 и Ca II 3933 и исчезает во время главного минимума при фазах $0^d,019$, $0^d,016$ и $0^d,024$. На основании этих данных автор относит эту линию к спектру более яркой звезды. В. А. Крат объясняет полученные результаты повышением температуры верхних слоев атмосферы звезды и расширением звездной хромосферы, произошедшими за 30 лет (1908—1939 гг.). Автор пишет,

что „линия SiII 4267 и линия SiIV 4116 образуется на границе фотосферы более яркого компонента“ и что „изменения в интенсивностях этих линий могут вызываться различными долгопериодическими или монотонными (расширения) хромосферными процессами“ ([4], стр. 41).

В период январь—сентябрь 1944 г. получена 181 спектрограмма и Геркулеса с Вуисе спектрографом (дисперсия $30 \text{ \AA}/\text{mm}$ при λ 4500), приложенным к метровому телескопу обсерватории Yerks. Наблюдательный материал использован Смитом для определения орбиты системы [5]. В работе отмечается, что „вторичный (слабый) компонент содержит линии, которые много слабее, чем те же линии, обыкновенно более узкие, первичного, исключая MgII 4481, которая изредко проявляется в обоих компонентах с одинаковой интенсивностью и сходным появлением“ ([5], стр. 500). Линия SiIII 4552 была измерена только на 5 пластинках.

И. М. Гольдберг-Рогозинская в своей диссертации [6], стр. 84 пишет: „Смит [31] ([5] в цитированной нами литературе — зам. авт.) в своих спектрографических исследованиях нашел, что интенсивность линии ионизованного магния λ 4481 в яркой звезде и в спутнике одинакова.“ И на основании этого автор делает оценки для разницы в температурах на поверхности обоих компонентов. Создается впечатление, что И. М. Гольдберг-Рогозинская на основании [5] принимает интенсивности линии MgII 4481 одинаковыми в обоих компонентах, тогда как в цитированной литературе написано скорее, что это равенство наблюдается только иногда (occasionally). Замечание И. М. Гольдберг-Рогозинской, что на спектрограммах Смита [5] „линия ионизованного кремния 4116 очень слаба“ ([6], стр. 66), приводит в недоумение, т. к. подобное утверждение вообще отсутствует в работе Смита.

После изложенной картины изменения интенсивностей некоторых линий в спектрах и Геркулеса остановимся на результатах, полученных нами.

В период апрель — ноябрь 1962 г. в Крымской астрофизической обсерватории автором получено на 1,22-метровом телескопе с дифракционным спектрографом АСП-11 136 спектрограмм на пластинках OaO и 103aO с дисперсией $36 \text{ \AA}/\text{mm}$ и 26 спектрограмм на пластинках OaF в красной области спектра для различных фаз и Геркулеса. Ширина спектров на пластинках $0,4 \text{ mm}$. Наблюдательный материал зарегистрирован на саморегистрирующем микрофотометре типа „Ligerho-2“ при увеличении в 25 раз. На регистрограммах фон записан непрерывно параллельно спектру и в его соседстве. Во время записи зарегистрированный участок спектра непрерывно наблюдался, и на регистрограммах сразу отмечались все дефекты. Если дефекты попадались на линиях спектра, эти линии не учитывались. Поэтому в табл. 1, где представлены результаты наших измерений, некоторые более сильные линии для отдельных спектрограмм не принимались во внимание, и для их длин волн число линий в этих случаях меньше измеренных спектров.

При измерении линий разница фон — темнота ($\Phi - T$) бралась в соседстве с соответствующими им длинами волн.

Особое внимание обращено получению точных характеристических кривых для превращения плотности почернения пластинки в интенсивность. В отдельных случаях для пластинок OaO и 103aO использованы отдельные характеристические кривые для участков спектра до и после H_{γ} . После построения характеристических кривых в масштабе $\Phi - T = 10 \text{ cm}$

они увеличивались в масштабе $\Phi-T=100$ см и еще раз сглаживались. Такой масштаб создал удобство и в отсчетах.

Пластины для фотографирования спектрограмм и шкалок для построения соответствующих характеристических кривых получались от одной и той же пластинки и проявлялись одновременно. Измерения шкалок сделаны на микрофотометре МФ-4. Площади линий, построенных в интенсивности, измерены минимум два раза.

Таблица 1

Элемент	λ	$W\lambda$ (I минимум)	Число спек- трограмм (всего 9)	$W\lambda$ (I максимум)	Число спек- трограмм (всего 10)	$W\lambda$ (II минимум)	Число спек- трограмм (всего 18)	$W\lambda$ (II максимум)	Число спек- трограмм (всего 10)
He I	4472	1,307	6	1,428	8	1,363	18	1,366	10
"	4026	1,486	8	1,530	8	1,499	18	1,599	9
"	3820	1,104	7	1,534	8	1,298	18	1,580	9
"	4713	0,350	5	0,404	4	0,340	17	0,401	10
"	4121	0,390	8	0,454	8	0,507	17	0,604	10
"	3867	0,227	8	0,270	5	0,303	15	0,232	7
"	4922	0,754	2		0	1,336	8		0
"	4388	1,097	7	1,017	9	0,884	18	0,956	9
"	4144	0,891	9	1,059	10	0,950	18	0,985	10
"	4009	0,791	8	0,720	10	0,754	18	0,913	10
"	3927	0,568	8	0,790	9	0,702	17	0,719	10
"	3872	0,192	6	0,277	2	0,263	13	0,233	7
"	4437	0,233	6	0,322	4	0,188	16	0,196	10
"	4169	0,230	6	0,278	7	0,185	9	0,239	10
Mg II	4481	0,522	8	0,443	8	0,348	16	0,355	9
С II	4267	0,329	8	0,378	10	0,279	17	0,422	10
Ca II	3933	0,498	9	0,500	9	0,364	14	0,338	10
Si III	4552	0,203	5	0,289	9	0,165	17	0,289	9
"	4567	0,191	5	0,239	6	0,112	11	0,175	6
"	4574	0,164	2	0,130	1	0,092	9	0,210	2
Si IV	4116		0	0,071	3	0,060	1	0,106	1

В табл. 1 даны результаты $W\lambda$ для отдельных обсуждаемых линий и линии He I серий 2^3P-n^3D , 2^3P-n^3S , 2^1P-n^1D и 2^1P-n^1S , полученных от 47 спектрограмм нашего наблюдательного материала и сгруппированных и усредненных для 4 фаз: I минимум — 9 спектрограмм, I максимум —

Таблица 2

Нормальная точка	Дата (1962 г.)	Фазы	Число спек- трограмм
I минимум	14—15 мая	0,00132	1
"	20—21 мая	2,00000—0,00764	3
"	31 июля — 1 августа	2,04444—0,06806	5
I максимум	31 мая — 1 июня	0,59305—0,60555	3
"	25—26 августа	0,45139—0,45694	3
"	1—2 октября	0,30764—0,41250	4
II минимум	17—18 мая	0,96528—1,08542	10
"	19—20 мая	0,98889—1,04722	8
II максимум	23—24 апреля	1,66319—1,69167	2
"	38—29 мая	1,60278—1,64194	4
"	26—27 августа	1,37500—1,42569	4

10 спектрограмм, II минимум — 18 спектрограмм и II максимум — 10 спектрограмм. Для всякой фазы имеем спектрограммы из двух или трех серий (даты) наблюдений — табл. 2. В колонке 3 таблицы для каждой даты даны фазы для первой и последней спектрограммы серии в днях

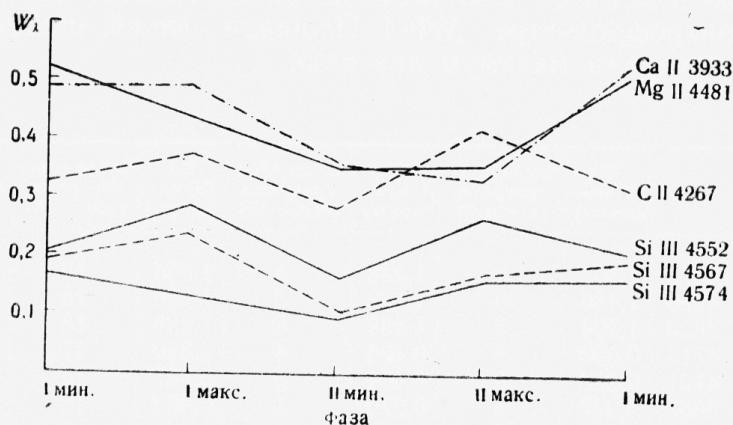


Рис. 1

($P=2^d,05102$). Эквивалентные ширины для каждой фазы усреднены, при этом для площадей отдельных линий принят различный вес (от 1 до 3), в зависимости от положения линии на характеристической кривой и качества ее на спектрограмме.

Заметим, что на наших спектрограммах есть линии бальмеровской серии от H_α до H_{16} и линии He I λ 4471, 4026, 3820, 4713, 4121, 3867, 4922, 4388, 4144, 4009, 3927, 3872, 4438 и 4169, т. е. все возможные линии He I, которые наблюдаются в В звездах [7], за исключением 3965, которая находится в крыле H_ϵ , и слабых линий резкой серии синглетов λ 4024 (блендирована λ 4026), 3935 (блендирована частично λ 3933) и 3878, находящейся в крыле H_ζ . Впервые в спектре 68 u Геркулеса измерены и линии Si III λ 4567 и 4574.

На рис. 1 представлены интенсивности (W_λ) линий Ca II 3933, Mg II 4481, C II 4267 и Si III λ 4552, 4567 и 4574 для 4 нормальных точек, которые соответствуют I минимуму, I максимуму, II минимуму и II максимуму. Из графиков видно, что интенсивность линии C II 4267 в среднем меньше интенсивностей линий Ca II 3933 и Mg II 4481. На спектрограммах 1939 г. линия C II 4267 тоже слабее линии λ 3933 и 4481 [4], но здесь ее интенсивность относительно больше — W_λ в среднем приблизительно 0,350, в то время как у В. А. Крата, как упоминалось, она неизмерима. Изменения в интенсивности C II 4267 в использованных нами в работе спектрограммах подобны Si III 4552 и другим линиям и соответствуют изменениям кривой блеска, при этом в II минимуме интенсивность ее меньше, чем в I. На основании этих результатов цитированное утверждение В. А. Крата относительно этой линии в спектре u Геркулеса неприемлемо для периода 1962 г.

Линии Ca II 3933 и Mg II 4481 имеют близкие интенсивности и близкий характер в четырех различных исследованных фазах. Наблюдаемое иногда

Смито равенство интенсивностей Mg II 4481 в первичном и вторичном минимуме [5] у нас не обнаруживается. Следовательно, на основе нашего наблюдательного материала тоже не могут получиться выводы о спектральном классе слабого компонента способом, цитированным выше [6]. Интересно, что обе линии имеют повышенную интенсивность и после I минимума, а пониженную — и после II минимума, при этом для I максимума эффект сильнее выражен у Ca II 3933. Из этих результатов можно сделать предположение об эвентуальном наличии потока вещества от более яркого к более слабому звездному компоненту. Мы надеемся исследовать этот вопрос, основываясь на результатах измерения возможно большего числа спектрограмм, которые включают и промежуточные фазы. Было бы полезно с помощью результатов измерения линий гелия исследовать более подробно, насколько на интенсивность линии λ 3933 может влиять блендирование He I 3935.

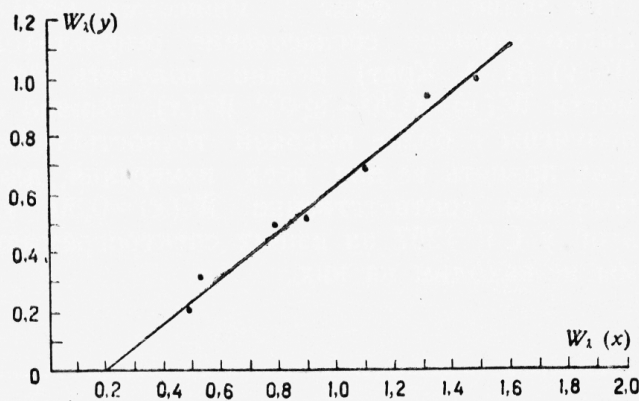


Рис. 2

Мы обратили особое внимание на нахождение линии Si IV 4116, которая упомянута как новая в исследовании В. А. Крата [4]. В большинстве случаев в наших спектрограммах ее положение находится в крайних областях длинноволнового крыла H_δ , где установление слабой линии затруднительно, а определение интенсивности подобной линии сопровождается большими ошибками.

В случае I максимума, II минимума и I минимума мы имеем иногда понижение длинноволнового крыла H_δ на участке около 4116 Å по отношению к симметричной части в ее коротковолновом крыле. Это можно принять как указание существования линии λ 4116 в этих спектрах. В табл. 1

Таблица 3

Элемент	λ	W_λ	
		В. Крат фаза 0,031[4]	Б. Ковачев I минимум
Mg II	4481	0,32	0,522
He I	4922	(0)	0,754
"	4471	0,93	1,307
"	4388	0,69	1,097
"	4144	0,52(4)	0,891
"	4026	1,00	1,486
"	4009	0,49	0,791
Ca II	3933	0,22(3)	0,498
Si IV	4116	0,09	—

для I максимума есть след линии на 3 спектрограммах из 10 измеренных, а при II максимуме — на 1 из 10. Подобное появление при наблюдаемой интенсивности может быть отнесено в большой степени к зерну пластинок.

С точки зрения В. А. Крата линия принадлежит к яркому компоненту, а у нас след этой линии во II минимуме, когда получается спектр этой звезды, есть только на одной из 18 спектрограмм. Следовательно,

существование линии λ 4116 на наших спектрограммах за редким исключением сомнительно, и наши данные в этом отношении больше согласуются с результатами Бэкера [2] и Смита [5].

На рис. 2 по данным табл. 3 сопоставлены интенсивности линий, измеренных В. А. Кратом для фазы $0^d,031$, с нашими данными для W_λ этих линий у фазы I минимума ($2^d,044-0^d,063$) — 9 спектрограмм. Видно хорошее согласование результатов для всех линий. В среднем $W_\lambda(y)$ (В. А. Крат) можно получить от $W_\lambda(x)$ (В. Ковачев) из зависимости $W_\lambda(y) = 0,20 + \text{tg}40^\circ W_\lambda(x)$. Можно считать, что значения для $W_\lambda(x)$ получены с более высокой точностью ($\text{tg} 40^\circ < 1$). По этой зависимости, если принять ее для всех измерений, для $W_\lambda(y) = 0,09$ линии Si IV 4116, получаем соответственно $W_\lambda(x) = 0,30$, т. е. интенсивность, близкую к этой у Si II 4267 на наших спектрограммах. Однако такую сильную линию мы не находим на них.

Таблица 4

Серия	λ	$\lg \lambda^2 f$	c_λ	W_λ		$\lg W_\lambda$		$\lg N_r H$	
				I минимум	II минимум	I минимум	II минимум	I минимум	II минимум
2^3P-n^3D	4472	— 9,6090	13,64	1,307	1,363	0,116	0,134	13,76	13,77
"	4026	—10,1212	14,13	1,486	1,499	0,172	0,176	14,30	14,31
"	3820	—10,4690	14,47	1,104	1,298	0,043	0,113	14,51	14,58
2^3P-n^3S	4713	— 9,8894	15,03	0,350	0,340	1,544	1,531	14,57	14,56
"	4121	—11,1000	15,82	0,390	0,507	1,591	1,705	15,41	15,52
"	3867	—11,5200	16,37	0,227	0,303	1,356	1,481	15,73	15,85

Заметим, что только на расстоянии 5 \AA от λ 4116 в сторону длинноволнового конца спектра мы имеем на всех наших спектрограммах интенсивную линию гелия λ 4121. Эта линия не упоминается в работе В. А. Крата [4].

Наличие линии He I 4121 в спектрах и Геркулеса могло бы быть обосновано и предсказано и на следующем основании: без линии λ 4121 мы бы могли по данным табл. 4, которые основываются на результатах табл. 1, построить для данной фазы кривую, определенную из зависимости между $\lg \lambda^2 f$ и $\lg N_r H$, где f — сила осциллятора, а

$$\lg N_r H = \lg W_\lambda + c_\lambda$$

где

$$c_\lambda = \lg \frac{mc^2}{\pi e^2 \lambda^2 f}$$

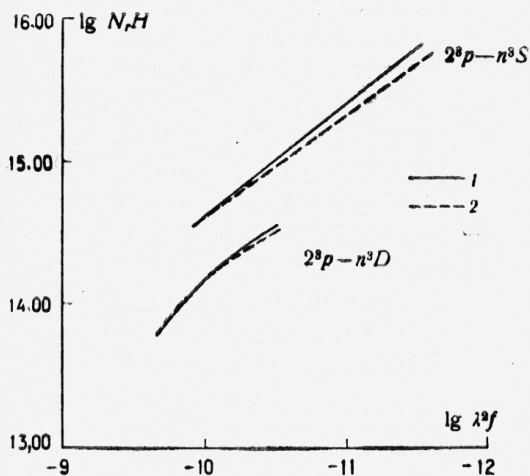


Рис. 3
1 — II минимум; 2 — I минимум

для серий 2^3P-n^3D и 2^3P-n^3S He I (рис. 3). Линия He I 4121 принадлежит серии 2^3P-n^3S и, следовательно, из полученного графика мы можем найти для λ 4121 по $\lg\lambda^2f$ соответствующую оценку для $\lg N_r H$ той же линии. График для серии 2^3P-n^3D дает нам дополнительную картину точности измерения. Этот результат нам покажет, какую приблизительно интенсивность нужно было бы иметь линии He I 4121 в наших спектрах. Из графиков, построенных для I и II минимума на рис. 3, и данных в табл. 4 видно, что предсказанные и полученные от измерений интенсивности He I 4121 результаты для $\lg N_r H$ этой линии совпадают. (Через крайние точки графиков для серии 2^3P-n^3S , ввиду отсутствия промежуточных точек, мы можем провести прямые линии, на которых оказываются и лежат вычисленные из наблюдений оценки $\lg N_r H$ для λ 4121.)

В I минимуме мы имеем для линии He I 4121 $W_\lambda=0,390$ (табл. 1), что по графику на рис. 2 дало бы для спектрограмм В. А. Крата $W_\lambda=0,170$. Это больше, чем W_λ линии Si IV 4116, измеренной В. А. Кратом (0,09). Вопреки этому, интересно, что в [4] не упоминается наличие линии He I 4121.

Если принять во внимание существование линии Si IV 4116, то приходим к выводу, что ее интенсивность после 1939 г. снова уменьшилась до величины, близкой той, которую, как можно предположить, она имела и при наблюдениях 1908 г. На основе этих результатов, подкрепляемых данными Смита за 1944 г. [5], можно считать, что нет заметного монотонного расширения хромосферы яркого компонента в системе и Геркулеса, предположенного в одном из вариантов, предложенных В. А. Кратом.

Вопрос о периодических изменениях в интенсивности Si IV 4116 и наличии в настоящее время этой линии в спектре и Геркулеса остается в известной степени открытым.

Обнаруженное В. А. Кратом изменение интенсивности линии Ca II 3933 для большого интервала времени было снова найдено при измерении наших спектрограмм.

В заключение, считаю приятным долгом поблагодарить Руководство Крымской астрофизической обсерватории и Заведущего Звездным отделом обсерватории д-ра физ.-мат. наук В. Б. Никонова за предоставленную мне возможность получить на 1,22 метровом телескопе обширный наблюдательный материал для и Геркулеса, а также своего руководителя во время специализации старшего научного сотрудника И. М. Копылова, который обратил мое внимание на этот объект.

Выражаю благодарность также Ж. Златевой и И. Тошеву за их помощь при обработке регистрограмм.

Поступила на 27. XII. 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов И. М., Известия КРАО, 20, 1958, 188.
2. Vaker R. H., Allegh. Publ., 1, Nr 11, 1910, 77.
3. Библиография спектрально-двойных звезд, ред. Мартынов Д. Я., Астр. совет АН СССР, Москва, 1962, 390.
4. Крат В. А., Известия ГАО в Пулкове, XVII, 2, № 137, 1947, 39.

5. Smith B., *Ap. J.*, **102**, 1945, 500.

6. Гольдберг-Рогозинская Н. М., *Известия ГАО (в Пулкове)*, XVIII, 6, № 147 1951, 64.

7. Struve O., *Ap. J.*, **74**, No. 4, 1931, 225.

ON THE CHANGE IN THE INTENSITIES OF SPECTRAL LINES IN THE ECLIPSING VARIABLE STAR 68 u HERCULIS

B. Kovachev

(Summary)

The lines Mg II 4481, C II 4267, Ca II 3933, Si III 4552, 4567 and 4574 have been studied on the basis of 47 spectrograms obtained during the period April—November 1962 by the grating spectrograph of the 1.22-metre telescope of the Crimean Astrophysical Observatory with dispersion 36 Å/mm, grouped for minimums and maximums in the light curve of the spectrographic binary eclipsing-variable star 68 u Herculis, and new data are given on the changes in them over a longer period. It is shown that the existing hypothesis of the monotone expansion of the chromosphere of the bright component of the system u Herculis does not find confirmation. Along with that the intensities have been measured of lines from 2^3P-n^3D , 2^3P-n^3S , 2^1P-n^1D and 2^1P-n^1S , the series of He I and the question of the presence of Si IV 4116 are discussed. The results obtained are compared with earlier investigations. On the basis of the changes in the intensities of the lines Ca II 3933 and Mg II 4481, depending on the phases (Fig. 1), considerations are put forth in support of the assumption of the presence of a flow from the brighter to the fainter component of the system.