БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ * BULGARIAN ACADEMY OF SCIENCES
ИЗВЕСТИЯ НА СЕКЦИЯТА ПО АСТРОНОМИЯ
BULLETIN OF THE SECTION OF ASTRONOMY
Том (Vol.) III

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА 102 ХЕРКУЛЕС

Климент Ковачев и Богомил Ковачев

Звездата 102 Херкулес (HD 166182), $\alpha = 18^h06^m37^s$, $\delta = +20^o48'19''$ $m_v = 4{,}32$, от спектрален клас B2 III [1] може да се счита за характерен представител на този тип звезди в двойни системи.

Настояща работа за 102 Херкулес е направена във връзка със спектрофотометричното изследване на B звезди и необходимостта да разполагаме с обект за сравнение при предприетото от нас изучаване на спектрално-двойната затъмнително-променлива звезда 68u Херкулес.

НАБЛЮДАТЕЛЕН МАТЕРИАЛ

През 1962 и 1963 г. на 1,22-метровия телескоп на Кримската астрофизическа обсерватория бяха получени за звездите от Б. Ковачев на решетъчния спектрограф АСП-11 16 спектрограми върху плаки 103aO и OaO и 2 спектрограми върху плаки 103aF със средна дисперсия 37 Å/mm.

Таблица 1

№	Дата	Начало и край на експонацията	Плака
1	31 май — 1 юни 1962 г.	23^h36^m —23^h38_m	103aO
2	„	23 46 —23 48	„
3	„	24 01 —24 03	„
4	„	24 04 —24 07	„
5	3 — 4 септември 1962 г.	0 23 — 0 25	„
6	„	0 27 — 0 30	„
7	„	0 38 — 0 40	„
8	„	0 50 — 1 10	103aF
9	„	1 12 — 1 37	„
10	17—18 октомври 1963 г.	19 16 —19 20	OaO
11	„	19 22 —19 26	„
12	„	19 29 —19 33	„
13	„	19 35 —19 40	„
14	5—6 ноември 1963 г.	19 54 —19 01	„
15	„	19 04 —19 16	„
16	„	19 28 —19 42	„
17	„	19 44 —19 58	„
18	„	20 08 —20 18	„

В табл. 1 са посочени данни за времето и продължителността на експонацията. За интервала $\lambda\lambda$ 3600—5000 Å експонациите са били между 2 и 14 min за получаване на измерваните отделни области в праволинейната част на характеристичната крива, а за плаките 103aF—20 и 25 min. Широчината на получените спектри върху плаките е 0,5 mm. Почерняванията са равномерни по широчината на спектъра (без ивици) и лежат в средния почти праволинеен интервал на съответните характеристични криви.

От разглеждането на спектрите на екрана на микрофотометъра по време на регистрация за отбелязване на отделни дефекти (при увеличение 30 пъти) и казаното по-горе се установи, че наблюдателният материал е от високо качество.

ОБРАБОТКА

Калибрирането, обработката и измерването на спектрограмите е извършено с апаратурата, при условията и по начина, описани в [2]. Непрекъснатият спектър е прекаран плавно по средата на колебанията от зърната на плаката в сравнително свободни от линии участъци, а в областта на прекриване на крилата на водородните линии — почти по върховете.

Еквивалентните широчини W_λ на измерените линии на 102 Херкулес от нашия материал за водорода, хелия и останалите елементи са дадени съответно в табл. 2, 3 и 4. Те са получени чрез използване за измерените площи на линиите на съответни тегла от 1 до 3. С n в таблиците е означен броят на използваните спектрограми, върху които е измерена съответната линия, а с m — средното тегло от всичките измервания на площите на дадена линия, което се равнява на средното аритметично от теглата на отделните стойности, получени за всяка регистрограма. Величината nm в последната колонка на таблиците е съответното тегло на еквивалентната широчина W_λ, с което тя се взема при по-нататъшните пресмятания.

ВОДОРОД

Върху получените от нас спектрограми за 102 Херкулес водородните линии от Балмеровата серия са измерени от H_α до H_{17}. В колонки 4 и 8 на табл. 2 са дадени резултатите от измерванията на техните еквивалентни широчини W_λ и остатъчни интензивности R_0 в %. Останалите величини в таблицата имат общоприети или отбелязани по-горе значения.

Стойностите на $\lg N_{02}H$ са пресметнати за оптично тънък слой по формулата

$$\lg N_{02}H = \lg W_\lambda + c_\lambda, \tag{1}$$

където

$$c_\lambda = \frac{m_e c^2}{\pi e^2 \lambda^2 f}.$$

С помощта на фиг. 1, дето по ординатата са нанесени пресметнатите стойности на $\lg N_{02}H$ от (1) за отделните линии на Балмеровата, серия, а по абсцисата — съответните стойности на $\lg f$, е получена крива, която ни

Таблица 2

H I

H I	λ	$\lg f$	W_λ	$\lg W_\lambda$	c_λ	$\lg N_{02}$H	R_0%	n	nm
H_{17}	3697,15	$\bar{4}$,862	0,704	$\bar{1}$,85	16,03	15,88	16,8	8	15
H_{16}(He I)	3703,86	$\bar{4}$,943	1,303	0,12	15,97	16,09	31,4	11	28
H_{15}	3711,98	$\bar{3}$,030	1,263	0,10	15,88	15,98	29,1	11	27
H_{14}	3721,95	$\bar{3}$,122	1,685	0,23	15,79	16,02	32,8	11	29
H_{13}	3743,37	$\bar{3}$,224	2,243	0,35	15,69	16,04	40,2	11	29
H_{12}	3750,15	$\bar{3}$,332	3,112	0,49	15,57	16,06	47,9	11	26
H_{11}	3770,63	$\bar{3}$,452	3,868	0,59	15,45	16,04	52,2	11	27
H_{10}	3797,91	$\bar{3}$,586	4,786	0,68	15,30	15,98	53,2	11	30
H_9	3835,40	$\bar{3}$,734	4,623	0,66	15,14	15,80	53,0	12	30
H_8	3889,06	$\bar{3}$,904	5,062	0,70	14,96	15,66	57,5	13	27
$H\varepsilon$	3970,07	$\bar{2}$,104	4,836	0,68	14,75	15,43	57,5	15	29
$H\delta$	4101,74	$\bar{2}$,344	4,874	0,69	14,48	15,17	55,8	15	30
$H\gamma$	4340,47	$\bar{2}$,650	5,284	0,72	14,13	14,85	55,7	15	38
$H\beta$	4861,33	$\bar{1}$,077	4,008	0,60	13,59	14,19	48,5	8	16

дава една долна граница на броя на атомите на водорода във второ квантово състояние

(2) $$\lg N_{02}\,\mathrm{H} = 16{,}06.$$

Тази стойност може да се приеме за търсеното обилие на $\lg N_{02}$ H.

Броят на йоните на водорода ($\lg N_{\mathrm{H}}$ H) в стълб от атмосферата на звездата с основа 1 cm² намираме по формулата, получена от комбинирането на уравненията на Саха и Болцман [3]:

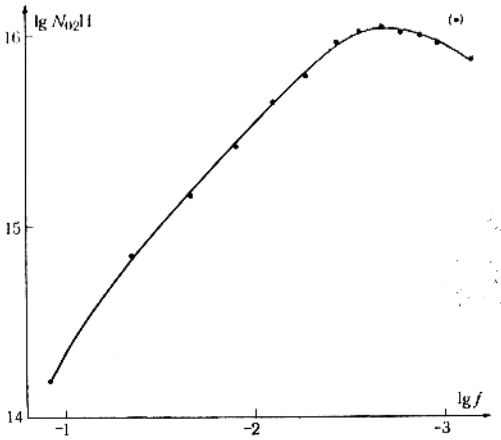
(3) $$\lg N_{\mathrm{H}}\,\mathrm{H} = \lg N_{02}\,\mathrm{H} - \lg n_e + 14{,}78 - 3{,}39\frac{5040}{T_и} + \frac{3}{2}\lg T_и.$$

Предварително пресмятаме неизвестните в дясната страна на равенството (3) електронна плътност n_e и йонизационна температура $T_и$.

Както и в предишни работи, и тук електронната плътност n_e намираме по два начина — за условията на оптично тънък и оптично дебел слой:

1. От формулата на Инглис—Теллер

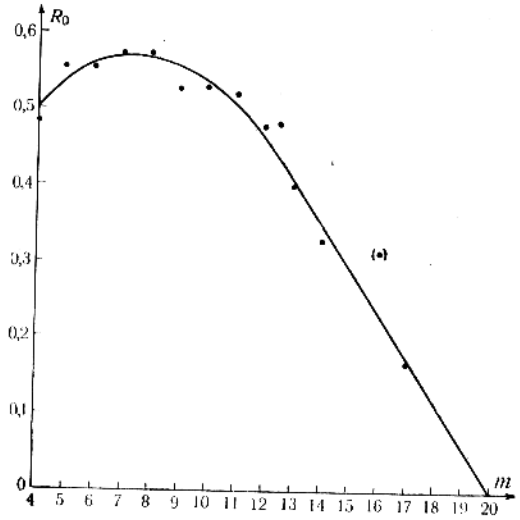
(4) $$\lg n_e = 23{,}26 - 7{,}5\lg m,$$



Фиг. 1. Графика за определяне на lg N_{02}H

дето m е последната видима отделно в спектъра на звездата линия от Балмеровата серия, намираме n_e за условията на оптично тънък слой. За целта на фиг. 2, където по ордината е нанесена централната дълбочина R_0 на линиите на водорода, а по абсцисата — поредният номер в Балме-

ровата серия, е получена кривата, която ни дава максималната стойност на централната дълбочина на линия в спектъра на звездата R_c, а нейното екстраполиране до пресичането ѝ с абсцисата — номера m на последната видима линия от Балмеровата серия, който фигурира в (4). Фактически за m може да се отчете число, което да не е цяло. В нашия случай получаваме $R_c = 0{,}575$ и $m = 20$. От (14) намираме



Фиг. 2. Зависимост на централната дълбочина R_0 от номера n за водородните линии. Определяне на R_c и m

(5) $$\lg n_e = 13{,}50.$$

2. Формулата на Холстмарк [4]

(6) $$W_\lambda^{5/2} = kN_{02}\mathrm{H}n_e\left(\frac{R_c}{0{,}45}\right)^{3/2},$$

която е в сила за абсорбираните в оптично дебел слой първи членове на Балмеровата серия, ни дава за всяка от тези линии съответна стойност за n_e. В (6) значенията на R_c и $N_{02}\mathrm{H}$ представляват максималните стойности за тези величини, получени от фиг. 1 и фиг. 2, а $-\lg K$ за H_β, H_γ и H_δ е равно съответно на 28,26, 29,10 и 29,18.

В нашия случай по (6) пресмятаме

$$\lg n_e(\mathrm{H}_\beta) = 14{,}15, \quad \lg n_e(\mathrm{H}_\gamma) = 14{,}69, \quad \lg n_e(\mathrm{H}_\delta) = 14{,}68.$$

Като дадем на тези резултати съответните тегла nm (табл. 2), намираме средно

(7) $$\lg n_{e\,\mathrm{ср}} = 14{,}58.$$

Разликата в стойностите на $\lg n_e$, получени по двата метода от (4) и (6), е

(8) $$\Delta \lg n_e = \lg n_e(7) - \lg n_e(5) = 1{,}08.$$

Понеже използваните спектрални линии се тълкуват в условията на оптично тънък слой, в следващите пресмятания сме взели стойността на $\lg n_e$, получена от (4).

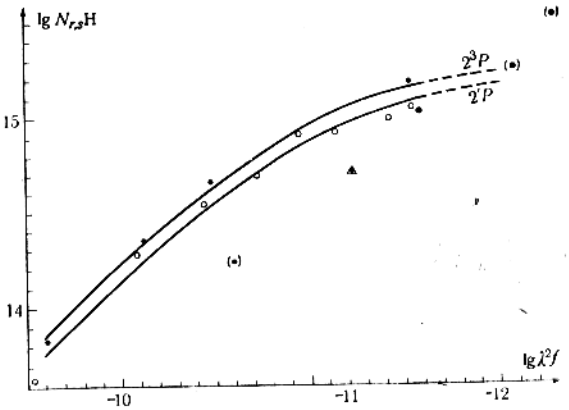
Като разполагаме с обилията $\lg (N_i\mathrm{H}/g_i)$, получени с помощта на кривата на ръста за две последователни йонизационни състояния на елемента силиций, пресмятаме стойността на йонизационната температура по формулата на Болцман и намираме в (21) $T_и = 22\,600°$. Със стойностите за $\lg n_e$ от (5) и $T_и$ от (21) получаваме от (3)

(9) $$\lg N_{\mathrm{H}}\mathrm{H} = 23{,}11.$$

Както се изяснява например в [4], можем да приемем, че (9) дава пълния брой на водородните атоми в стълб с основа 1 cm² от атмосферата на звездата.

ХЕЛИИ

В табл. 3 са представени резултатите от измерването на линиите на хелия, които се отнасят към сериите 2^3P-n^3D, 2^3P-n^3S, 2^1P-n^1S, 2^1P-n^1D и 2^1S-n^1P. Стойностите на c_λ, необходими за пресмятането на



Фиг. 3. Графика за определяне на lg NH за нивата 2^3P и 2^1P на неутралния хелий

lg $N_{r,s}$H по (1) за условията на оптично тънък слой, са взети от [2]. Линията λ 3964,7 (2^1S-n^1P) възниква по всяка вероятност в оптично дебел слой и не се използва тук за пресмятането на обилието на хелия.

Таблица 3

He I

Серия	λ (бленда)	lg f	lg $\lambda^2 f$	c_λ	W_λ	lg W_λ	lg $N_{r,s}$H	n	nm
2^3P-n^3D	4471,5	—0,910	— 9,61	13,662	1,513	0,18	13,84	15	37
	4026,2 (He I)	—1,331	—10,12	14,174	1,546	0,19	14,36	15	36
	3819,6	—1,631	—10,47	14,520	1,427	0,15	14,67	13	31
2^3P-n^3S	4713,3	—1,936	—10,59	14,642	0,409	1,61	14,25	12	25
	4120,9 (O II, S II, Fe III)	—2,330	—11,10	15,153	0,605	1,78	14,93	15	32
	3867,6	—2,695	—11,52	15,573	0,411	1,61	15,19	13	28
2^1P-n^1D	4921,9	—0,919	— 9,54	13,588	1,125	0,05	13,64	4	11
	4387,9	—1,366	—10,08	14,134	1,143	0,16	14,29	15	37
	4143,8	—1,674	—10,44	14,492	1,164	0,07	14,56	15	30
	4009,3	—1,928	—10,72	14,755	0,879	1,94	14,70	15	34
	3926,5	—2,131	—10,94	14,996	0,834	1,92	14,92	13	26
	3871,8	—2,303	—11,13	15,180	0,561	1,75	14,93	13	26
	3805,8	—2,584	—11,42	15,475	0,341	1,53	15,00	2	4
	3784,9	—2,697	—11,54	15,594	0,297	1,47	15,06	7	16
2^1P-n^1S	4437,5	—2,519	—11,22	15,278	0,280	1,45	14,73	13	25
	4168,9 (O II)	—2,821	—11,58	15,634	0,257	1,41	15,04	14	28
	3935,9	—3,259	—12,07	16,122	0,136	1,13	15,26	5	9
	3878,2	—3,432	—12,26	16,308	0,176	1,24	15,55	4	8
2^1S-n^1P	3964,7	—	—	—	0,243	1,38	—	3	3

От фиг. 3, където са нанесени величините $\lg N_{r,s}\mathrm{H}$ във функция от $\lg \lambda^2 f$, по кривите 2^3P и 2^1P се отчитат следните долни граници за броя на атомите на хелия:

$$\lg N_{2^3P}\mathrm{H}=15{,}22, \quad \lg N_{2^1P}\mathrm{H}=15{,}18.$$

Статистическите тегла на двете основни нива 2^3P и 2^1P са $g_{2^3P}=9$ и $g_{2^1P}=3$ и тогава

$$\lg \frac{N_{r,s}\mathrm{H}}{g_{r,s}}(2^3P)=14{,}27, \qquad \lg \frac{N_{r,s}\mathrm{H}}{g_{r,s}}(2^1P)=14{,}70.$$

От комбинирането на уравненията на Саха и Болцман имаме [5]

$$\lg N_{r+1}\mathrm{H}=\lg \frac{N_{r,s}\mathrm{H}}{g_{r,s}}+\lg u_{r+1}-\lg n_e+15{,}68-\frac{5040}{T_и}(\chi_r-\chi_{r,s})+\frac{3}{2}\lg T_и, \tag{10}$$

където за He I $\lg u_{r+1}=0{,}30$, $\chi_r=24{,}58$, $\chi_{r,s}(2^3P)=20{,}87$ и $\chi_{r,s}(2^1P)=21{,}13$. Като поставим в (10) тези стойности и $\lg n_e$ от (5), а $T_и$ — от (21), получаваме

$$\lg N_{r+1}\mathrm{H}(2^3P)=22{,}45, \quad \lg N_{r+1}\mathrm{H}(2^1P)=22{,}94,$$

отдето, вземайки двата резултата с равно тегло, намираме за обилието на йонизирания хелий средната стойност

$$\lg N_{\mathrm{He}}\mathrm{H}=22{,}60. \tag{11}$$

От (9) и (11) за съотношението на броя на атомите на водорода и хелия в атмосферата на звездата получаваме

$$\lg \frac{N_{\mathrm{H}}}{N_{\mathrm{He}}}=0{,}51. \tag{12}$$

ОСТАНАЛИ ЕЛЕМЕНТИ

В табл. 4 са дадени стойностите на $\lg(W_\lambda/\lambda).10^6$ за измерените върху получените спектрограми линии на O II, N II, N III, Si II, Si III, Si IV, C II, C III, S II, S III, Mg II, Ca II, Al III наред с данните за E. P., $\lg gf\lambda$ и пресметнатите с помощта на кривата на ръста $\lg \eta_0$ и $\lg(N_i\mathrm{H}/g_i)$.

Стойностите на $\lg(W_\lambda/\lambda).10^6$, както се спомена, са получени чрез усредняване със съответно тегло (от 1 до 3) на измерванията от отделните спектрограми. Величината nm е теглото на линията при пресмятането на обилието на съответния елемент.

Крива на ръста

За пресмятане на турбулентната скорост v_t в атмосферата на звездата и величините, които определят броя на атомите или йоните на дадени енергетични нива $\lg(N_i\mathrm{H}/g_i)$, необходими за пресмятанията на броя на атомите или йоните в стълб от атмосферата на звездата с основа 1 cm² и оттам на химическия й състав, ние използваме кривата на ръста на А. Унзолд, построена по данните на К. Хунгер [8].

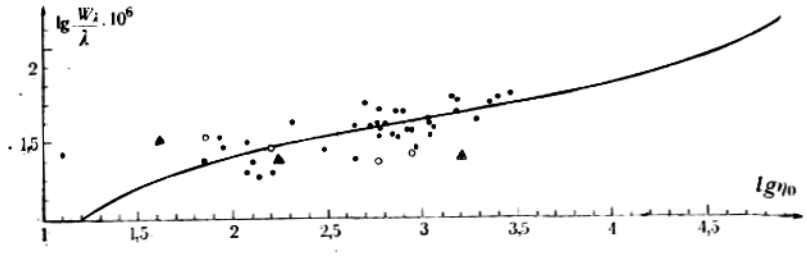
Таблица 4

Елемент (бленда)	Мультиплет	λ	E. P.	lg gf λ	lg $\frac{W_\lambda}{\lambda}10^6$	lg ε_0	lg $\frac{N_i H}{g_i}$	n	nm
O II	1	4638,8	22,87	—4,50	1,60	2,81	13,58	5	10
„ (N III)	1	4641,8	22,88	—4,11	1,69	3,32	13,70	7	13
„ (C III)	1	4649,2	22,90	—3,78	1,81	3,92	13,97	8	17
„	1	4661,6	22,88	—4,42	1,56	2,58	13,27	6	8
„ (C III)	1	4673,8	22,88	—5,25	1,39	1,85	13,37	3	5
„	1	4676,2	22,90	—4,55	1,44	2,03	12,85	4	5
„	2	4317,1	22,87	—4,62	1,68	3,26	14,15	8	14
„	2	4319,6	22,88	—4,59	1,68	3,26	14,12	8	15
„	2	4325,8	22,87	—5,31	1,58	2,70	14,28	3	6
„	2	4366,9	22,90	—4,49	1,74	3,59	14,35	10	17
„	5	4414,9	23,34	—3,99	1,67	3,20	13,46	7	14
„	5	4417,0	23,32	—4,24	1,83	4,00	14,51	5	8
„	5	4452,4	23,34	—4,98	1,66	3,14	14,39	5	9
„	6	3945,0	23,32	—5,06	1,66	3,14	14,47	6	9
„	6	3954,4	23,32	—4,67	1,70	3,39	14,33	8	15
„	6	3982,7	23,34	—5,00	1,78	3,79	15,06	7	12
„	10	4069,9	25,53	—3,73	1,65	3,08	13,08	13	21
„	10	4072,2	25,54	—3,75	1,61	2,86	12,88	13	20
„ (Fe III)	10	4075,9	25,55	—3,60	1,80	3,88	13,75	10	19
„	10	4078,9	25,53	—4,58	1,42	1,95	12,80	4	5
„	10	4085,1	25,54	—4,47	1,68	3,26	14,00	6	6
„	12	3851,0	25,54	—4,84	1,55	2,52	13,63	6	11
„	12	3864,5	25,54	—4,68	1,46	2,10	13,05	3	8
„	12	3882,3	25,55	—4,36	1,58	2,70	13,33	2	2
„	15	4591,0	25,55	—3,85	1,64	3,02	13,14	6	11
„	15	4596,2	25,55	—4,01	1,64	3,02	13,30	8	18
„	17	3912,0	25,55	—3,93	1,73	3,54	13,74	8	17
„	19	4132,8	25,72	—4,39	1,68	3,26	13,92	7	11
„ (SII)	19	4153,3	25,73	—4,24	1,77	3,59	14,10	12	23
„	25	4699,2	26,11	—3,83	1,48	2,20	12,30	4	6
„	25	4705,4	26,14	—3,64	1,52	2,38	12,29	2	4
„	26	4369,3	26,11	—4,65	1,65	3,08	14,00	6	8
„	26	4396,0	26,14	—4,39	1,53	2,42	13,07	8	15
„ (S II)	36	4189,8	28,24	—3,58	1,56	2,58	12,43	10	20
„	40	4703,2	28,39	—3,96	1,48	2,20	12,43	1	3
„ (Si IV)	48	4089,3	28,58	—3,49	1,65	3,08	12,84	3	4
„	54	4303,8	28,70	—4,72	1,54	2,20	13,19	11	19
„	64	4315,6	28,73	—5,35	1,58	2,70	14,32	6	9
„ (O II)	67	4275,5	28,73	—3,76	1,50	2,28	12,31	10	18
„ (Fe II, Al III)	86	4491,2	28,82	—3,82	1,47	2,15	12,24	9	19
„ (S III)	101	4253,8	31,18	—3,21	1,63	2,97	12,45	11	25
„	102	4378,4	31,24	—4,05	1,48	2,20	12,52	4	9
N II	5	4601,5	18,39	—4,74	1,61	2,68	13,87	6	11
„	5	4607,2	18,38	—4,83	1,61	2,86	13,96	7	15
„ (Fe III)	5	4613,9	18,39	—4,96	1,49	2,24	13,47	5	9
„	5	4621,4	18,39	—4,83	1,75	3,65	14,75	5	6
„	5	4630,9	18,40	—4,24	1,79	3,84	14,35	6	12
„	12	3995,0	18,42	—4,20	1,81	3,92	14,39	14	25
„	15	4447,0	20,32	—4,26	1,63	2,97	13,50	10	18
„ (O II)	30	3856	21,07	—	1,75	3,65	—	8	17
„ (Al II)	33	4227,7	21,51	—4,57	1,50	2,28	13,12	9	14
„ (O II)	39	4041,3	23,04	—3,47	1,53	2,42	12,16	10	12
„	39	4043,5	23,03	—3,61	1,42	1,95	11,83	8	10
„	42	4176,2	23,10	—3,27	1,60	2,81	12,35	10	17
„	48	4237,0	23,14	—	1,55	2,52	—	9	18
„	48	4241,8	23,14	—	1,55	2,52	—	10	21
„	55	4432,7	23,31	—	1,67	3,20	—	11	22

Елемент (бленда)	Мултиплет	λ	E. P.	lg $gf\lambda$	lg $\frac{W_\lambda}{\lambda}10^6$	lg η_0	lg $\frac{N_i H}{g_i}$	n	nm
N II	55	4442,0	23,32	—	1,37	1,79	—	5	8
S III	3	4510,9	35,50	—4,37	1,41	1,92	12,56	5	10
„	16	4003,6	39,23	—3,78	1,48	2,20	12,25	8	12
Si II	1	3862,6	6,83	—	1,71	3,44	—	7	17
„	3	4128,1	9,79	—3,78	1,71	3,44	—	7	14
„	3	4130,9	9,80	—3,61	1,77	3,74	—	8	13
Si III (N II)	2	4552,6	18,92	—4,04	1,82	3,96	14,27	14	31
„	2	4567,8	18,92	—4,25	1,65	3,08	13,60	12	22
„	2	4574,8	18,92	—4,72	1,54	2,48	13,47	12	19
„	9	4813,3	25,85	—	1,63	2,97	—	4	9
„	9	4829,0	25,86	—	1,71	3,44	—	2	4
Si IV	1	4116,1	23,95	—4,20	1,71	3,44	13,91	3	8
C II (N II)	4	3920,7	16,25	—4,67	1,99	4,50	15,44	12	25
„	6	4267,3	17,97	—3,40	1,96	4,41	14,08	13	26
„	33	3876,5	24,17	—3,11	1,89	4,20	13,58	8	15
„	39	4411,5	24,50	—3,56	1,53	2,42	12,25	7	13
„	50	4618,8	—	—	1,67	3,20	—	5	8
C III	24	4056,1	40,02	—3,98	1,48	2,20	12,45	10	19
S II (C III)	44 21	4162,7	15,88	—5,24	1,64	3,02	14,53	10	19
S III (O II)	4	4285,0	18,11	—3,27	1,62	2,92	12,46	11	21
Mg II	4	4481,2	8,83	—3,35	2,05	4,65	14,27	15	30
Ca II	1	3933,7	—	—	2,02	4,58	—	14	21
He II (N III)	3(6)	4199,8	—	—	1,46	2,10	—	6	10
Al III	3	4512,5	17,73	—	1,38	1,82	—	2	4
„ (N II)	3(39)	4529—30,4	17,74	—	1,59	2,27	—	11	19

Теоретичната крива на ръста е построена с координати

$$X=\lg\frac{N_i H f\lambda}{2R_c\pi v_D}=\eta_0,\quad Y=\lg\frac{W_\lambda}{\lambda}\frac{c}{2R_c v_D}, \tag{13}$$



Фиг. 4. Крива на ръста, построена по мултиплети на O II, N II и Si III

дето v_D е пълната доплерова скорост. Опитната крива е построена по резултатите за O II, N II и Si III, дадени в табл. 4, по познатия начин при съответните координати

$$x=\lg\frac{W_\lambda}{\lambda}\cdot 10^6,\quad y=\lg gf\lambda. \tag{14}$$

Опитната крива на ръста е съвместена с теоретичната в случая $\lg 2a = -2$. Част от последната е дадена заедно с точките от построяването на опитната крива на ръста на фиг. 4.

Определяне на турбулентната скорост в атмосферата на звездата

От съпоставянето на опитната с избраната теоретична крива на ръста получаваме (вж. например [2]) пълната доплерова скорост v_D по формулата

$$\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} 10^6 - \lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \frac{c}{2R_c v_D} = \lg \frac{2R_c v_D}{c} 10^6 = \Delta. \tag{15}$$

В случая имаме $R_c = 0{,}575$ и $\Delta = 1{,}30$, откъдето

$$v_D = 5{,}2 \text{ km/s}. \tag{16}$$

Турбулентната скорост v_t определяме от равенството

$$v_D^2 = v_\tau^2 + v_t^2,$$

дето топлинната скорост v_τ намираме от

$$v_\tau^2 = \frac{2RT}{\mu}.$$

Тук $R = 8{,}31 \,.\, 10^7$, $\mu = 16$ (кислород) и полагайки $T = T_и = 22\,600°$, пресмятаме

$$v_\tau = 4{,}8 \text{ km/s}.$$

Тогава

$$v_t = 2 \text{ km/s}.$$

В [9] И. М. Копылов дава таблица за v_t на 109 звезди, дето за 102 Херкулес се привеждат стойности 0, 0 и 6 km/s, определени съответно по O II (мултиплети 1, 2), N II и Si III. Нашият резултат, получен по повече спектрограми и мултиплети, може да се счита за значително по-уверен. Нека отбележим, че според Копылов [9] определянето на v_t по кривата на ръста за едни и същи звезди от различни автори и с различни типове криви на ръста се съпровожда от средна квадратична грешка 20—25 %, а за най-надеждни резултати — до 10—20 %.

Определяне на броя на атомите и йоните, които се намират на определени енергетични нива

От фиг. 4 по кривата на ръста и от резултатите за $\lg(W_\lambda/\lambda) \,.\, 10^6$ (табл. 4) получаваме по ординатата стойностите на $\lg \eta_0$, поместени в колонка 7 на същата таблица, и стойностите на $\lg(N_i \mathrm{H}/g_i)$ от равенството

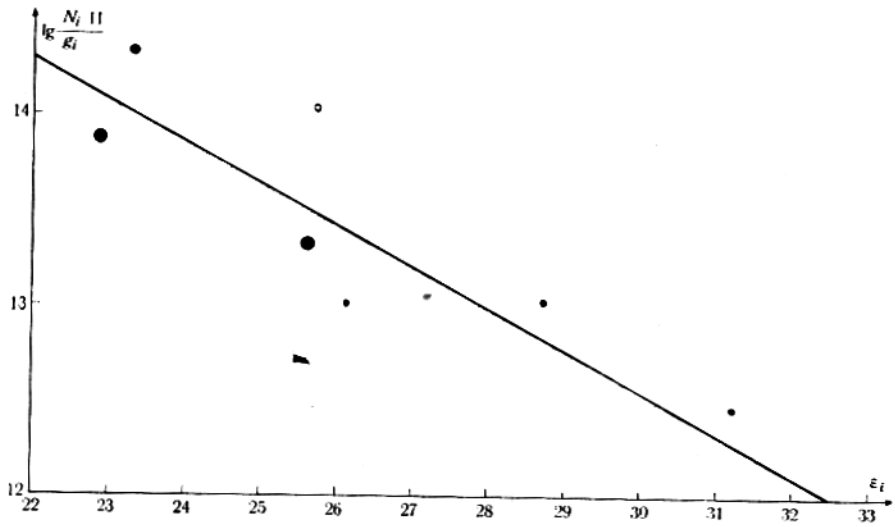
$$\lg \frac{N_i \mathrm{H}}{g_i} = \lg \eta_0 - \lg gf\lambda - \lg \frac{1}{2R_0 v_D \pi}, \tag{17}$$

които са дадени в кол. 8.

Определяне на температурата на възбуждане

Температурата на възбуждане $T_в$ намираме от стойностите на $\lg(N_i H/g_i)$ за отделните енергетични нива на кислорода (табл. 6) посредством формулата на Болцман, представена във вида

$$\lg \frac{N_i H}{g_i} - \lg \frac{N_k H}{g_k} = \Delta = \frac{5040}{T_в} \Delta\varepsilon_{ik}. \tag{18}$$



Фиг. 5. Графика за определяне на $T_в$

На фиг. 5 на ординатата са нанесени средните стойности за $\lg(N_i H/g_i)$ на отделни мултиплети, а на абсцисата — съответните средни потенциали на възбуждане, при това всичко със съответни тегла ($\sum nm$). По-големите кръгчета се отнасят за стойностите с по-голямо тегло. От наклона на правата, изразен чрез $\Delta/\Delta\varepsilon_{ik}$, по (18) получаваме

$$T_в = 23\,000°. \tag{19}$$

Определяне на йонизационната температура

С помощта на стойностите на $\lg(N_i H/g_i)$ за две последователни йонизационни състояния на един и същ елемент по метода на последователните приближения намираме, както и в предишни работи (вж. например [2]), йонизационната температура $T_и$ по формулата

$$T_и = \frac{3360(\chi + \varepsilon_k - \varepsilon_i)}{\frac{2}{3}\lg\left(\frac{1}{n_e^-}\frac{n_i^{++}}{g_i}\frac{g_k}{n_k^{+++}}\right) + 10{,}43 + \lg T_и}. \tag{20}$$

В табл. 5 посредством данните за Si III и Si IV са представени числените стойности на константите и резултатите, получени тук за величи-

ните, които фигурират в (20). От тези данни, като ползваме стойността на $\lg n_e$ от (5) и положим при $\lg T_и$ стойността $T_и = 18\,100°$, получена от ефективната температура за съответния спектрален клас и съотношението между йонизационната температура и ефективната температура [10], в трето приближение, което се явява напълно достатъчно, от (20) намираме

(21) $$T_и = 22\,500°.$$

Таблица 5

Елемент (мултиплет)	$\lg \frac{N_i H}{g_i}$	ε_i, eV	χ, eV	$\lg \frac{N_k H}{g_k}$	ε_k, eV
Si III (2)	13,80	18,92	33,46	—	—
Si IV (1)	—	—	—	13,91	23,95

Една приближена стойност за $T_и$ ние получаваме и по следния начин: в нашия случай от (19) $T_в = 23\,000°$. От $T_в/T_и = 0{,}91$ [10] имаме $T_и = 25\,270°$, или $T_и \approx 25\,000°$. С тази стойност от (20) получаваме отново (21).

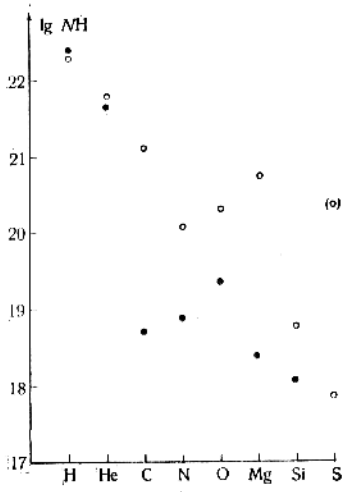
Определяне на обилията $\lg NH$ в съседни йонизирани състояния. Химически състав на атмосферата

При известни електронна плътност, йонизационна температура и обилия на атомите на различни елементи, намиращи се на различни нива на възбуждане за дадено йонизационно състояние, ние пресмятаме понататък броя на тези елементи в следващия стадий на йонизация по формулата, получена от комбинирането на уравненията на Саха и Болцман. Впоследствие чрез сумиране на броя на атомите за йонизационния стадий, в който се намира максималното им количество, и съседните на него ние получаваме общия брой на атомите за даден елемент.

При условията, които съществуват в атмосферата на 102 Херкулес, атомите на кислорода, азота, въглерода, сярата и магнезия се намират в два пъти йонизирано състояние. Този резултат ние лесно получаваме от споменатата по-горе формула (навсякъде е положена йонизационната температура), представена във вида

(22) $$\lg N^{++}H = \lg \frac{N_i^{+}H}{g_i} + \lg u^{++} - \lg n_e + 15{,}68 - \frac{5040}{T_и}(\chi - \varepsilon_i) + \frac{3}{2}\lg T_и.$$

Тук величините $\lg(N_i^{+}H/g_i)$ съответстват на получените в табл. 6 с помощта на



Фиг. 6. Обилие на елементите в атмосферата на 102 Херкулес (○) в сравнение със средния химически състав при B звезди (●)

Таблица 6

Елемент	Атом, йон (мултиплет)	ε_i	χ	$\lg u_r$	$\lg \frac{N_i H}{g_i}$	II $\lg NH$	III $\lg NH$	IV $\lg NH$	V $\lg NH$	$\lg NH$
H	H I	10,15	13,60	—	16,06	23,11	—	—	—	23,11
He	He I 2^3P	20,87	24,58	—	14,27	22,45	—	—	—	—
	2^1P	21,13	„	—	14,70	22,94	—	—	—	—
	Средно	—	—	—	—	22,60	—	—	—	22,60
C	C II (4)	16,25	24,38	0,13	15,44	—	22,46	—	—	—
	(6)	17,97	„	„	14,08	—	21,48	—	—	—
	(33)	24,17	„	„	13,58	—	22,37	—	—	—
	(39)	24,50	„	„	12,25	—	—	—	—	—
	Средно	—	—	—	—	—	22,05	—	—	—
	C III (24)	40,02	47,86	0,32	12,45	—	—	19,72	—	—
	Средно	—	—	—	—	—	—	—	—	21,91
N	N II (5, 12)	18,40	29,60	0,80	14,15	—	21,15	—	—	—
	(15)	20,32	„	„	13,50	—	20,39	—	—	—
	(33)	21,51	„	„	13,12	—	20,82	—	—	—
	(39, 42)	23,05	„	„	12,32	—	20,36	—	—	—
	Средно N II	—	—	—	—	—	20,82	—	—	—
	N III (3)	35,50	47,43	0,04	12,56	—	—	18,64	—	—
	(16)	39,23	„	„	12,25	—	—	19,16	—	—
	Средно N III	—	—	—	—	—	—	18,92	—	—
	Средно	—	—	—	—	—	—	—	—	20,91
O	O II (1, 2)	22,88	35,15	1,02	13,89	—	20,87	—	—	—
	(5, 6)	23,33	„	„	14,33	—	21,40	—	—	—
	(10, 12, 15, 17)	25,54	„	„	13,33	—	20,91	—	—	—
	(19)	25,72	„	„	14,04	—	21,66	—	—	—
	(25, 26)	26,12	„	„	13,06	—	20,77	—	—	—
	(36)	28,24	„	„	12,43	—	20,61	—	—	—
	(40)	28,39	„	„	12,43	—	20,65	—	—	—
	(48)	28,58	„	„	12,84	—	21,10	—	—	—
	(54, 64, 67)	28,72	„	„	13 07	—	21,36	—	—	—
	(86)	28,82	„	„	12,24	—	20,55	—	—	—
	(101, 102)	31,21	„	„	12,47	—	21,32	—	—	—
	Средно	—	—	—	—	—	21,15	—	—	21,15
Si	Si III (2)	18,92	33,46	0,31	13,85	—	—	19,61	—	—
	Si IV (1)	23,95	45,13	0,00	13,91	—	—	—	17,88	—
	Средно	—	—	—	—	—	—	—	—	19,61
S	S II (44)	15,88	23,40	0,95	14,53	—	22,51	—	—	—
	S III (4)	18,11	34,70	0,78	12,46	—	—	18,23	—	—
	Средно	—	—	—	—	—	—	—	—	21,09
Mg	Mg II (4)	8,83	15,03	0,00	14,27	—	21,59	—	—	21,59

кривата на ръста. Стойностите на $\lg u^{++}$ са получени чрез интерполиране от криви, построени от таблични данни при $\theta = 0{,}224$ ($T_и = 22\,500°$).

Аналогично е пресметнато обилието на въглерода, азота и сярата за три пъти, а на силиция — за три и четири пъти йонизирано състояние.

По-нататък за елементите, за които разполагаме с обилията за две йонизирани състояния, от по-високите (дето обилието е по-малко) пресмятаме по формулата на Саха обилията за по-ниските йонизационни състояния. Всички получени резултати за дадено йонизационно състояние след това усредняваме със съответните тегла ($\sum nm$). По този начин ние използваме за пресмятане на обилията всички наблюдателни резултати. Получените данни са представени в съответните колонки на табл. 6 наред с общия брой на атомите на даден елемент (последната колонка).

Таблица 7

Елемент	102 Херкулес	В звезди 26	Δ_1	Δ_2
H	23,11	22,37	+0,74	—0,08
He	22,60	21,70	+0,90	+0,08
C	21,91	18,72	+3,19	+2,37
N	20,91	18,89	+2,02	+1,20
O	21,15	19,35	+1,80	+0,98
Mg	21,59	18,42	+3,17	+2,35
Si	19,61	18,07	+1,54	+0,72
S	21,09	17,88	+3,21	+2,39

В колонки 2 и 3 на табл. 7 са приведени съответно получените обилия на елементите за атмосферата на 102 Херкулес и средно за В звезди [6]. В четвъртата колонка са нанесени разликите между стойностите на колонка 2 и 3, а в последната — нормираните разлики при предположение, че средната им стойност за водорода и хелия е нула (фиг. 6). С други думи, тук условно е прието, че броят на атомите на водорода и хелия е „нормален". Независимо от това допускане последната колонка показва относително по-големия брой на останалите елементи по отношение на обилието на водорода и хелия в сравнение със средния състав на В звезди. Нека подчертаем и тук, че отношението на последните два елемента обаче не показва аномалия.

Получения резултат за обилието на сярата можем да считаме завишен, тъй като и двете линии на S II и S III, по които е получено обилието, имат бленди: S II λ 4162,7 принадлежи на два мултиплета (44 и 65) и е блендирана с C III λ 4162,8, а S III λ 4285,0 — с O II λ 4285,7.

По-определен извод може да се направи за обилието на въглерода. Резултатът тук е получен на основание на по-голям брой линии. Ако направим съпоставяне с обилието на кислорода, идваме до извода, че съдържанието на въглерода е около 25 пъти по-голямо. Както отбелязва Ръсел [11], за въглеродни звезди от късните гиганти съотношението C/O е приблизително 30/1. Интересно е, че полученият от нас разултат приближава 102 Херкулес по отношение на химическия състав към въглеродните звезди от късните гиганти.

Авторите изказват благодарност на завеждащия Звездния отдел на Кримската астрофизическа обсерватория проф. д-р В. Б. Никонов и на ръководството на обсерваторията за възможността да се получи спектроскопическият материал за 102 Херкулес от наблюдения на 1,22-метровия телескоп.

ЛИТЕРАТУРА

1. Копылов И. М., Известия КРАО, **20**, 1958, 156.
2. Ковачев Б. Ж. и В. М., Добричев Известия на Секцията по астрономия, **2**, 1967, 91.
3. Аллер Л. Х., Астрофизика, **1**, Москва, 1955, 92.
4. Unsöld A., Zf. f. Ap., **23**, 1944, 75.

5. Аллер Л. Х., Астрофизика, **1**, Москва, 1955, 93.
6. Minnaert M. G., M. N., **117**, 1957, 315.
7. Ковачев Б., Известия на Физ. инст. с АНЕБ, **12**, 1964, 205.
8. Hunger K., Zf. f. Ap., **39**, 1956, 1.
9. Копылов И. М., Известия КРАО, **34**, 1965, 163.
10. Мустель Р., Звездные атмосферы, Москва, 1960.
11, Russell H. N., Ap. J., **79**, 1934, 317.

Постъпила на 8. XII. 1967 г.

СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ 102 ГЕРКУЛЕСА

К. Ковачев и Б. Ковачев

(Резюме)

По 18 спектрограммам звезды 102 Геркулеса (B2 III), полученных на диффракционном спектрографе АСП-11, 1,22-метрового телескопа Крымской астрофизической обсерватории с дисперсией 37 Å/mm, измерены эквивалентные ширины линий поглощения (табл. 2—4). Вычислены: $\lg n_e = 13{,}50$ по (4) и $\lg n_e = 14{,}58$ по (6); $\lg \frac{N_H}{N_{He}} = 0{,}51$, где $\lg N_H H = 23{,}11$ получено по (3), а $\lg N_{He} H = 22{,}60$ по (10).

Из кривой роста, построенной по значениям $\lg(W_\lambda/\lambda) . 10^6$ для O II и N II, получено $v_t = 2$ km/s; из (18) по O II найдена температура возбуждения $T_в = 23\,000°$, а из (20) получаем ионизационную температуру $T_и = 22\,600°$. Найденное содержание $\lg N H$ в атмосфере звезды для элементов H, He, C, N, O, Mg, Si и S приведено в последней колонке табл. 6 Отношение обилия углерода к кислороду дает основание считать, что звезда по химическому составу приближается к углеродным звездам поздних гигантов.

SPECTROPHOTOMETRIC STUDY OF 102 HERCULES

K. Kovachev and B. Kovachev

(Summary)

Eighteen spectrograms of the star 102 Hercules (B2 III), obtained with the grid spectrograph АСП-II of the 1.22 meter telescope of the Crimean Astrophysical Observatory with a dispersion of 37 Å/mm were used for finding the equivalent widths of the absorption lines (tables 2—4). The following calculations were made: $\lg n_e = 13.50$ from (4) and $\lg n_e = 14.58$ from (6); $\lg \frac{N_H}{N_{He}} = 0.51$, where $\lg N_H H = 23.11$ is calculated from (3) and $\lg N_{He} H = 22.60$ — from (10). $v_t = 2$ km/sec was obtained from the curve of growth plotted from the values $\lg(W_\lambda/\lambda) . 10^6$ for O II and N II. The excitation temperature 23,000° was obtained from (18) after O II and from (20) we obtain the ionization temperature 22,600°. The values obtained for $\lg N H$ in the atmosphere of the star for H, He, C, N, O, Mg, Si and S are given in the last column of table 6. The ratio between the quantities of carbon and oxygen (C/O = 25) leads to the conclusion that the star approximates in chemical composition the carbon stars of the latter giants.