

СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ТРЕХ ПЕРЕМЕННЫХ
ЗВЕЗД ТИПА β ЦЕФЕЯ

В. С. Попов

На основе спектрограмм, полученных со средней дисперсией, были изучены на разных фазах кривой блеска спектры трех переменных звезд типа β Cep: γ Peg, β CMa и β Cep. Результаты измерений приведены в табл. 5-8 и показаны на рис. 1-3.

Spectral Observations of Three β Cephei Type
Variable Stars

V. S. Popov

Spectra of three stars of β Cep type (γ Peg, β CMa and β Cep) were studied for different phases of the light curve on base of spectrograms obtained with moderate dispersion. Results of measurements are presented in tables 5-8 and shown on fig. 1-3.

Введение

Наблюдение и изучение переменных звезд ранних спектральных классов, в частности типа β Cep, имеет большое космогоническое значение, так как дает нам сведения о пути эволюции звезд; полагают, что эти звезды быстро эволюционируют вправо от главной последовательности с увеличением радиуса и уменьшением плотности.

Переменные звезды типа β Cep представляют собой весьма однородную по спектральным классам (B1-B2) группу, которая характеризуется очень короткими периодами изменения блеска и лучевой скорости (0.15 - 0.25).

Явления, наблюдаемые у этих звезд, во многом сходны с явлениями, наблюдаемыми у цефеид, в частности, типа RR Lyr. Возможно, что наблюдаемая у них переменность также связана с пульсацией их атмосфер. Для звезд этого типа существуют зависимости период-светимость, период-спектральный класс. Однако эти зависимости не являются продолжением аналогичных зависимостей для цефеид.

Поэтому эти звезды выделены в особый класс и называются по имени звезды, у которой впервые обнаружены подобные явления - "звездами типа β Цефея" (или, как их еще иногда называют, "звездами типа β Большого Пса").

В настоящее время известно около 20 переменных звезд типа β Цефея.

В настоящей работе приводятся результаты спектральных наблюдений трех переменных звезд этого типа: γ Рег (B2 IV, 2^m80 - 2^m86); β СМа (B1 II - III, 1^m99 - 2^m02) и β Сер (B2 III, 3^m32 - 3^m37).

1. Получение наблюдательного материала.

На 122 см телескопе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР в 1960 г. с помощью дифракционного спектрографа АСП-11 (с решеткой - эшеллетом 1200 штрихов/мм) были получены спектрограммы трех переменных звезд типа β Сер: γ Рег-13, β СМа-21, β Сер-12.

Данные о наблюдениях приведены в табл. 1, 2, 3, в которых дано: первый столбец - номер пластинки, второй и третий - дата и время середины экспозиции (по всемирному времени), четвертый - экспозиция, пятый - фотоматериал, шестой - гелиоцентрическая юлианская дата, седьмой - число эпох и восьмой - фаза максимума блеска или лучевой скорости. Элементы, с которыми вычислены Е и Ф, приводятся ниже.

Спектрограммы получены в первом порядке с линейной дисперсией 36 Å/мм у Н γ .

Для фотографирования были использованы фотопластинки ОаО ($\lambda\lambda$ 3700 - 5000 Å) и ОаF ($\lambda\lambda$ 5000 - 6600 Å), которые проявлялись в проявителе D 19 в течение 5 минут. Для калибровки фотопластинок было использовано 11 шкалок, полученных со ступенчатым ослабителем.

		β СМа		•		Таблица 1			
№			Экс- Фото-		J. D. $\odot$				
пл.	Дата		Т	поз. матер.	2437...	Е	Ф		
4	21/22	X 1960	2 ^h 24 ^m 15 ^m	OaF	229 ^d 602	18574	0 ^p 545		
18	23/24	X 1960	3 08 8	OaO	31.633	18582	.627		
47	7/8	X1 1960	23 20 "	"	46.475	18641	.687		
48	"		23 40 15	OaF	46.489	"	.743		
49	"		23 54 8	OaO	46.499	"	.783		
50	"		0 06 15	OaF	46.507	"	.815		
51	"		0 51 8	OaO	46.538	"	.938		
53	"		1 22 "	"	46.560	18642	.026		
54	"		1 37 "	"	46.570	"	.065		

β CMa

Таблица 1 (продолжение)

№ пл.	Дата	Т	Экс- поз.	Фото- матер.	J.D. $\odot$ 2437...	Е	Ф
55	7/8 XI 1960	1 ^h 54 ^m 15 ^m		OaF	46.582	18642	0.113
56	"	2 12 8		OaO	46.595	"	.165
57	"	2 54 "		"	46.624	"	.280
59	"	3 21 "		"	46.643	"	.356
60	"	3 35 15		OaF	46.652	"	.392
74	2/3 XII 1960	0 40 15		OaF	71.532	18741	.397
75	"	0 58 8		OaO	71.544	"	.445
76	"	1 14 15		OaF	71.555	"	.488
77	"	1 34 8		OaO	71.569	"	.544
78	"	1 48 "		"	71.579	"	.584
79	"	2 21 "		"	71.602	"	.675
81	"	2 53 "		"	71.624	"	.763

 β Ser

Таблица 2

№ пл.	Дата	Т	Экс- поз.	Фото- матер.	J.D. $\odot$ 2437...	Е	Ф
5	23/24 X 1960	16 ^h 50 ^m 23 ^m		OaO	231.203	15677	0.194
6	"	17 14 "		"	31.220	"	.283
7	"	17 37 "		"	31.236	"	.367
8	"	18 04 "		"	31.255	"	.467
9	"	18 31 "		"	31.274	"	.566
10	"	19 14 "		"	31.303	"	.719
11	"	19 41 "		"	31.322	"	.819
12	"	20 07 "		"	31.340	"	.913
13	"	20 34 "		"	31.359	15678	.013
14	"	21 04 "		"	31.380	"	.123
15	"	21 36 "		"	31.402	"	.238
16	"	22 04 "		"	31.421	"	.339

 γ Peg

Таблица 3

№ пл.	Дата	Т	Экс- поз.	Фото- матер.	J.D. $\odot$ 2437...	Е	Ф
2	21/22 X 1960	0 ^h 08 ^m 15 ^m		OaO	229.511	7005	0.891
34	7/8 XI 1960	16 02 "		"	46.173	7115	.690
35	"	16 28 "		"	46.191	"	.809
36	"	16 48 "		"	46.205	"	.901
37	"	17 08 "		"	46.219	"	.993
38	"	17 28 "		"	46.233	7116	.085

Таблица 3 (продолжение)

№ пл.	Дата	Т	Экс- поз.	Фото- матер.	2437...	Е	Ф
39	7/8 XI 1960	17 ^h 46 ^m 15 ^m		ОаО	46.245	7116	0.164
40	"	18 28	"	"	46.274	"	.356
41	"	18 48	"	"	46.288	"	.448
42	"	19 08	"	"	46.302	"	.540
43	"	19 27	"	"	46.315	"	.626
44	"	19 49	"	"	46.331	"	.731
45	"	20 08	"	"	46.344	"	.817

2. Исследование периодов.

Фазы и эпохи, приведенные в табл.1-3, вычислены со следующими элементами:

$$\gamma \text{ Рег.} \quad \text{Max} = \text{J.D.} 2436166.371 + 0.1517495 \cdot E.$$

Момент максимума блеска получен 23 ноября 1957 г. Я. И. Кумсишвили и Н. Л. Магалашвили [1], период выведен Д. Х. Макнамара [2].

Максимум блеска отстает от максимума лучевой скорости на $0^d.030$. Сводка эпох максимумов лучевой скорости и разности $M_0 - M_c$ приведены в табл.4.

Таблица 4

Дата	Max V_r (M_0)	Колич. цикл- лов	Вычисл. Max V_r (M_c)	$M_0 - M_c$	Автор
	243...				
1952 10/1X	4266.854	0	4266.854	$0^d.000$	Макнамара [3]
1953 17/1X	4638.780	2451	4638.782	$- .002$	Вильямс [4]
1953 24/X1	4706.631	2898	4706.624	$+ .007$	Макнамара [5]
1957 23/X1	6166.341	12517	6166.302	$+ .039$	Кумсишвили и др. [1]
1958 25/X	6502.887	14735	6502.883	$+ .004$	Макнамара [2]
1960 7/X1	7246.171	19633	7246.152	$+ .019$	Попов

В последней строке таблицы приведена эпоха максимума V_r , полученная нами из наблюдений интенсивности линий.

Полученное Макнамара значение периода, по-видимому, сохраняется.

β СМа. Колебания лучевой скорости у β СМа представляются двумя периодами: $P_1 = 0^d.25002246$ и $P_2 = 0^d.2513003$. Период биений $49^d.1695$ [6]. Первый период представляет гармонические колебания лучевой скорости с

амплитудой $K_1 = 5.8$ км/сек и постоянен в течение всего времени, когда велись наблюдения. Второй период представляет периодические изменения в контурах линий. Этот период слегка переменный, что связывается с изменениями в амплитуде K_2 от 4.2 до 2.0 км/сек, а также с неперiodическими изменениями в контурах линий.

По-видимому, период P_2 представляет и изменения блеска звезды.

Нами были взяты следующие элементы, которые приводятся О. Струве [6]:

$$\text{Max } V_r = \text{J.D. } 2432561.81 + 0.2513003 \cdot E.$$

Исследование периода P_2 с 1/III-1909 по 17/I-1962 г. сделано Л.А. Милоне, который нашел, что с 1934 по 1962 г. период равен $0.2513001 \pm 3 \cdot 10^{-7}$ [7].

$$\beta \text{ Сер. } \text{Max} = \text{J.D. } 2434244.866 + 0.1904891 \cdot E.$$

Период исследовался Б.Смисом [8]. Наиболее же полное исследование было сделано О.Струве, Д.Х.Макнамара, С.М.Кунгом и К.Беймером [9], которые дали следующую эмпирическую формулу для определения периода:

$$P = + 0.1904844 + 5.8880 \cdot 10^{-11} E + 9.8013 \cdot 10^{-17} E^2$$

По этой формуле мы вычислили период для двух эпох: 19 авг.1952 г. и 23 окт.1960 г. (0.1904885 и 0.1904896).

Для вычисления фаз нами было взято среднее значение периода для этого интервала (0.1904891). Ошибка вычисления фаз получается не более 0.1 .

В качестве начальной эпохи был взят последний наблюдаемый момент максимума блеска, полученный Д.Стеббинсом и Г.Е.Кроном 19 августа 1952 г. [10].

3. Обработка наблюдательного материала.

С негативов со спектрами звезд, размером 9×27 мм, на микрофотометре системы Молля в астрофизической лаборатории ГАО АН СССР были получены при пятидесятикратном увеличении регистрограммы. Для наблюдавшихся звезд был получен линейчатый спектр поглощения. Результаты измерений 228 спектральных линий этих звезд приведены в работе автора [11]. В данной работе в табл. 5, 6 и 7 приводятся эквивалентные ширины W_λ и центральные глубины A_0 сильных спектральных линий водорода и гелия, которые показывают заметные изменения с фазой блеска. Эквивалентные ширины и центральные глубины линии водорода H_α в спектре β СМа даны в табл.8.

Таблица 5

		β CMa													
№ пласт.		18		47		49		51		53		54		56	
Фаза		0.627		0.687		0.783		0.938		0.026		0.065		0.165	
Элем., λ		W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$
H	H $_{\beta}$	3.10	0.36	2.15	0.37	2.56	0.37	3.63	0.46	4.22	0.45	5.31	0.61	6.50	0.64
	H $_{\gamma}$	0.97	0.39	0.41	0.28	1.48	0.28	0.98	0.28	2.50	0.40	4.04	0.54	5.86	0.57
	H $_{\delta}$	1.67	0.28	1.04	0.35	2.60	0.36	1.72	0.28	5.52	0.52	3.28	0.48	4.06	0.53
	H $_{\epsilon}$	1.40	0.28	1.59	0.33	2.40	0.43	2.78	0.34	3.14	0.41	4.26	0.56	4.56	0.56
	H $_{\zeta}$	1.28	0.25	2.02	0.41	2.10	0.30	2.11	0.31	3.62	0.38	5.98	0.53	4.49	0.53
	H $_{\eta}$	1.22	0.24	1.67	0.36	1.92	0.31	2.52	0.42	4.20	0.27	5.78	0.51	5.21	0.47
	H $_{10}$	-	-	1.65	0.36	2.01	0.29	2.00	0.43	3.44	0.22	4.35	0.46	3.59	0.41
	H $_{11}$	-	-	1.02	0.26	1.67	0.26	1.86	0.40	3.36	0.28	4.02	0.44	2.47	0.37
	H $_{12}$	-	-	0.83	0.25	1.14	0.22	1.94	0.40	2.39	0.23	3.85	0.36	1.72	0.35
	H $_{13}$	-	-	1.25	0.28	1.01	0.22	1.38	0.28	2.10	0.22	3.43	0.34	1.17	0.28
	H $_{14}$	-	-	0.85	0.24	0.85	0.18	0.98	0.22	1.97	0.17	2.27	0.32	1.71	0.24
	H $_{15}$	-	-	0.76	0.23	0.44	0.15	0.67	0.16	1.66	0.15	1.67	0.21	1.00	0.18
	H $_{16}$	-	-	0.96	0.26	0.62	0.11	0.38	0.22	1.14	0.12	1.10	0.17	0.77	0.16
	H $_{17}$	-	-	0.59	0.18	0.27	0.09	0.41	0.13	0.28	0.11	0.97	0.13	0.58	0.14
	H $_{18}$	-	-	0.31	0.14	0.10	0.11	0.26	0.09	0.22	0.10	0.61	0.11	0.46	0.11
He I	5016	-	-	0.52	0.22	0.84	0.28	0.27	0.18	0.60	0.23	0.88	0.39	0.59	0.35
	4471	0.96	0.36	0.96	0.36	0.88	0.21	0.73	0.23	0.58	0.24	1.46	0.43	1.02	0.45
	4026	0.65	0.25	0.53	0.31	0.92	0.30	0.65	0.25	1.77	0.43	0.93	0.41	1.20	0.35
	3820	-	-	0.98	0.29	0.84	0.25	1.07	0.34	0.54	0.24	0.66	0.35	1.36	0.21
	4922	0.62	0.24	1.09	0.20	1.38	0.28	1.10	0.27	0.66	0.27	2.13	0.45	2.25	0.41
	4388	0.63	0.34	0.38	0.21	0.34	0.11	0.61	0.34	0.94	0.31	0.61	0.33	0.67	0.36
	4144	-	-	0.41	0.24	0.79	0.26	0.24	0.21	0.79	0.23	1.21	0.37	1.00	0.33
	4009	0.59	0.20	0.28	0.25	0.71	0.24	0.28	0.21	0.90	0.24	0.60	0.27	0.60	0.27
	3927	-	-	0.47	0.28	0.50	0.23	0.63	0.24	0.76	0.28	0.98	0.25	0.91	0.30
	3872	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.61	0.23	0.33	0.20
	3806	-	-	0.36	0.16	0.22	0.11	0.28	0.14	-	-	0.35	0.23	0.53	0.26
	3785	-	-	-	-	-	-	0.22	0.17	-	-	0.46	0.31	0.99	0.41
	3756	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	0.33	0.54	0.36
	4713	0.57	0.39	-	-	-	-	-	-	-	-	0.52	0.21	0.43	0.23
	4121	0.40	0.18	0.36	0.21	0.41	0.17	0.25	0.17	0.67	0.25	0.87	0.31	0.63	0.30
	3867	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.36	0.24	-	-
	3965	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	0.16	0.26	0.20
	4438	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	0.13	0.24	0.16
	4169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	0.17	0.31	0.23
	3936	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.35	0.14	0.29	0.19

		β CMa													
№ пласт.		57		59		75		77		78		79		81	
Фаза		0.280		0.356		0.445		0.544		0.584		0.675		0.763	
Элем., λ		W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$
H	H $_{\beta}$	5.41	0.45	4.25	0.45	3.41	0.42	3.97	0.43	3.30	0.40	2.09	0.31	3.01	0.45
	H $_{\gamma}$	4.20	0.48	0.96	0.32	1.15	0.27	1.08	0.24	0.75	0.27	1.18	0.29	1.55	0.38
	H $_{\delta}$	4.32	0.50	0.85	0.28	-	-	2.08	0.46	1.39	0.35	0.81	0.33	3.11	0.42
	H $_{\epsilon}$	3.40	0.55	1.65	0.44	-	-	2.07	0.46	1.96	0.40	0.56	0.23	2.69	0.47
	H $_{\zeta}$	5.10	0.57	1.54	0.40	-	-	2.44	0.50	2.46	0.44	-	-	2.32	0.31
	H $_{\eta}$	5.13	0.53	2.41	0.46	-	-	2.12	0.47	2.39	0.45	-	-	-	-
	H $_{10}$	2.37	0.46	2.27	0.43	-	-	2.20	0.42	2.38	0.40	-	-	-	-
	H $_{11}$	3.59	0.46	1.76	0.36	-	-	1.75	0.39	1.59	0.37	-	-	-	-
	H $_{12}$	2.25	0.37	1.47	0.33	-	-	1.89	0.34	1.37	0.33	-	-	-	-
	H $_{13}$	2.34	0.34	0.95	0.22	-	-	1.11	0.27	1.30	0.23	-	-	-	-
	H $_{14}$	2.04	0.26	0.63	0.21	-	-	1.14	0.23	0.81	0.21	-	-	-	-

Таблица 5 (продолжение)

		β CMa													
№ пласт.		57		59		75		77		78		79		81	
Фаза		0.280		0.356		0.445		0.544		0.584		0.675		0.763	
Элем., λ		W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}
H	H ₁₅	1.51	0.24	0.62	0.20	-	-	0.75	0.23	0.54	0.22	-	-	-	-
	H ₁₆	1.16	0.13	0.67	0.26	-	-	0.69	0.28	0.79	0.25	-	-	-	-
	H ₁₇	0.66	0.12	0.16	0.14	-	-	0.31	0.18	0.52	0.15	-	-	-	-
	H ₁₈	0.62	0.11	0.10	0.11	-	-	0.19	0.14	0.14	0.09	-	-	-	-
He I	5016	0.51	0.23	0.43	0.21	0.51	0.23	0.49	0.16	0.94	0.25	-	-	-	-
	4471	2.52	0.52	0.41	0.24	-	-	0.58	0.26	1.30	0.31	1.30	0.31	0.93	0.34
	4026	1.19	0.42	0.86	0.29	-	-	0.80	0.33	0.67	0.32	-	-	0.66	0.27
	3820	2.86	0.54	1.12	0.40	-	-	1.03	0.39	2.01	0.34	-	-	-	-
	4922	0.87	0.28	1.10	0.31	0.87	0.28	0.71	0.27	1.38	0.27	0.69	0.18	0.55	0.23
	4388	1.45	0.29	0.40	0.27	-	-	0.40	0.22	0.63	0.25	0.61	0.25	-	-
	4144	0.87	0.27	0.46	0.24	-	-	0.42	0.20	0.40	0.20	-	-	-	-
	4009	0.59	0.24	0.59	0.20	-	-	0.65	0.35	0.25	0.22	-	-	-	-
	3927	0.77	0.29	0.50	0.24	-	-	0.78	0.27	0.57	0.24	-	-	-	-
	3872	0.84	0.38	0.29	0.17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3806	1.03	0.50	0.41	0.24	-	-	0.40	0.21	2.01	0.27	-	-	-	-
	3785	0.85	0.45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3756	1.20	0.49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4713	1.06	0.27	-	-	1.27	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-
	4121	1.66	0.33	0.26	0.17	-	-	0.69	0.25	0.35	0.16	-	-	-	-
	3867	0.52	0.31	0.17	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3965	0.21	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4438	0.12	0.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4169	0.74	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3936	0.30	0.18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 6

		β Ser													
№ пласт.		5		6		7		8		9		10			
Фаза		0.194		0.283		0.367		0.467		0.566		0.719			
Элем., λ		W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}	W_{λ}	A_{λ}
H	H _{β}	6.26	0.57	5.72	0.54	5.56	0.59	5.26	0.54	6.98	0.55	7.15	0.59	-	-
	H _{γ}	4.48	0.41	4.94	0.52	4.57	0.49	4.82	0.46	5.98	0.47	5.87	0.53	-	-
	H _{δ}	4.68	0.51	5.20	0.56	4.94	0.47	5.04	0.48	5.47	0.49	4.84	0.50	-	-
	H _{ϵ}	4.96	0.40	4.19	0.47	5.45	0.54	5.12	0.50	4.24	0.52	5.99	0.53	-	-
	H _{ζ}	4.11	0.34	4.82	0.50	5.49	0.54	4.96	0.54	4.05	0.51	5.21	0.54	-	-
	H ₉	3.80	0.31	3.86	0.52	4.97	0.52	4.00	0.45	4.21	0.48	3.97	0.47	-	-
	H ₁₀	3.78	0.32	2.97	0.46	4.40	0.47	3.45	0.44	3.65	0.45	4.38	0.50	-	-
	H ₁₁	3.32	0.37	3.48	0.45	3.64	0.43	2.55	0.45	3.30	0.39	2.81	0.44	-	-
	H ₁₂	2.23	0.24	2.39	0.34	3.23	0.38	2.84	0.42	2.72	0.36	2.73	0.38	-	-
	H ₁₃	1.64	0.22	1.74	0.32	2.87	0.30	2.16	0.29	2.50	0.30	2.05	0.34	-	-
	H ₁₄	1.25	0.23	1.34	0.27	2.63	0.29	2.06	0.27	2.04	0.28	1.84	0.28	-	-
	H ₁₅	1.13	0.21	1.19	0.22	1.71	0.30	1.76	0.24	1.86	0.22	1.90	0.29	-	-
	H ₁₆	1.04	0.15	1.25	0.21	1.09	0.22	1.13	0.27	1.34	0.20	1.45	0.21	-	-
	H ₁₇	0.91	0.11	0.71	0.15	0.95	0.19	1.32	0.16	1.06	0.16	1.00	0.13	-	-
	H ₁₈	0.52	0.11	0.32	0.11	0.82	0.12	0.79	0.15	0.43	0.16	0.88	0.10	-	-
He I	5016	1.74	0.38	0.82	0.34	1.50	0.39	2.03	0.67	1.19	0.39	1.31	0.36	-	-
	4471	1.64	0.33	0.67	0.19	1.70	0.41	1.46	0.30	1.59	0.28	1.67	0.35	-	-
	4026	1.73	0.30	1.16	0.38	1.48	0.39	0.67	0.20	1.02	0.34	1.45	0.34	-	-
	3820	0.70	0.13	1.38	0.34	1.18	0.31	1.15	0.29	1.67	0.36	1.59	0.32	-	-
	4922	1.24	0.23	2.12	0.41	1.03	0.44	2.63	0.41	1.89	0.37	1.43	0.61	-	-
	4388	1.52	0.30	1.30	0.33	0.91	0.27	0.71	0.26	0.82	0.25	1.42	0.33	-	-

β Сер

Таблица 6 (продолжение)

№ пласт. Фаза Элемент, λ	5		6		7		8		9		10	
	0.194		0.283		0.367		0.467		0.566		0.719	
	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o
He I 4144	2.80	0.23	1.03	0.26	1.23	0.25	0.65	0.18	0.72	0.27	1.06	0.23
4009	1.38	0.20	0.89	0.21	1.15	0.24	0.80	0.23	0.80	0.26	0.83	0.24
3927	0.82	0.17	0.56	0.16	1.31	0.27	1.02	0.21	0.60	0.22	0.80	0.18
3872	0.31	0.13	0.34	0.18	0.35	0.16	0.32	0.16	-	-	0.38	0.14
3806	-	-	0.70	0.22	0.34	0.17	0.48	0.21	-	-	-	-
3785	-	-	0.26	0.14	0.20	0.16	0.12	0.09	-	-	0.39	0.17
3756	-	-	0.48	0.14	0.19	0.16	0.21	0.18	-	-	0.17	0.10
4713	-	-	0.51	0.27	0.55	0.29	0.24	0.16	-	-	0.72	0.20
4121	1.26	0.28	1.10	0.29	-	-	0.61	0.18	-	-	0.64	0.23
3867	0.39	0.15	0.44	0.23	0.38	0.18	0.26	0.19	-	-	0.32	0.14
3965	-	-	0.23	0.15	0.21	0.12	0.10	0.09	-	-	0.17	0.11
4438	0.51	0.19	0.29	0.20	0.56	0.13	0.38	0.14	-	-	0.26	0.14
4169	-	-	0.88	0.19	-	-	0.45	0.11	-	-	0.61	0.12
3936	-	-	0.28	0.15	-	-	0.25	0.13	-	-	0.30	0.14

 β Сер

№ пласт. Фаза Элемент, λ	11		12		13		14		15		16	
	0.819		0.913		0.013		0.123		0.238		0.339	
	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o
H H_{β}	6.81	0.56	8.62	0.66	6.38	0.55	6.62	0.56	5.72	0.50	5.52	0.59
H H_{γ}	6.20	0.51	8.67	0.52	6.99	0.40	5.54	0.38	5.37	0.48	5.48	0.46
H H_{δ}	5.48	0.49	6.56	0.54	5.92	0.44	5.48	0.38	5.01	0.47	4.79	0.49
H H_{ϵ}	4.75	0.47	5.11	0.50	5.33	0.38	4.73	0.39	-	-	-	-
H H_{ζ}	3.93	0.50	4.94	0.50	4.52	0.37	3.57	0.34	-	-	-	-
H H_9	3.56	0.46	3.97	0.48	3.95	0.38	3.79	0.35	-	-	-	-
H H_{10}	3.30	0.48	2.74	0.47	3.96	0.31	3.05	0.30	-	-	-	-
H H_{11}	3.14	0.42	3.19	0.42	3.89	0.32	1.80	0.24	-	-	-	-
H H_{12}	2.33	0.35	2.56	0.36	2.20	0.29	2.40	0.26	-	-	-	-
H H_{13}	1.38	0.28	2.27	0.36	1.06	0.16	0.98	0.18	-	-	-	-
H H_{14}	1.32	0.22	1.74	0.25	1.01	0.25	1.03	0.18	-	-	-	-
H H_{15}	0.97	0.21	1.06	0.25	0.90	0.19	0.78	0.11	-	-	-	-
H H_{16}	1.07	0.17	0.94	0.15	0.87	0.07	1.19	0.15	-	-	-	-
H H_{17}	0.92	0.11	0.43	0.13	0.53	0.09	0.78	0.13	-	-	-	-
H H_{18}	0.71	0.08	0.27	0.12	0.34	0.09	0.39	0.11	-	-	-	-
He I 5016	0.86	0.38	0.84	0.36	0.98	0.30	1.21	0.33	-	-	-	-
4471	1.62	0.30	1.25	0.33	1.38	0.23	1.57	0.28	1.57	0.28	1.62	0.30
4026	1.71	0.38	1.70	0.42	1.49	0.22	1.94	0.23	1.16	0.22	-	-
3820	1.88	0.38	1.41	0.29	1.04	0.17	1.11	0.19	-	-	-	-
4922	2.28	0.39	1.67	0.34	2.16	0.37	2.04	0.27	1.41	0.29	1.03	0.44
4388	0.93	0.33	1.09	0.34	1.24	0.23	1.13	0.31	1.13	0.31	0.28	0.20
4144	0.86	0.23	1.04	0.22	1.07	0.15	1.04	0.22	1.04	0.22	0.86	0.23
4009	1.24	0.27	0.99	0.21	0.85	0.14	0.87	0.17	-	-	-	-
3927	0.42	0.11	0.87	0.20	0.66	0.16	0.78	0.19	-	-	-	-
3872	0.42	0.25	0.15	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-
3806	0.91	0.23	0.20	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-
3785	0.37	0.16	0.30	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-
3756	0.41	0.17	0.14	0.11	-	-	-	-	-	-	-	-
4713	0.55	0.23	0.47	0.22	0.46	0.17	1.14	0.28	-	-	0.53	0.22
4121	0.97	0.26	0.85	0.28	-	-	-	-	0.44	0.21	1.42	0.31
3867	0.41	0.27	0.62	0.18	0.70	0.24	-	-	1.41	0.27	-	-

Таблица 6 (окончание)

β Сер													
№ пласт.	11		12		13		14		15		16		
Фаза	0.819		0.913		0.013		0.123		0.238		0.339		
Элем., λ	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	W_{λ}	$A_{\circ}$	
He I 3965	0.16	0.08	0.20	0.14	-	-	-	-	-	-	0.25	0.16	
4438	0.53	0.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3936	0.19	0.13	0.80	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	

Таблица 7

γ Peg																
№ пласт.		2		34		35		36		37		38		39		
Фаза		0.891		0.690		0.809		0.901		0.993		0.085		0.164		
Элемент, λ		W _λ	A _o	W _λ	A _o	W _λ	A _o	W _λ	A _o	W _λ	A _o	W _λ	A _o	W _λ	A _o	
H	H _β	5.57	0.61	5.29	0.48	5.39	0.55	5.54	0.55	4.80	0.50	3.24	0.49	3.49	0.44	
	H _γ	4.94	0.57	2.96	0.43	4.01	0.41	2.22	0.36	1.56	0.39	1.94	0.43	1.01	0.31	
	H _δ	4.41	0.57	2.77	0.59	2.72	0.50	2.70	0.42	2.38	0.42	0.78	0.18	1.20	0.24	
	H _ε	4.55	0.52	2.98	0.52	2.94	0.28	3.01	0.47	3.20	0.46	1.86	0.39	2.04	0.33	
	H _ζ	4.70	0.49	3.17	0.46	3.26	0.33	3.63	0.53	3.02	0.50	2.82	0.46	1.87	0.37	
	H ₉	5.31	0.45	2.91	0.43	2.80	0.36	2.94	0.48	3.30	0.46	2.96	0.47	2.38	0.42	
	H ₁₀	3.95	0.42	2.87	0.44	2.75	0.52	2.68	0.49	2.95	0.44	2.48	0.42	2.74	0.42	
	H ₁₁	3.63	0.40	2.70	0.44	2.58	0.44	2.72	0.45	2.44	0.39	2.89	0.44	2.03	0.38	
	H ₁₂	3.19	0.38	2.38	0.38	0.86	0.35	1.96	0.36	1.93	0.31	2.12	0.36	2.03	0.38	
	H ₁₃	1.91	0.32	1.45	0.26	1.25	0.24	1.32	0.29	1.58	0.30	1.27	0.25	1.41	0.30	
	H ₁₄	1.45	0.28	1.38	0.25	0.86	0.21	0.90	0.22	0.84	0.19	0.80	0.19	1.16	0.22	
	H ₁₅	1.34	0.18	1.24	0.20	0.74	0.18	1.02	0.19	0.98	0.18	0.78	0.17	0.40	0.20	
	H ₁₆	1.69	0.18	1.04	0.23	0.68	0.23	0.74	0.28	0.77	0.23	0.53	0.16	0.32	0.16	
	H ₁₇	0.84	0.23	0.62	0.18	0.37	0.13	0.51	0.16	0.39	0.11	0.24	0.18	0.18	0.16	
	H ₁₈	0.40	0.23	0.50	0.13	-	-	-	-	-	-	0.34	0.14	-	-	
	HeI	5016	1.20	0.31	-	-	0.65	0.18	0.70	0.22	0.64	0.28	0.50	0.29	0.32	0.28
		4471	1.86	0.43	1.36	0.38	0.78	0.23	0.94	0.21	1.24	0.31	0.73	0.32	0.60	0.24
		4026	1.92	0.48	1.81	0.38	1.06	0.35	0.80	0.30	1.55	0.36	1.35	0.32	0.80	0.22
3820		1.89	0.59	0.91	0.30	0.60	0.27	0.20	0.40	1.50	0.36	1.26	0.35	0.78	0.29	
4922		1.74	0.46	1.54	0.27	2.16	0.37	1.86	0.32	1.80	0.32	0.87	0.30	1.25	0.31	
4388		1.32	0.34	0.74	0.22	0.64	0.26	0.54	0.22	0.95	0.28	0.74	0.30	0.26	0.14	
4144		1.07	0.26	0.74	0.30	0.80	0.25	0.85	0.28	1.16	0.26	0.62	0.19	0.50	0.22	
4009		1.12	0.31	1.27	0.28	0.70	0.24	0.87	0.31	1.20	0.23	0.78	0.24	0.68	0.21	
3927		0.53	0.24	0.80	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3872		0.37	0.21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3806		0.21	0.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3785		0.25	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4713		0.39	0.19	0.79	0.24	0.50	0.28	-	-	-	-	0.80	0.23	-	-	
4121		0.26	0.14	0.84	0.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3867		0.41	0.24	0.54	0.36	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3985		0.20	0.15	1.07	0.29	-	-	-	-	-	-	0.66	0.22	0.37	0.20	
4438		0.22	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3835		0.26	0.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3889	0.38	0.23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
4169	0.14	0.10	0.50	0.30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		

Таблица 7 (продолжение)

№ пласт.		40		41		42		43		44		45	
Фаза		0.356		0.448		0.540		0.626		0.731		0.817	
Элемент, λ		W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o	W_{λ}	A_o
H	H_{β}	3.81	0.53	3.99	0.50	2.78	0.46	4.18	0.46	4.72	0.41	5.00	0.40
	H_{γ}	3.44	0.38	3.14	0.36	2.52	0.30	3.01	0.25	2.82	0.34	4.51	0.31
	H_{δ}	3.03	0.35	2.20	0.39	3.46	0.42	1.64	0.32	2.52	0.35	4.78	0.37
	H_{ϵ}	2.98	0.24	2.14	0.40	1.50	0.28	2.06	0.34	2.68	0.36	-	-
	H_{ζ}	3.17	0.26	2.86	0.43	1.76	0.30	3.60	0.40	2.92	0.40	-	-
	H_9	2.91	0.28	2.26	0.44	1.98	0.30	3.39	0.43	2.74	0.40	-	-
	H_{10}	2.87	0.28	2.43	0.46	1.89	0.30	3.96	0.44	3.47	0.39	-	-
	H_{11}	2.70	0.24	2.75	0.47	1.74	0.30	2.81	0.39	2.55	0.35	-	-
	H_{12}	2.38	0.18	1.69	0.36	1.78	0.30	2.30	0.30	1.74	0.31	-	-
	H_{13}	1.78	0.15	1.51	0.26	1.16	0.18	1.98	0.20	1.46	0.26	-	-
	H_{14}	1.24	0.14	1.33	0.19	0.84	0.17	1.76	0.15	1.08	0.18	-	-
	H_{15}	1.04	0.14	1.28	0.17	0.87	0.20	1.24	0.18	0.50	0.12	-	-
	H_{16}	0.72	0.10	0.89	0.26	0.69	0.19	0.62	0.14	0.42	0.17	-	-
	H_{17}	0.49	0.12	0.53	0.18	0.34	0.20	0.41	0.14	0.29	0.18	-	-
	H_{18}	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
He I	5016	0.98	0.30	0.81	0.28	0.94	0.28	0.31	0.20	0.44	0.14	-	-
	4471	1.26	0.20	0.59	0.28	0.70	0.25	0.40	0.16	0.84	0.25	-	-
	4026	1.30	0.35	1.02	0.34	0.90	0.30	0.80	0.22	0.80	0.26	-	-
	3820	1.26	0.37	0.97	0.36	0.60	0.17	1.19	0.37	1.24	0.28	-	-
	4922	1.58	0.38	1.22	0.30	1.19	0.29	1.27	0.28	1.30	0.23	0.48	0.16
	4388	0.98	0.24	0.82	0.25	0.54	0.21	0.24	0.16	0.57	0.20	-	-
	4144	0.67	0.23	0.72	0.27	1.10	0.25	0.36	0.13	0.72	0.20	-	-
	4009	0.87	0.22	0.60	0.26	0.98	0.23	0.60	0.19	0.46	0.16	-	-
	3927	-	-	0.30	0.22	-	-	-	-	-	-	-	-
	3872	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3806	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3785	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4713	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3867	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3965	-	-	-	-	0.64	0.24	-	-	-	-	-	-
	4438	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3835	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	3889	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

1970PZ.....17...142P

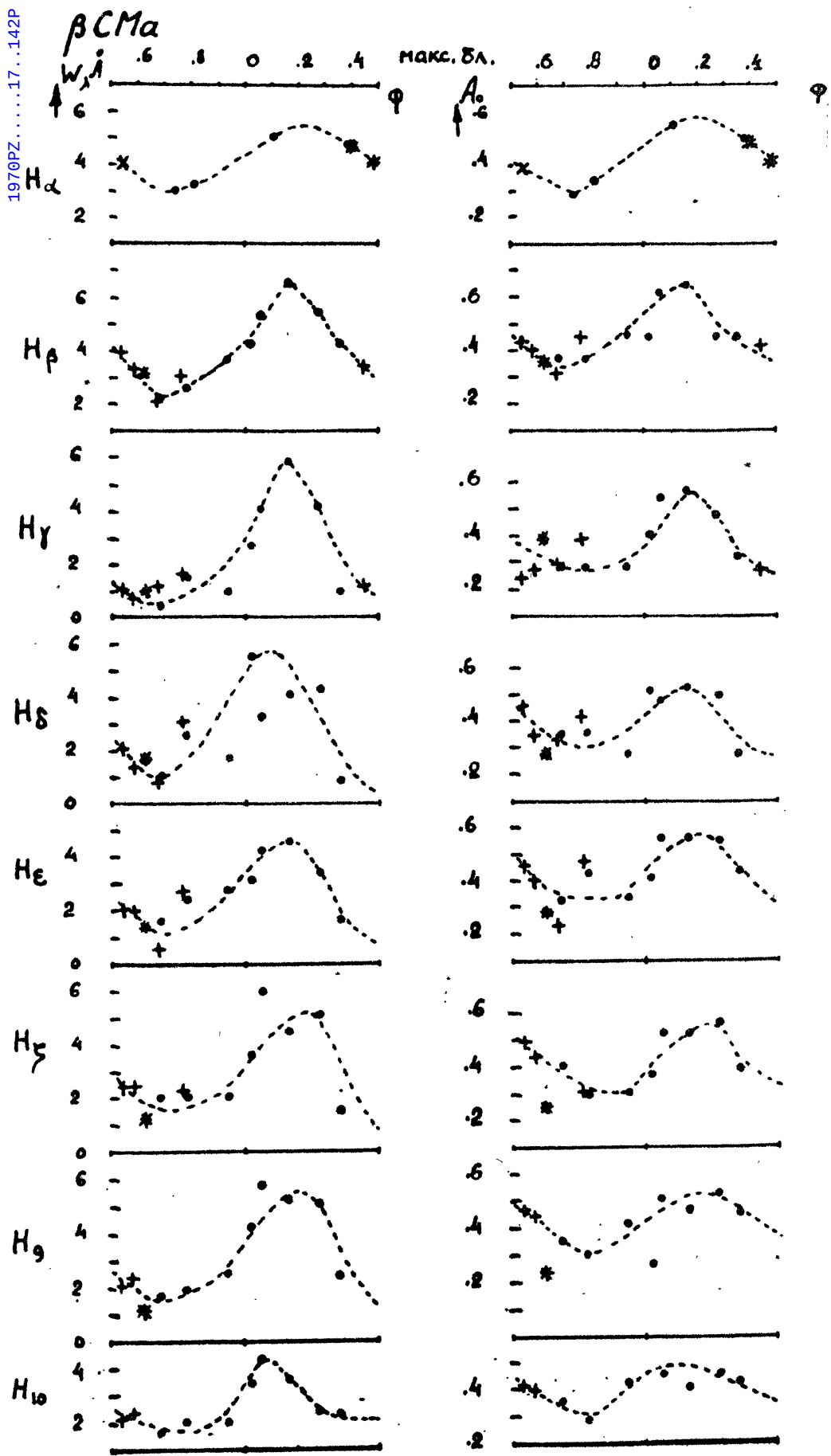


Рис. 1

Таблица 8
№ пласт. Фаза V_r W_{λ} $\overset{\circ}{A}$ A_0

4	0.545	4.04	0.39
48	0.743	2.97	0.29
50	0.815	3.24	0.34
55	0.113	5.01	0.55
60	0.392	4.73	0.50
74	0.397	4.74	0.49
76	0.488	4.15	0.42

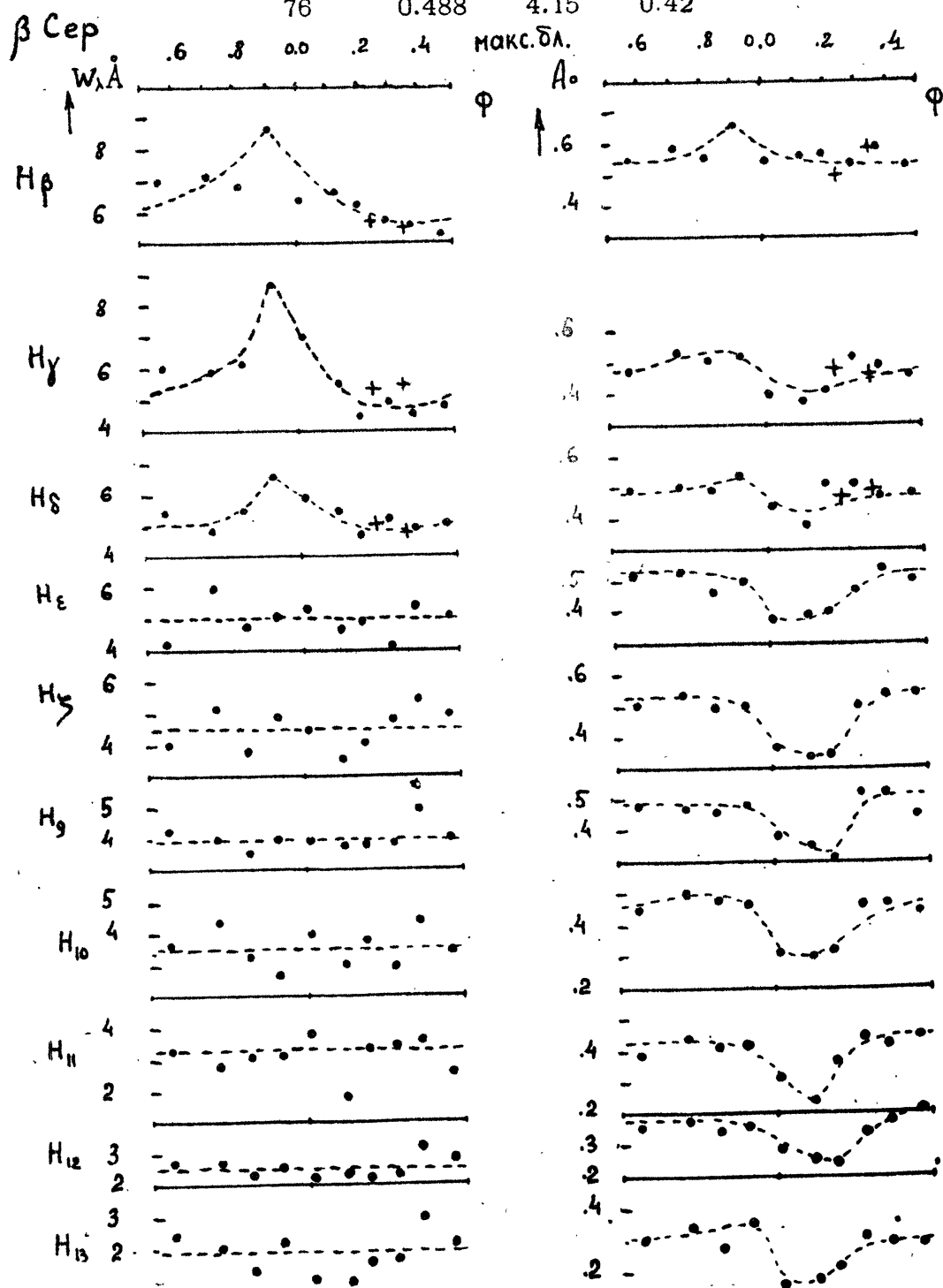
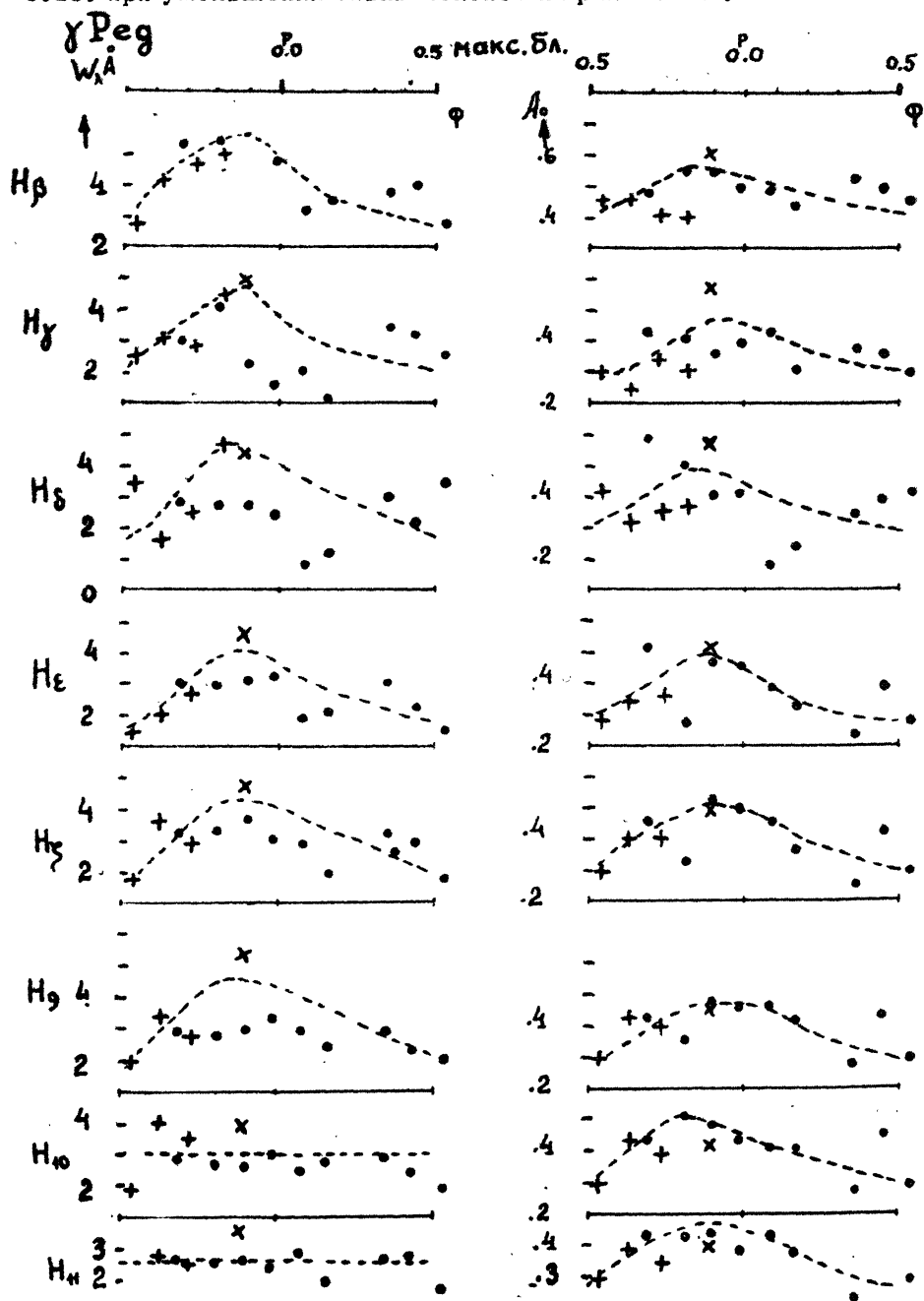


Рис. 2

Зависимости эквивалентных ширин и центральных глубин от фазы изменений блеска или лучевой скорости (для β CMa) приведены на рисунках 1-3. Обозначения на рисунках: + - перекрывающиеся наблюдения из одной серии; x, * - из других серий.

Слабые линии изменений с фазой блеска не показывают. Определение эквивалентных ширин линий проводилось обычным способом. Относительная ошибка в среднем составляет 5%, она возрастает при уменьшении эквивалентной ширины линии.



Р и с . 3

4. Обсуждение полученных результатов.

β СМa. В максимуме блеска (фаза по V_r 0^P.165) водородные линии становятся более широкими, эквивалентные ширины и центральные глубины увеличиваются, в минимуме — наоборот. По-видимому, в фазе минимума блеска на линию поглощения H_α накладывается эмиссия, так как уровень изменений эквивалентной ширины H_α небольшой, по сравнению с другими водородными линиями. Это явление еще пока никем не отмечалось. На периодическое же изменение ширин спектральных линий у β СМa указывал еще в 1918 г. Ф. Анрото [12], который писал, что линии то становятся узкими, то расширяются и расплываются, причем эти изменения происходят с периодом, почти равным периоду изменения лучевой скорости, а именно 0^d.25130. Позднее спектр β СМa подробно изучал О. Струве [6] и др. На спектрограммах с низкой дисперсией изменения водородных линий были отмечены И. Д. Купо [13].

β Сер. Впервые об изменении бальмеровских линий водорода в спектре β Сер упоминается в работе Б. Смиса [8]. В 1948 г. Г. Р. Мичайка на основе 10 спектрограмм, полученных с дисперсией 51 Å/мм у H_γ , нашел слабые изменения линий H_γ и H_δ с фазой блеска [14]. На изменение линий H_α , H_β и H_γ указывали в 1955 г. Р. Вильсон, Е. А. Бекер и В. М. Гривс [15]. Однако у них было всего 7 спектрограмм этой звезды, полученных в разные годы с 1938 по 1947. В дальнейшем эти наблюдения продолжили Р. Вильсон и Х. Седон [16], они также подтвердили изменение линий у β Сер (хотя и с большим периодом): в частности, ими была обнаружена эмиссия у нормальных линий поглощения H_α , которую заподозрил еще в 1933 г. Б. Г. Карпов [17]. Наблюдения эмиссии H_α в спектре β Сер в течение нескольких циклов были сделаны в 1963 г. Г. Оджерсом [18]. Наши наблюдения также подтверждают изменения водородных линий H_β , H_γ и H_δ с фазой блеска, хотя и не очень большие. До максимума блеска (фаза 0^P.913) эквивалентные ширины линий увеличиваются, затем довольно быстро уменьшаются. На это указывал также и Б. Смис [8]. Центральные глубины всех водородных линий у фазы максимума блеска показывают заметное увеличение, а затем резкое уменьшение (минимум у фазы 0^P.15).

γ Рег. Наши наблюдения показывают изменения эквивалентных ширин водородных линий (вплоть до H_9) с фазой блеска. Максимум W_λ наблюдается на фазе 0^P.900. Значения эквивалентных ширин к максимуму блеска плавно увеличиваются, а затем наблюдается резкий спад (особенно это заметно у линий H_β , H_γ и H_δ). Центральные поглощения всех водородных линий также показывают заметные изменения с фазой блеска (максимум у фазы 0^P.900).

Спектр γ Peg исследовался неоднократно. Особенно подробно он изучен в работе Л.Х. Аллера и Д. Джугаку [19]. Изменения линий ими не найдены: это, по-видимому, произошло потому, что они использовали спектры, полученные с очень большими экспозициями (от 30 до 110 минут), т.е. охватывающие очень большие части периода. Поэтому многие явления не выявились, они усреднились.

Литература

1. Н. Л. Магалашвили, Я. И. Кумсишвили, ПЗ 13, 37, 1960.
2. D.H. McNamara, PASP 72, 508, 1961.
3. D.H. McNamara, ApJ 122, 95, 1955.
4. A.D. Williams, PASP 66, 25, 1954.
5. D.H. McNamara, PASP 68, 158, 1956.
6. O. Struve, ApJ 112, 520, 1950.
7. L.A. Milone, Bol. del Inst. de Mat., Astr. y Fis., 2, 27, 1964.
8. B. Smith, ApJ 98, 82, 1943.
9. O. Struve, D.H. McNamara, S.M. Kung, C. Beymer, ApJ 118, 39, 1953.
10. J. Stebbins, G.E. Kron, ApJ 120, 189, 1954.
11. В. С. Попов, Пулк. ИЗВ № 180, 116, 1966.
12. F. Henroteau, Lick Bull 9, 155, 1918.
13. И. Д. Кыно, АЖ 42, 358, 1965.
14. G.R. Miczaika, AN 277, 31, 1949.
15. R. Wilson, E.A. Baker, W.M.H. Greaves, Edinb. Publ., 1, № 6, 1955.
16. R. Wilson. H. Seddon, Observatory 76, 145, 1956.
17. B.G. Karpov, Lick Bull 16, 159, 1933.
18. G. Odgers, Quart. JRAS 4, 241, 1963.
19. L.H. Aller, J. Jugaku, ApJ 127, 125, 1958.

ГАО АН СССР

Пулково, май 1968 г.