

# АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

# АСТРОФИЗИКА

ТОМ 15

ФЕВРАЛЬ, 1979

ВЫПУСК 1

УДК 523.842

## ИЗУЧЕНИЕ ПАШЕНОВСКИХ ЛИНИЙ ВОДОРОДА И ИНФРАКРАСНОГО ТРИПЛЕТА $\text{Ca II}$ В СПЕКТРЕ МАГНИТНОЙ ЗВЕЗДЫ $\beta$ Cr B. 1

Н. С. ПОЛОСУХИНА, А. Г. ЩЕРБАКОВ, В. П. МАЛАНУШЕНКО

Поступила 10 августа 1978

Пересмотрена 9 ноября 1978

Исследовалось поведение водородных линий  $R_{12}$ ,  $R_{11}$  и триплета  $\text{Ca II}$  по 39 спектрограммам магнитной звезды  $\beta$  Cr B, полученным в области спектра  $\lambda$  6410—8300 Å. Анализ эквивалентных ширин и контуров водородных линий показал четкую корреляцию их изменений с магнитным полем звезды. Наблюдаемые уширения контуров водородных линий в фазах повышенной активности звезды свидетельствуют о значительных изменениях физических условий.

Долгое время считалось, что известная магнитная звезда  $\beta$  Cr B ( $F0_p$ ) не является спектрально-переменной, хотя относительно фотометрической переменности и переменности магнитного поля не было сомнений.

По-видимому, эффект переменности терялся из-за сильного блендирования линий в видимой области спектра. При переходе же в длинноволновую часть спектра появилась возможность оценить переменность интенсивностей линий ряда элементов:  $\text{Eu}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Li}$ ,  $\text{Fe}$  и др., свободных от бленд, и это было сделано [1]. Наряду с заметной переменностью указанных выше линий была обнаружена также переменность водородной линии  $H_\alpha$  [2], причем изменения эквивалентных ширин указанных выше линий коррелировали с изменениями блеска, магнитного поля и свидетельствовали о значительных неоднородностях атмосферы, по-видимому, связанных с неоднородностями магнитного поля  $\beta$  Cr B. Было установлено [1] наличие двух областей на поверхности, где усилена концентрация  $\text{Eu}$ ,  $\text{Ca}$ ,  $\text{Li}$  и др. элементов. Обнаружение заметной переменности линии  $H_\alpha$  явилось началом изучения поведения водородных линий в спектре этой звезды. Нам представлялось интересным и важным проследить поведение других водо-

родных линий, в особенности пашеновских линий, которые образуются в более высоких слоях атмосферы звезды.

Первая часть настоящей работы содержит анализ изменений контуров и эквивалентных ширин водородных линий пашеновской серии  $P_{12}$ — $P_{14}$  и триплета Ca II с периодом вращения звезды.

1. Наблюдения  $\beta$  Cr B в диапазоне ( $\lambda$  8400—8800 Å) проводились на 50" рефлекторе КрАО с помощью спектрографа с инфракрасным ЭОП типа ФКТ 1А (S1). Всего было получено 39 спектрограмм с дисперсией 48 Å/мм, с экспозициями 4—5 мин, в период с 18.12.76 по 30.7.77. Спектральное разрешение составляло около 1 Å. Результаты приведены на рис. 1, где каждая спектрограмма представляет собой результат усреднения 2—3 спектрограмм, отличающихся по фазе менее, чем на 0.1 P (в случае фазы 0.33 усреднялось 5 спектрограмм). На рисунке хорошо видно, что спектр звезды, полученный в разные фазы, заметно отличается. Особенно велико это различие в фазах 0.2 и 0.33 (плотности негативов практически одинаковы). Следует отметить наличие переменных деталей.

2. Отождествление деталей проводилось следующим образом.

1) Первоначально определялось положение деталей в спектре с использованием грубой дисперсионной кривой, построенной по линиям водорода для каждой спектрограммы. 2) Значения полученных длин волны деталей наносились на рис. 2, по оси абсцисс, а по оси ординат откладывались значения  $n_i/N$ , где  $N$  — полное число спектрограмм, а  $n_i$  — число спектрограмм, где имеется данная деталь. Реальными считались детали, которые присутствуют на большинстве спектрограмм, то есть  $n_i/N \geq 0.5$ . 3) Используя списки линий [3, 4], мы провели предварительное отождествление деталей, отдавая предпочтение линиям элементов, которые наиболее вероятны в спектре этой звезды и встречаются в других спектральных областях.

3. Поведение линий  $P_{12}$ ,  $P_{11}$ . В исследуемой области водородными линиями, свободными от бленд с линиями Ca II, являются линии  $P_{12}$ ,  $P_{11}$ . В табл. 1 приведены значения эквивалентных ширин всех наблюдаемых водородных линий и их средние квадратичные ошибки. На рис. 3 можно видеть изменения относительных интенсивностей  $W_i/W_j$  линий  $P_{12}$  и  $P_{11}$  с учетом и без учета блендирования другими линиями. Закономерность в изменениях сохраняется независимо от учета блендирования, меняется лишь амплитуда.

4. Выделение триплета Ca II. Аномальное усиление линий  $P_{13}$ ,  $P_{15}$ ,  $P_1$  вызвано блендированием их триплетом Ca II ( $\lambda$  8498, 8542, 8662 Å). Так как линии кальция составляют физические бленды с линиями водорода, то выделение их из бленд представляет довольно сложную задачу [5]. Мы

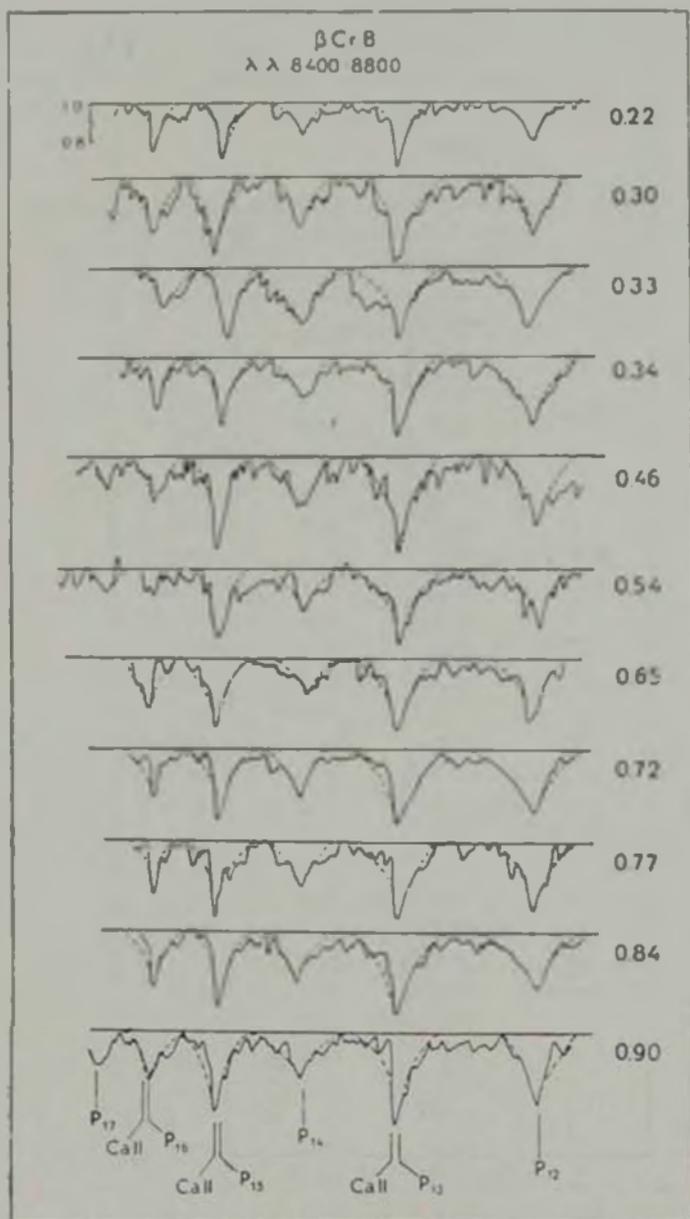


Рис. 1. Регистрограммы спектра  $\beta$  Cr B (в интенсивности) для нескольких фаз.

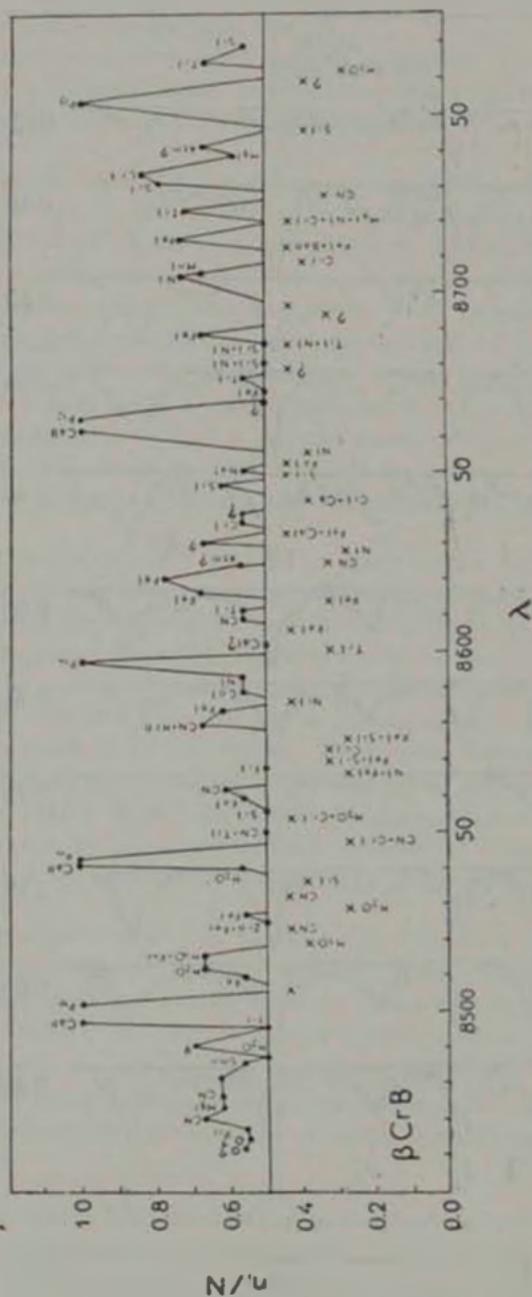


Рис. 2. Вероятные отождествление агалей в спектральном диапазоне от 8400 до 8500 Å.

пытались решить эту задачу следующим приближенным способом: зависимость  $W_i$  от  $n$  (номера линии) для линий  $P_{12}$ ,  $P_{14}$  и  $P_{17}$  практически прямолинейна (табл. 1). Интерполированием можно определить значения  $W_i$  для  $P_{13}$ ,  $P_{15}$ ,  $P_{16}$ , а следовательно и  $W_i$  всех трех линий Ca II.

Таблица 1  
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ ШИРИНЫ ЛИНИЙ ПАШЕНОВСКОЙ СЕРИИ ВОДОРОДА  $\beta$  Cr B

Оболн.	$\lambda$	$W_i$ (А)	$W_i$ (А)	$\lambda_{H\beta}$ ( $^{\circ}$ )
1	2	3	4	5
$P_{12}$ 8750.5	0.22	3.93	3.76	12
	0.30	6.24	5.38	9
	0.33	7.20	6.47	8
	0.345	8.00	8.46	5.5
	0.46	8.13	7.29	7
	0.54	6.64	5.54	9
	0.65	6.18	5.67	8.5
	0.72	7.78	8.46	5.5
	0.77	6.83	7.03	7
	0.845	6.65	6.58	7.5
	0.90	6.23	5.99	8.5
ср.зн.	6.91	6.73	2.5	
$P_{13}$ - Ca II 8665.0 8662.2	0.22	4.45	4.39	10.5
	0.30	8.90	8.71	5.5
	0.33	9.60	6.95	7
	0.345	7.50	7.30	7
	0.46	10.25	10.02	5
	0.54	8.96	9.22	5
	0.65	7.15	7.48	6.5
	0.72	6.98	8.01	6
	0.77	7.60	7.81	6
	0.845	8.50	9.92	5
	0.90	7.61	7.38	6.5
ср.зн.	7.05	7.78	2	
$P_{14}$ 8598.4	0.22	3.30	2.29	15.5
	0.30	4.89	3.80	12
	0.33	8.03	7.34 (3.80)	7
	0.345	4.90	4.00	11.5
	0.46	5.95	4.76	10
	0.54	5.16	4.18	11

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5
0.65	4.45	3.24	3.24	13
0.72	4.70	3.81	3.81	12
0.77	5.87	4.54	4.54	10.5
0.845	5.45	5.14	5.14	9.5
0.90	5.62	5.27	5.27	9
сречн.	5.07	4.84	4.84	3.4
0.22	2.73	3.34	3.34	13
0.30	3.32	3.76	3.76	8.5
0.33	3.27	3.20	3.20	9.5
0.345	3.50	3.42	3.42	9
0.46	3.45	3.65	3.65	9
0.54	7.30	5.19	5.19	9.5
0.65	5.90	6.12	6.12	8
0.72	5.60	5.17	5.17	9.5
0.77	6.11	6.60	6.60	7.5
0.845	5.75	5.81	5.81	9.5
0.90	6.15	6.89	6.89	7.5
сречн.	6.10	6.28	6.28	3
0.22	2.83	2.29	2.29	16
0.30	4.31	4.04	4.04	11.5
0.33	3.36	3.71	3.71	12
0.345	3.06	2.81	2.81	14
0.46	2.83	3.57	3.57	12.5
0.54	2.59	3.79	3.79	11.5
0.65	2.36	4.02	4.02	11.5
0.72	2.45	3.19	3.19	13.5
0.77	1.84	2.77	2.77	14
0.845	2.84	4.35	4.35	11
0.90	3.58	3.92	3.92	12
сречн.	2.81	3.04	3.04	4
0.22	1.40	0.60	0.60	
0.30	1.40	1.40	1.40	
0.33	0.70	0.70	0.70	
0.345	1.10	1.10	1.10	
0.46	0.95	0.95	0.95	
0.54	0.75	0.75	0.75	
0.65	0.70	0.70	0.70	
0.72	0.60	0.60	0.60	

P<sup>15</sup> C<sup>0</sup>II

8545.4

8542.1

P<sup>14</sup> C<sup>0</sup>II

8502.5

8498.1

P<sup>11</sup>

8467.3

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	4	5
P <sub>10</sub> 8437.9	0.77		0.70	
	0.845		1.00	
	0.90		1.40	
	среди.		0.90	
	0.22		0.60	
	0.30		0.70	
	0.33		0.50	
	0.345		0.30	
	0.46		0.75	
	0.54		0.70	
	0.65		0.80	
	0.72		0.44	
	0.77		0.55	
	0.845		0.70	
	0.50		1.00	
среди.		0.63		

1 — Обозначение и положение водородных линий пашеновской серии.

2 — Фаза наименьшей магнитного поля звезды.

3 — Эквивалентная ширина водородной линии со всеми блендирующими линиями.

4 — Эквивалентная ширина водородной линии без бленд (жонтуры обозначены пунктирной линией на рис. 1).

5 —  $w_{\lambda}$  — взята из [5].

Следует отметить, что получаемые таким образом значения эквивалентных ширин линий кальция представляют собой нижние границы, поскольку рассматриваемые бленды попадают не на прямолинейную часть кривой роста, а в область, определяемую затуханием излучения.

Отношение эквивалентных ширин линий водорода, блендированных линиями кальция, к  $w_{\lambda}$  неблендированных линий P<sub>12</sub>, P<sub>13</sub> дает общий вклад всех линий кальция в бленды.

Получаемый указанным образом вклад кальция в водородные бленды представляют количественно значения параметров B', A', A (см. табл. 2)

$$A = \frac{w_{\lambda} P_{12} + w_{\lambda} P_{13} + w_{\lambda} P_{14}}{w_{\lambda} P_{12}}$$

$$A' = \frac{w_{\lambda} P_{12} + w_{\lambda} P_{13} + w_{\lambda} P_{14}}{w_{\lambda} P_{14}}$$

$$B = \frac{1/3(w_{\lambda} P_{12} + w_{\lambda} P_{13} + w_{\lambda} P_{14})}{1/2(w_{\lambda} P_{12} - w_{\lambda} P_{14})}$$

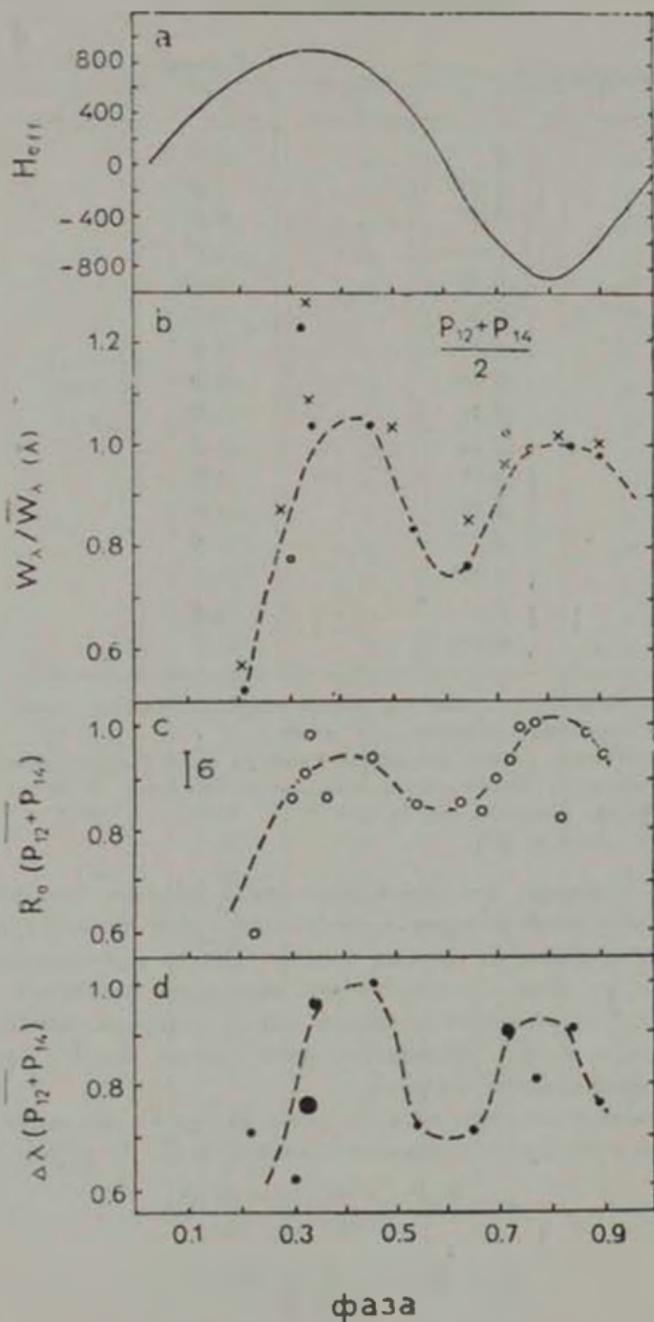


Рис. 3. Изменение б)  $W_\lambda / W_\lambda(\lambda)$ , в)  $R_0$  (центральная интенсивность), д)  $\Delta\lambda$  (полуширина) линий  $P_{12}$ ,  $P_{14}$  с изменением а) магнитного поля  $H_{eff}$ . • — без бледн., x — с бледнами.

$$W, \text{ Ca II} = W, P_{14} = 1/2 (W, P_{12} + W, P_{14}).$$

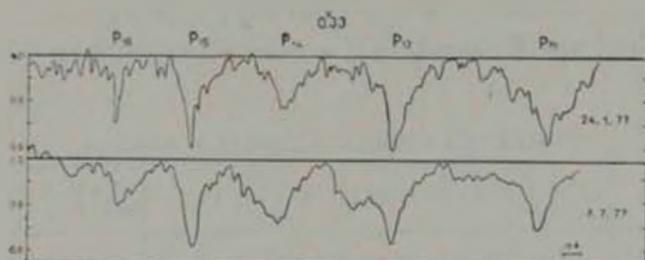
Оказалось, что  $W, \text{ Ca II}$  линий Ca II меняются в противофазе с магнитным полем.

Таблица 2

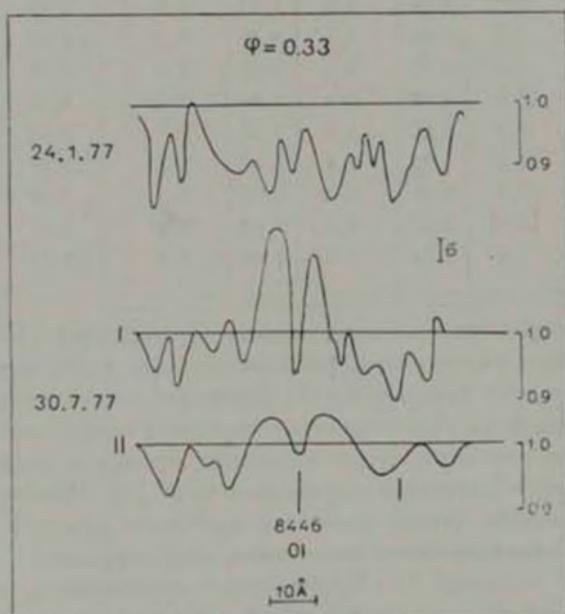
ТРИПЛЕТ Ca II (8662.17 Å, 8542.14 Å, 8498.06 Å)

Фаза	$A$	$\pm A$ (%)	$A'$	$\pm A'$ (%)	$B$	$\pm B$ (%)	$W, \text{ Ca II}, \text{ Å}$ 8662.17 Å	$\pm W, \text{ Ca II}$ (%)
0.22	4.38	31.0	2.67	10.5	1.10	4.5	1.37	14
0.30	4.88	16.0	3.44	6.5	1.34	2.5	4.12	10
0.33	4.75	3.0	2.46	3.9	1.03	1.5	1.62	9
0.345	3.88	5.5	1.84	2.5	0.83	1.5	1.07	9.5
0.46	4.04	4.0	2.70	3.3	1.05	1.5	4.00	8
0.54	4.37	12.5	3.28	6.0	1.25	2.0	4.36	9
0.65	5.44	6.5	3.11	3.0	1.32	2.5	3.02	10
0.72	4.26	14.5	1.93	2.4	0.89	1.5	1.96	9
0.77	3.78	9.5	2.44	3.3	0.99	1.5	2.02	9
0.845	3.91	8.0	3.05	4.0	1.14	1.5	4.06	8
0.90	4.45	6.6	3.04	5.0	1.08	1.5	1.75	9

5. В результате проведенного анализа спектрограмм  $\beta$  Cr B была получена следующая картина изменений водородных линий пашеновской серии и инфракрасного триплета Ca II. Изменение относительных интенсивностей линий водорода коррелирует с изменением магнитного поля звезды (рис. 3), причем максимум кривой изменения линий водорода соответствуют экстремальным значениям магнитного поля [1]. Имеются изменения контуров водородных линий, причем на изменения контуров самих водородных линий накладываются изменения блендирующих деталей. Не исключено, что в спектре  $\beta$  Cr B существует переменность, нерегулярная, то есть не связанная с вращением звезды. На рис. 4а приведено сравнение спектра  $\beta$  Cr B в фазе 0.33 с интервалом времени около полугода. Каждый спектр является результатом усреднения 3—5 спектрограмм. Не трудно заметить, что линии  $P_{14}$  и  $P_{12}$  в спектре за 30.7.77 отягощены блендами, которые отсутствуют в спектре за 24.01.77 г. Эти бленды отождествляются с линиями, соответствующими низким потенциалам возбуждения, с линиями металлов, редкоземельных элементов, а, возможно, также с линиями CN (см. рис. 2). Из рис. 4б можно видеть, что появление этих абсорбционных деталей, возможно, сопровождается появлением эмиссии в линии O I,  $\lambda$  8446 Å, эквивалентная ширина которой достигает 2 Å (разрешима  $W_{\text{линия}} \approx 0.100 \text{ Å}$ ). Однако еще недостаточно наблюдательного материала, чтобы с уверенностью говорить об эмиссии в линии O I, а также о временной шкале подобной переменности.



а)



б)

Рис. 4. Сравнение спектра  $\beta$  Cr V в фазе 0.33 для дат 24.1.77 и 30.7.77

Существенным образом меняет картину переменности водородных линий только блескирование линиями триплета Ca II, ибо интенсивные линии Ca II меняются в противофазе с водородными линиями. Амплитуда изменений  $W$  водородных линий (свободных от бленд Ca II)  $P_{12}$ ,  $P_{14} \approx 40\%$  ( $\sigma \approx 10\%$ ). Для H. [2] были получены оценки амплитуды изменений  $W \approx 25\%$  ( $\sigma \approx 10\%$ ). Амплитуда изменений  $W$  линий Ca II  $\approx 50\%$  ( $\sigma \approx 15\%$ ). На рис. 3, где приведены изменения  $P_{12}$ ,  $P_{14}$  центральных интенсивностей и полуширин линий, можно заметить, что в

областях экстремальных значений магнитного поля линии водорода более широкие и более глубокие.

Физические условия атмосферы  $\beta$  Cr B, приводящие к такой переменности водородные линии и инфракрасный триплет Ca II, будут рассмотрены во второй части работы.

Крымская астрофизическая  
обсерватория

## THE INVESTIGATION OF PASCHEN HYDROGEN LINES AND THE INFRARED Ca II TRIPLET IN THE SPECTRUM OF THE MAGNETIC STAR $\beta$ Cr B

N. S. POLOSUKHINA, A. G. SCHERBAKOV, V. P. MALANUSHENKO

The behavior of hydrogen  $P_{12a}$ ,  $P_{11}$  lines and Ca II triplet on 39 spectrograms of the magnetic star  $\beta$  Cr B in the region 8400–8800 Å has been investigated. The analysis of equivalent widths and profiles of hydrogen lines showed distinct correlation with variation of magnetic field of the star. Observed widenings of the profiles of hydrogen lines in phases of higher activity of the star indicate noticeable changes of physical parameters of the atmosphere.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Н. С. Полосухина, Изв. КрАО, 54, 120, 1976.
2. Ю. В. Глазюлевский, К. И. Козлова, Н. С. Полосухина, Письма АИЖ, № 3, 1978.
3. C. E. Moore, A Multiplet Table of Astrophys. Interest., Revised Edition, Pt. 1–2, Washington, 1959.
4. C. E. Moore, M. C. J. Minnaert, J. Houtgast, The Solar spectrum 2935 Å to 8760 Å, Washington, 1966.
5. А. Г. Щербаков, В. Д. Бычков, Э. А. Витриченко, Изв. КрАО, 58, 81, 1978.