

## О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ В СПЕКТРАХ МАГНИТНЫХ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД.

### IV. $\gamma$ Ari, 56 Ari, $\beta$ CrB

*Н. М. Чунакова*

Исследовано около 70 спектрограмм (дисперсия 29 Å/мм) пекулярных звезд  $\gamma$  Ari (S), 56 Ari,  $\beta$  CrB. Обнаружена переменность различных параметров водородных линий и линии KCa II ( $\lambda$  3933.66 Å) либо с одной (56 Ari,  $\beta$  CrB), либо с двумя ( $\gamma$  Ari) волнами в течение фотометрического периода.

Построены зависимости между эквивалентными ширинами линий  $H_\gamma$ ,  $H_\beta$  и KCa II и показателями цвета, а для  $\beta$  CrB — и напряженностью магнитного поля.

About 70 spectrograms (dispersion 29 Å/mm) of peculiar stars  $\gamma$  Ari, 56 Ari,  $\beta$  CrB are studied. Variability is found for different parameters of hydrogen lines and KCa II line ( $\lambda$  3933.66 Å) either with one (56 Ari,  $\beta$  CrB) or with two ( $\gamma$  Ari) waves during a photometric period.

Dependences are constructed between equivalent widths of lines  $H_\gamma$ ,  $H_\beta$ , KCa II and color indices, and for  $\beta$  CrB also magnetic field strength.

Настоящая работа является продолжением исследования переменности водородного спектра в магнитных звездах различных типов пекулярности [1—3]. Изучение характера изменений интенсивностей водородных линий и линии KCa II в течение периода для магнитных пекулярных звезд наряду с исследованием переменности их блеска, магнитного поля и интенсивностей линий других элементов, а также установление взаимосвязи между ними позволит установить причины, вызывающие эти изменения. Ниже мы приводим результаты изучения переменности водородного спектра и линии K ионизованного кальция в магнитных пекулярных звездах  $\gamma$  Ari (S), 56 Ari и  $\beta$  CrB.

Спектральный материал получен в 1972—1975 гг. на спектрографе UAGS телескопа Цейс-600 (дисперсия 29 Å/мм): эмульсия Kodak 103aO, спектральная область 3900—4900 Å. Обработка спектрограмм проводилась, как и в работе [3].

**Результаты наблюдений.** HD 11503 =  $\gamma$  Ari (AOp, Cr) — пекулярная звезда, в спектре которой Дейч [4] обнаружил сильный дублет кремния Si II (4128—4131 Å) и значительную периодическую переменность интенсивностей линий Ca II и Cr II:

$$\text{JD Ca II мин.} = \text{Cr II мин.} = \text{JD } 2431782.5 + 2^d607 \text{ E.}$$

Детального спектрофотометрического исследования звезды до сих пор не проводилось, если не считать работу [4], носящую чисто качественный характер. В 1968 г. Вуд [5] пытался обнаружить быструю переменность в линии  $H_\beta$ . Его результат — изменения интенсивности линии  $H_\beta$  имеют короткий период (38<sup>m</sup>) — не совсем уверен из-за низкой надежности звезды сравнения.

$\gamma$  Ari (S), как малоизученная звезда с особенностями в спектре, представляет интерес для исследования. Для нее мы получили 27 спектрограмм

ТАБЛИЦА 1

JD	Фаза	JD	Фаза
2441637.340	0P15	661.469	0P40
637.420	.18	662.386	.75
637.444	.19	662.409	.76
637.507	.21	662.434	.77
640.242	.26	663.315	.11
640.330	.29	663.335	.12
641.224	.64	663.395	.14
659.336	.58	663.421	.15
659.360	.58	664.312	.49
659.466	.63	664.342	.50
661.374	.36	665.340	.89
661.397	.37	668.130	.96
661.435	.39	671.139	.11
		671.167	.12

ТАБЛИЦА 2

JD	Фаза	JD	Фаза
2442356.299	0P29	2442359.327	0P93
357.316	.69	359.380	.53
357.367	.76	360.396	.92
357.432	.85	501.220	.39
357.497	.94	502.215	.76
358.312	.06	645.420	.50
358.371	.14	646.441	.90
358.423	.21	650.403	.34
358.497	.32	651.441	.77
359.448	.62	652.437	.14
359.501	.69	653.415	.62

в 1972—1973 гг. Наш материал из-за длительных экспозиций (от 20 до 50<sup>m</sup>) не позволяет изучать коротковременную переменность. Для выявления периодических изменений были рассчитаны фазы для среднего момента наблюдений по элементам, приведенным выше (табл. 1).

На рис. 1, а, б приведены изменения эквивалентных ширин водородных линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  и различных параметров линии КСа II в течение периода.

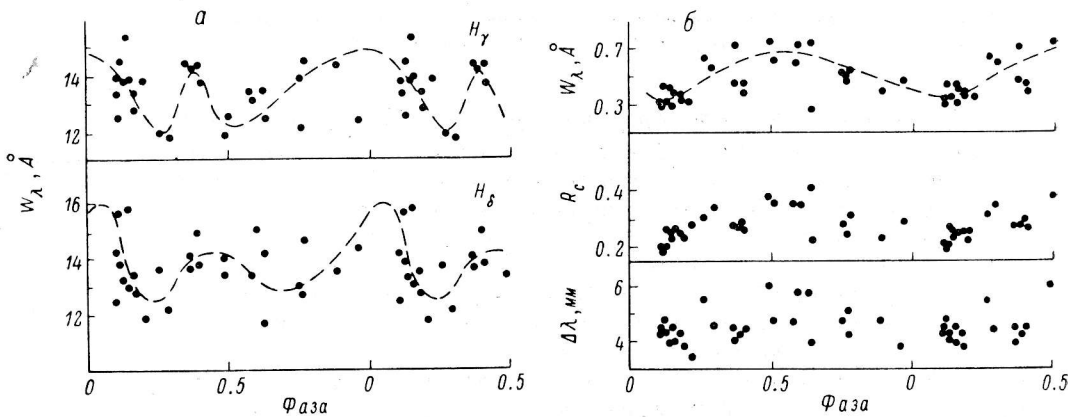


Рис. 1.

а — изменение эквивалентной ширины  $W_\lambda$  линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  в спектре  $\gamma$ Arg (S) в течение периода;  
б — изменение различных параметров линии КСа II в спектре  $\gamma$ Arg (S) в течение периода.

Характер переменности  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ): двойная волна с максимумами при фазах 0P0 и 0P5 и амплитудой изменения  $\sim 3 \text{ \AA}$  при среднем значении  $\sim 13.5 \text{ \AA}$  в фазе главного максимума. (Среднеквадратичная ошибка одного измерения для  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ ),  $W_\lambda$  ( $H_\delta$ ) составляет  $1.6 \text{ \AA}$  при  $W_\lambda \approx 13 \div 20 \text{ \AA}$  [3]). Основные параметры линии КСа II ( $\lambda 3933.66 \text{ \AA}$ ) изменяются с одной волной в течение периода, максимум которой соответствует фазе 0.5. Эквивалентная ширина  $W_\lambda$  и центральная глубина  $R_c$  линии КСа II изменяются в течение периода примерно в 2 раза. Полуширина же линии К, хотя и обнаруживает изменения, но с большим разбросом из-за меньшей точности ее определения.

Мы не смогли сопоставить спектральные и фотоэлектрические наблюдения звезды [6], так как период ее переменности известен с точностью

до второго знака после запятой и за большой интервал времени между различными рядами наблюдений может набежать разность фаз.

HD 19832=56 Ari (B 9p, Si He I) — пекулярная звезда с очень широкими линиями в спектре, что затрудняет измерение напряженности ее магнитного поля. Об изменении эквивалентных ширин водородных линий  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ) с амплитудой 20% упоминал еще Бонсак [7], но характер этой переменности в течение периода трудно выявляется из-за большого разброса измерений. Сложный характер изменения интенсивностей линий бальмеровской серии  $H_\delta$ — $H_{10}$  в течение периода отмечается и в [8].

Для 21 спектрограммы 56 Ari мы рассчитали фазы (табл. 2) по элементам [9]:

$$JD \text{ (минимум блеска V)} = JD 2437667.728 + 0^d 7278925 E.$$

На основании имеющегося материала проведено исследование на переменность в течение периода эквивалентных ширин  $W_\lambda$ , центральных глу-

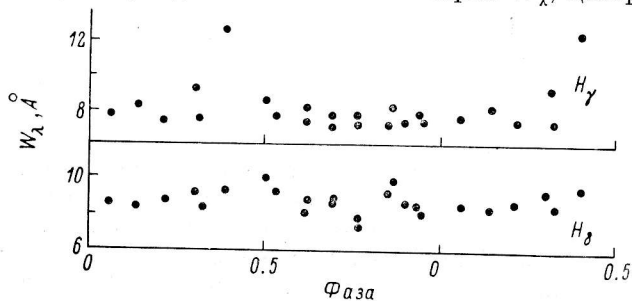


Рис. 2. Периодическое изменение эквивалентной ширины  $W_\lambda$  линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  в спектре 56 Ari.

бин  $R_c$  и полуширин  $\Delta\lambda$  водородных линий  $H_\gamma$ — $H_\delta$ . Переменность обнаруживается только у  $W_\lambda$  (рис. 2) и  $\Delta\lambda$ , но характер ее выявляется неуверенно из-за недостаточного количества спектрограмм в интервале фаз 0<sup>д</sup>4—0<sup>д</sup>5 (всего одна пластинка, которой соответствует максимальная интенсивность исследуемых бальмеровских линий). Но если учесть, что и по данным Бонсака [7] происходит увеличение при переходе от фазы 0<sup>д</sup>2 к 0<sup>д</sup>6, то можно считать уверенной точку вблизи фазы 0<sup>д</sup>4 (она указывает на переменность с амплитудой  $\geq 3\sigma$ ), и изменение происходит с одной волной в течение периода. Кроме того, максимум в этой фазе подтверждается и фотоэлектрическими наблюдениями, проведенными нами [10], а именно: переменность блеска в области линий  $H_\delta$  имеет два максимума, один из которых также приходится на фазу 0<sup>д</sup>4.

Для 56 Ari характерной особенностью является большой разброс точек при исследовании поведения тех или иных параметров в течение периода (по данным разных авторов). Возможно, это связано с наложением коротковременной переменности, например типа вспышек, на периодическую. Но выделить эту переменность нельзя, так как мы наблюдаем всю поверхность звезды, а вспышки могут происходить в отдельных ее зонах.

Взаимосвязь между эквивалентной шириной водородных линий и цветом звезды носит самый разнообразный характер. Либо это кривая без узлов, например зависимость  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ )  $\rightarrow$  U—B, либо с двумя узлами —  $W_\lambda$  ( $H_\delta$ )  $\rightarrow$  B—V (рис. 3).

HD 137909= $\beta$  CrV (F0p) — самая поздняя из исследованных нами звезд, в спектре которой отсутствует заметная переменность интенсивностей линий. Для  $\beta$  CrV Глаголевский и др. [11] обнаружили переменность линии  $H_\alpha$  с амплитудой  $\sim 3$ — $4 \text{ \AA}$  при средней для каждой фазы ошибке  $\sigma = \pm 0.8$ — $1.0 \text{ \AA}$ .

Для полученных нами 14 спектрограмм звезды фазы рассчитаны (табл. 3) по элементам [12]:

$$JD \text{ (положительный кроссовер)} = JD 2434217.5 + 18^d487 \text{ E.}$$

Нами обнаружены изменения интенсивностей других линий бальмеровской серии, а именно  $H_\gamma$ — $H_\delta$ . Найденная переменность эквивалентных ширин  $W_\lambda$  и полуширин  $\Delta\lambda$  для этих линий (рис. 4, а, б) носит следующий характер: одна волна в течение периода. Линия К ионизованного кальция

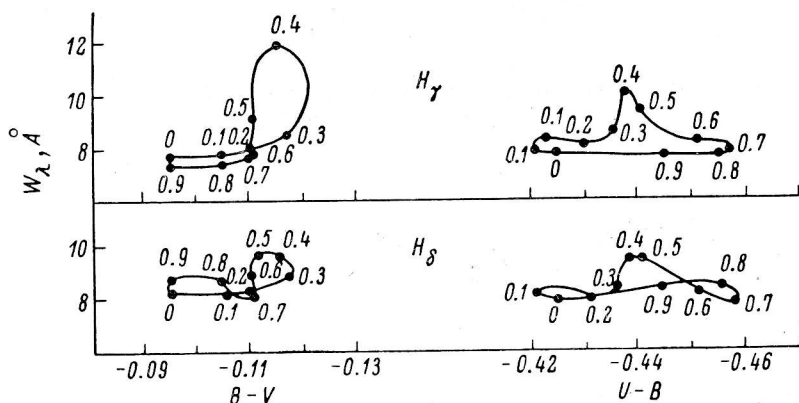


Рис. 3. Взаимосвязь между эквивалентной шириной линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  и цветом В—V и U—B в спектре 56 Agi.

также показывает изменения с одной волной в течение периода (рис. 5). Для  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ) амплитуда изменений составляет 35—40%, а для  $\Delta\lambda$  ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$ ) — 35%, максимум приходится на фазу 0<sup>п</sup>5.

Все зависимости от величины напряженности магнитного поля  $H_e$  открыты, простые, без узлов (рис. 6, а), а зависимости от цвета В—V — сложные, с одним или двумя узлами (рис. 6, б). На рис. 6, б корреляция между  $W_\lambda$  и В—V, хотя и сложная, ближе к линейной, чем на рис. 6, а, где рассматривается взаимосвязь между  $W_\lambda$  и  $H_e$ . [Одной и той же эквивалентной ширине  $W_\lambda$  ( $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  или КСа II) соответствуют более близкие значения цвета В—V, чем магнитного поля  $H_e$ . Значения последнего могут не только сильно различаться по величине, но и быть разными по знаку].

Результаты, полученные здесь и в работах [2—3], так же как и данные других авторов, показывают сильное изменение физических условий и структуры атмосферы при переходе от одного участка поверхности пекулярной звезды к другому. Поэтому для понимания явлений, происходящих в магнитных Ар-звездах, важно не только установить фазовые соотноше-

ТАБЛИЦА 3

JD	Фаза	JD	Фаза
2442500.564	0 <sup>п</sup> 05	2442588.279	0 <sup>п</sup> 79
502.561	.16	589.427	.86
564.287	.49	590.272	.90
565.270	.55	591.395	.96
566.263	.60	610.252	.98
567.258	.66	616.303	.31
568.262	.71	618.314	.42

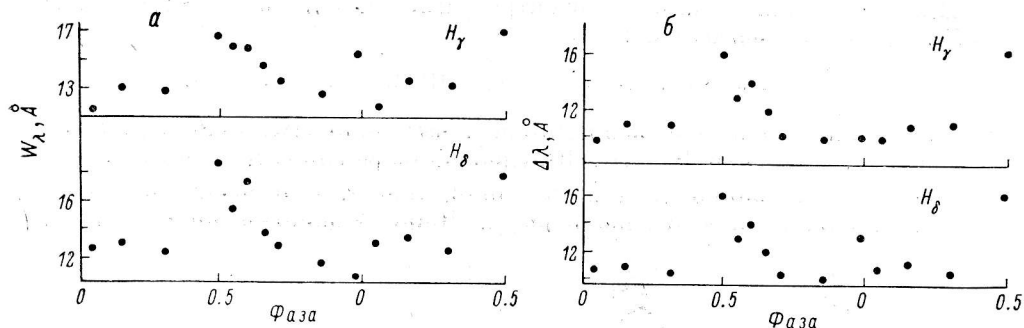


Рис. 4. Изменение в течение периода эквивалентных ширин  $W_\lambda$  (а) и полуширин  $\Delta\lambda$  (б) линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  в спектре  $\beta$  CrB.

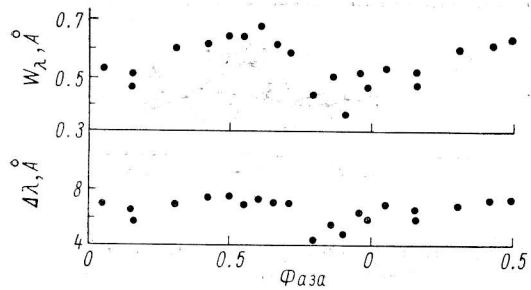


Рис. 5. Периодическое изменение эквивалентной ширины  $W_\lambda$  и полуширины  $\Delta\lambda$  линии KCa II в спектре  $\beta$ -CrB.

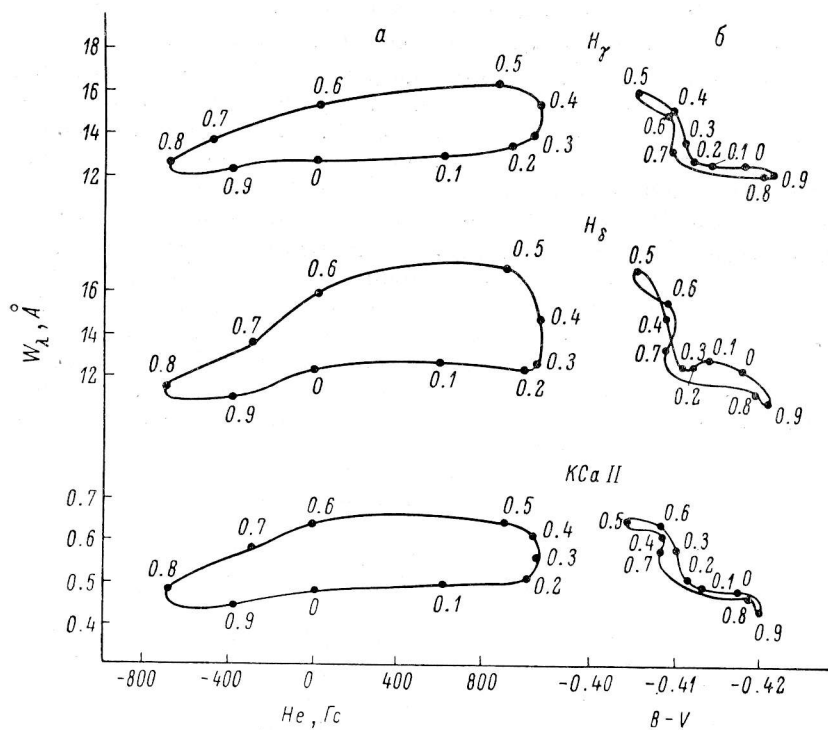


Рис. 6. Взаимосвязь между эквивалентной шириной линий  $H_\gamma$ ,  $H_\delta$  и KCa II и величиной магнитного поля  $H_e$  (а) и цветом В—V в спектре  $\beta$  CrB (б).

ния между кривыми блеска, магнитного поля, изменениями интенсивностей такого обильного элемента, как водород, пекулярных элементов. Желательно также, чтобы все эти ряды наблюдений производились синхронно или близко по времени.

**Заключение.** Для трех звезд различных типов пекулярности —  $\gamma$  Ari (S), 56 Ari и  $\beta$  CrV — показана переменность в течение фотометрического периода эквивалентных ширин  $W_\lambda$ , полуширин  $\Delta\lambda$  и центральных глубин  $R_c$  водородных линий  $H_\gamma$ — $H_\delta$ , а также линии К ионизованного кальция. Характер этой переменности различен в разных звездах как по амплитуде, так и по форме. Как и в случае 73 Dra и HD 184905 [3], для  $\beta$  CrV обнаруживается сложная зависимость между интенсивностью водородных линий (или KCa II) и величиной магнитного поля, когда одной и той же напряженности поля соответствуют различные значения эквивалентной ширины линий водорода (или кальция).

Мы исследовали водородный спектр нескольких магнитных звезд разных типов пекулярности и различных спектральных классов по материалу с обратной линейной дисперсией 29 Å/мм [2, 3]. Используя и литературные данные, можно будет в дальнейшем сделать некоторые статистические выводы о поведении интенсивностей водородных линий в зависимости от типа пекулярности звезды и температуры и ее взаимосвязи с величиной магнитного поля, цветом и другими характеристиками звезды.

#### Список литературы

1. Кумайгородская Р. Н., Чунакова Н. М. О характере изменения водородных линий в спектрах магнитных и пекулярных звезд. I.  $\alpha^2$ CVn и  $\epsilon$ UMa. — Сообщ. САО, 1973, 10, с. 21—36.
2. Кумайгородская Р. Н., Чунакова Н. М. О характере изменения водородных линий в спектрах магнитных и пекулярных звезд. II. Спектрофотометрическое исследование HD 184905. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1975, 7, с. 3—12.
3. Кумайгородская Р. Н., Чунакова Н. М. О характере изменения водородных линий в спектрах магнитных пекулярных звезд. III. 73 Dra и HD 184905. — Астрофиз. исслед. (Изв. САО), 1978, 11.
4. Deutsch A. A study of the spectrum variables of type A. — *Astrophys. J.*, 1947, 105, p. 283—304.
5. Wood H. J. Photoelectric Balmer-line photometry. II. Observations of HR 9080 and related spectrum variables. — *Astrophys. J.*, 1968, 152, p. 117—122.
6. Rakos K. D. Photoelectric investigation of magnetic and spectrum variable stars. II. — *Lowell Obs. Bull.*, 1963, No 121, 6, p. 91—101.
7. Bonsack W. K. Spectrum variations in 56 Arietis. III. Lines of hydrogen, magnesium and calcium. — *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1972, 84, p. 260—272.
8. Aslanov I. A., Rustamov J. S., Khalilov V. M., Schakir-Sade A. A. Investigation of the Balmer lines in Ap-stars. — *Astron. Nachr.*, 1976, Bd 297, p. 191—202.
9. Hardie R. H., Schroeder N. H. Three-color photometry of 56 Arietis. — *Astrophys. J.*, 1963, 138, p. 350—355.
10. Чунакова Н. М. Фотометрия четырех пекулярных звезд. — Настоящий сборник, с. 10—15.
11. Глаголевский Ю. В., Козлова К. И., Полосухина Н. С. О переменности водородной линии  $H_\alpha$  в спектре магнитно-переменной звезды  $\beta$ CrV. — Письма в АЖ, 1978, № 3, с. 138—139.
12. Preston G. W., Sturch C. The magnetic field of  $\beta$  Coronae Borealis. — *Contrib. Lick. Obs.*, 1967, No 205, p. 111—121.