

О ВОЗМОЖНОЙ ТОНКОЙ СТРУКТУРЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ХИМИЧЕСКИ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД $\alpha^2 CVn$ и βCrB . II. РЕДКИЕ ЗЕМЛИ

И. И. Романюк

Магнитное поле химически пекулярных звезд $\alpha^2 CVn$ и βCrB изучено на основании измерений линий редкоземельных элементов по зеемановским спектрам, полученным с ахроматическим анализатором круговой поляризации в области спектра $\lambda\lambda$ 3300 - 4000 Å на 6-м телескопе.

Продемонстрировано, что для звезды $\alpha^2 CVn$ продольная компонента магнитного поля, определенная по линиям Re-элементов в области спектра $\lambda > 3646$ Å, показывает периодическую переменность с изменениями знака поля, в то время как в области $\lambda < 3646$ Å она отрицательна во всех фазах периода переменности. Для βCrB обе кривые знакопеременны, однако в области $\lambda < 3646$ Å виден сдвиг редкоземельной ультрафиолетовой кривой на 300 Гс в область отрицательной полярности по сравнению с кривой продольной компоненты поля, определенной по линиям редкоземельных элементов в обычной фотографической спектральной области.

Для βCrB приведены также кривые продольной составляющей магнитного поля, определенные по линиям железа, хрома и титана в областях спектра по разные стороны от бальмеровского скачка.

В рамках классической, чисто дипольной модели, объяснить различное поведение магнитных кривых по разные стороны от скачка не удастся; необходимо построение новых моделей, учитывающих сложную структуру магнитного поля.

Magnetic fields of chemically peculiar stars $\alpha^2 CVn$ and βCrB are studied using the measurements of rare earth element lines made from Zeeman spectra, obtained with the achromatic analyser of circular polarization within $\lambda\lambda$ 3300-4000 Å at the 6-m telescope.

It is shown that for the star $\alpha^2 CVn$ the longitudinal component of the magnetic field, determined within the spectrum range $\lambda > 3646$ Å, reveals periodic variability with the field sign changes, while within $\lambda < 3646$ Å it is negative in all the phases of variability. For βCrB the both curves are signchanging, however in the range $\lambda < 3646$ Å a shift is noticed of the rare earth ultraviolet curve by 300 Gs toward the negative polarity as compared with the curve of the field longitudinal component determined from the lines of the rare earth elements in the usual photographic spectral range. The longitudinal component curves of the magnetic field, determined from the Fe, Cr and Ti lines in the spectrum range on both sides of Balmer jump are presented also for βCrB .

We failed to explain different behaviour of the magnetic curves on both sides of the Balmer jump in the frames of the classical purely dipole model; the construction of new models allowing for the complicated structure of the magnetic field is necessary.

1. ВВЕДЕНИЕ

В предыдущей нашей работе (Романюк, 1986, далее статья 1) были представлены результаты исследований магнитного поля двух химически пекулярных звезд верхней части главной последовательности α^2 CVn и β CrV на основании наших измерений зеемановских спектров, полученных на 6-м телескопе в спектральной области $\lambda\lambda$ 3300-4000 Å с ахроматическим анализатором круговой поляризации. Длина волны λ 3646 Å попадала примерно на середину получаемой спектрограммы ($D = 6.7$ Å/мм), что позволило, измеряя эффект Зеемана до и после бальмеровского скачка, исследовать вертикальную (радиальную) составляющую магнитного поля. В статье 1 нами приведены результаты измерений поля по линиям железа, хрома и титана по разные стороны от скачка, выполнено сравнение с картами распределения этих элементов по поверхности для звезды α^2 CVn, опубликованными Хохловой (1983), и сделан вывод о наличии особенностей, которые можно интерпретировать как проявления тонкой структуры магнитного поля.

Там же проведен подробный анализ методов наблюдений тонкой структуры магнитных полей Cr-звезд, указывающий на возрастающую актуальность исследования этой проблемы. В частности, было отмечено, что у звезды HD 32633 обнаружена особенность в кривой изменения продольной компоненты общего магнитного поля B_e , которая не может быть объяснена дипольной моделью (Ренсон, 1984). С увеличением числа и точности наблюдений появились новые свидетельства сложной структуры. За прошедшие после публикации статьи 1 несколько лет обнаружены еще две химически пекулярные звезды - HD 37776 (Ландстрит и Томпсон 1986) и HD 133880 (Ландстрит, 1990), у которых магнитное поле по наблюдениям на фотоэлектрических магнитометрах по линиям водорода имеет явно несинусоидальную кривую изменений, и авторы этих работ считают, что квадрупольная составляющая поля в упомянутых звездах доминирует. Кроме того, Ландстрит (1988, 1989) построил наилучшим образом совпадающие с наблюдениями теоретические модели магнитных полей звезд 53 Cam и HD 215441. Для подгонки теоретической кривой изменения поля B_e к экспериментально полученной из наблюдений ему пришлось вводить мультипольные компоненты: квадрупольные и октупольные. Он показал, что их вклад, по сравнению с дипольной, значителен.

В настоящей работе мы продолжаем исследование структуры магнитного поля α^2 CVn и β CrV, изучая его поведение до и после бальмеровского скачка на основании измерения линий редкоземельных элементов.

Имеется много свидетельств тому, что ионы редкоземельных элементов в атмосферах пекулярных звезд сконцентрированы, как правило, в очень резких, совпадающих с полюсами магнитного диполя, пятнах (например, Флоке, 1979). При измерении магнитного поля по линиям этих элементов до и после скачка (разница в геометрической глубине образования линий составляет 10^3 км, размеры пятен < 0.1 диаметра звезды ($\sim 10^4 - 10^5$ км), т. е. отношение видимых вертикальных и горизонтальных размеров пятна составляет $10^{-1} - 10^{-2}$) представляется принципиально возможным определение радиального градиента поля в пятне,

особенно когда малое пятно находится под небольшим углом к лучу зрения - в этом случае эффектами различий в потемнении к краю можно пренебречь.

Исходя из вышеизложенного, мы продолжили исследования $\alpha^2 CVn$ и βCrV , начатые нами в статье 1 с целью поиска особенностей кривых магнитного поля, определенных по разным элементам. Для каждой из этих звезд рассмотрим подробнее результаты измерений линий редкоземельных элементов, расположенных по разные стороны от бальмеровского скачка.

2. $\alpha^2 CVn$

У этой яркой магнитной звезды наблюдается синхронная фотометрическая, спектральная и магнитная переменность с периодом 5.46939^d. Подробные сведения об $\alpha^2 CVn$ можно найти в статье 1, здесь же мы лишь вкратце упомянем о некоторых результатах наших предыдущих исследований, необходимых нам для дальнейшего анализа. В настоящей работе все обозначения в тексте и в таблицах аналогичны применяемым нами ранее.

1. Измеренные в области $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ по всем линиям магнитные поля B_e^{3500} достоверно меньше и по величине и по амплитуде изменений, чем в области $> 3646 \text{ \AA}$ - B_e^{3800} .

2. Магнитные поля B_{Fe}^{3800} и B_{Fe}^{3500} , измеренные по линиям железа, по-видимому, показывают такую же картину, но достоверность различий не очень высокая.

3. Поля, определенные по линиям хрома (B_{Cr}), показывают очень сильные различия в поведении по разные стороны от бальмеровского скачка: если в области длин волн $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ (B_{Cr}^{3500}) оно практически постоянно и имеет величину около +500 Гс, то в области $\lambda > 3646 \text{ \AA}$ (B_{Cr}^{3800}) - испытывает очень сильную переменность от -1500 Гс до +1500 Гс, причем экстремумы обеих кривых смещены на 0.2 P по фазе по отношению к кривым эффективного магнитного поля B_e .

4. Поля, определенные по линиям титана (B_{Ti}^{3800} и B_{Ti}^{3500}), показывают синхронные изменения в областях по разные стороны от скачка и не отличаются ни по величине, ни по амплитуде изменений.

Мы сравнили наши результаты с картами распределения железа, хрома и титана, взятыми из работы Хохловой (1983), и отметили хорошее согласие результатов.

В настоящей работе редкоземельные элементы измерялись на тех же зеемановских спектрограммах, полученных в 1980-1984 гг., что и элементы железного пика: железо, хром и титан.

Большинство линий редкоземельных элементов в области $\lambda > 3646 \text{ \AA}$ принадлежит европию, а в области спектра $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ - гадолинию.

В табл. 1 мы приводим полные результаты измерений магнитного поля $\alpha^2 CVn$ по линиям редкоземельных элементов B_{Re}^{3800} и B_{Re}^{3500} в областях спектра, расположенных по разные стороны от скачка. Данные в табл. 1 приведены в хронологическом порядке: даты наблюдений, методику измерений и дальнейшей обработки можно узнать из статьи 1. Линии редкоземельных элементов в фазе, когда поле B_e положительно (фаза "+"), очень слабы, практически на грани обнаружения, а в фазе, когда виден полюс "-", сильны: наблюдается выдающаяся спектральная переменность - эквивалентные ширины линий Re-элементов изменяются больше, чем на порядок.

Таблица 1. Магнитное поле $\alpha^2 CVn$, измеренное по линиям редкоземельных элементов

| фаза | $B_{Re}^{3800} \pm \sigma$, кГс | n | $B_{Re}^{3500} \pm \sigma$, кГс | n |
|-------|----------------------------------|----|----------------------------------|----|
| 0.835 | -0.5 ± 0.8 | 11 | - | - |
| 0.836 | -1.6 ± 0.5 | 14 | - | - |
| 0.345 | -0.3 ± 0.8 | 4 | -3.9 | 2 |
| 0.081 | -0.7 ± 0.2 | 14 | -2.4 ± 1.6 | 4 |
| 0.085 | -0.9 ± 0.5 | 10 | -4.4 ± 0.6 | 4 |
| 0.281 | -2.5 ± 1.3 | 3 | - | - |
| 0.256 | -0.5 ± 0.4 | 7 | - | 1 |
| 0.257 | -2.3 ± 0.5 | 7 | - | 1 |
| 0.258 | -1.2 ± 0.3 | 5 | +0.6 ± 1.0 | 4 |
| 0.440 | +0.6 ± 0.3 | 8 | -4.7 ± 1.3 | 3 |
| 0.441 | +1.0 ± 0.6 | 6 | -2.2 ± 1.6 | 3 |
| 0.625 | - | - | -3.8 ± 2.2 | 3 |
| 0.920 | -2.4 ± 0.4 | 11 | - | 1 |
| 0.862 | -0.2 ± 1.2 | 3 | -0.7 ± 0.9 | 3 |
| 0.864 | +0.2 ± 0.7 | 7 | -1.7 ± 1.3 | 3 |
| 0.474 | +0.7 ± 0.6 | 5 | - | - |
| 0.644 | +0.1 ± 0.9 | 5 | -2.9 ± 1.4 | 4 |
| 0.646 | -0.4 ± 0.8 | 4 | - | - |
| 0.809 | -0.5 ± 0.5 | 11 | +1.7 ± 1.7 | 3 |
| 0.816 | -0.7 ± 0.4 | 16 | -0.2 ± 0.6 | 6 |
| 0.109 | -0.4 ± 0.4 | 14 | -2.4 ± 0.9 | 9 |
| 0.111 | -0.9 ± 0.3 | 16 | +0.4 ± 0.8 | 11 |
| 0.209 | +1.7 ± 0.9 | 3 | -0.1 ± 0.9 | 6 |
| 0.211 | -0.4 ± 0.5 | 8 | -1.0 ± 0.6 | 7 |
| 0.397 | -1.1 ± 0.5 | 7 | - | 1 |
| 0.398 | -1.9 ± 0.9 | 7 | +0.1 ± 0.9 | 6 |
| 0.453 | -0.3 ± 0.7 | 10 | +1.7 ± 1.3 | 6 |
| 0.455 | +0.8 ± 0.4 | 10 | +0.8 ± 1.1 | 6 |
| 0.158 | +0.7 ± 0.4 | 4 | +1.1 ± 0.7 | 9 |
| 0.294 | -1.8 ± 0.5 | 5 | -0.5 ± 1.5 | 3 |

* Здесь и далее во всех таблицах n - количество измеряемых линий.

Вследствие этого точность измерений поля B_{Re} в фазе положительного поля (около 0.5) значительно хуже, чем в фазе отрицательного (около 0.0). Естественно считать, что такая переменность указывает на сильную концентрацию редкоземельных элементов вокруг отрицательного полюса магнитного диполя $\alpha^2 CVn$ (Пайпер, 1969; Кумайгородская и Копылов, 1972 и др.). Позже, путем построения карт распределения элементов по поверхности этой звезды, Хохлова (1983) показала, что европий концентрируется также и на положительном полюсе, но не так интенсивно.

Как видно из табл. 1, мы нашли мало пригодных для исследования магнитного поля линий, и чтобы рассеяние, вызванное недостаточным количеством измерений, не замаскировало каких-то общих закономерностей в поведении поля B_{Re} , объединим все измерения линий редкоземельных элементов в фазах 0.3-0.7 (т. е. на участке положительной полярности) и 0.8-0.2 (на участке отрицательной полярности). Таким образом, мы как бы рассматриваем звезду с двух сторон - со стороны положительного и отрицательного полюса магнитного диполя. Следует, однако, иметь в виду, что магнитная кривая B_e у $\alpha^2 CVn$ несинусоидальная, фрагмент, отвечающий положительной полярности, более узкий и резкий, а участок, который имеет знак "-", длится по фазе более 0.5 периода, а поле B_e при этом практически не меняется. Поэтому наше усреднение на 0.4 P в фазе "+" захватывает больший участок по периоду, чем сама фаза положительной полярности. Результаты этого усреднения приведены в табл.2. Вычисления проводились так,

что равный вес приписывался измерениям каждой отдельной линии, а не спектрограмме, а это важно, так как на разных пластинках количество измерений линий редкоземельных элементов сильно различается.

Таблица 2. Усредненные на 0.4 P по фазе величины поля B_{Re} для α^2CVn

| Полюс | Интервал фаз | $B_{Re}^{3800} \pm \sigma$, Гс | n | $B_{Re}^{3500} \pm \sigma$, Гс | n |
|-------|--------------|---------------------------------|-----|---------------------------------|----|
| "-" | 0.8 - 0.2 | -740 ± 100 | 131 | -670 ± 300 | 53 |
| "+" | 0.3 - 0.7 | +240 ± 180 | 71 | -1190 ± 390 | 39 |

Из табл. 2 следует, что если на звезду смотреть со стороны отрицательного полюса, не видно различий в величине поля, измеренном по линиям редкоземельных элементов до и после скачка. Если же смотреть на звезду со стороны положительного полюса, возникает значительно более сложная картина: наблюдается удивительно большая разница в величине поля по обе стороны от скачка - поле B_{Re}^{3800} , как и ожидалось, положительное, а поле B_{Re}^{3500} имеет отрицательную полярность. Достаточно большое количество измеренных нами линий, несмотря на их слабость в фазе около 0.5, позволяют нам считать этот результат уверенным. Вклад блендирования не может привести к искажению картины, поскольку мы не обнаружили в спектре α^2CVn ни в наших данных, ни в литературе сведений о каком-либо другом химическом элементе, который бы концентрировался только вокруг отрицательного полюса звезды.

Исследуем более подробно фазовые зависимости магнитного поля B_{Re} , определенного по линиям редкоземельных элементов у α^2CVn . Для этого проведем усреднение всех зеемановских спектрограмм, попадающих в интервал фаз 0.3 P с шагом 0.2 P по фазе. Используя подобный компромиссный подход, мы, с одной стороны, избегаем большого рассеяния данных, а с другой, несмотря на сильное сглаживание, сохраняем основные черты кривой магнитного поля. Результат усреднения помещен в табл. 3, сглаженные кривые магнитных полей B_{Re}^{3800} и B_{Re}^{3500} приведены на рис. 1.

Таблица 3. Усредненные на 0.3 P по фазе величины поля B_{Re} для α^2CVn

| Интервал фаз усреднения | Средняя фаза | $B_{Re}^{3800} \pm \sigma$, Гс | n | Средняя фаза | $B_{Re}^{3500} \pm \sigma$, Гс | n |
|-------------------------|--------------|---------------------------------|----|--------------|---------------------------------|----|
| 0.9 - 0.2 | 0.966 | -810 ± 130 | 69 | 0.054 | -700 ± 420 | 38 |
| 0.1 - 0.4 | 0.226 | -820 ± 140 | 85 | 0.198 | -340 ± 270 | 58 |
| 0.3 - 0.6 | 0.432 | +90 ± 250 | 59 | 0.498 | -150 ± 500 | 30 |
| 0.5 - 0.8 | 0.645 | +700 ± 540 | 12 | 0.629 | -2200 ± 750 | 11 |
| 0.7 - 0.0 | 0.841 | -1030 ± 230 | 73 | 0.824 | -720 ± 490 | 16 |

Различия в средних фазах в областях спектра до и после скачка вызваны разным количеством спектрограмм и пригодных для измерений линий. При анализе табл. 3 следует иметь в виду, что многие линии попадали сразу в два фазовых интервала, из-за их взаимного перекрытия, поэтому общее количество линий ($\sum n$) в табл. 3 больше, чем была бы сумма всех линий, взятых в табл. 1.

Анализируя табл. 3 и рис. 1, видим, что в то время, как поле B_{Re}^{3800} изменяется синхронно с полем B_e , величина B_{Re}^{3500} всегда отрицательна, более того, в момент положительного экстремума поля B_e мы наблюдаем отрицательный

экстремум поля B_{Re}^{3500} .

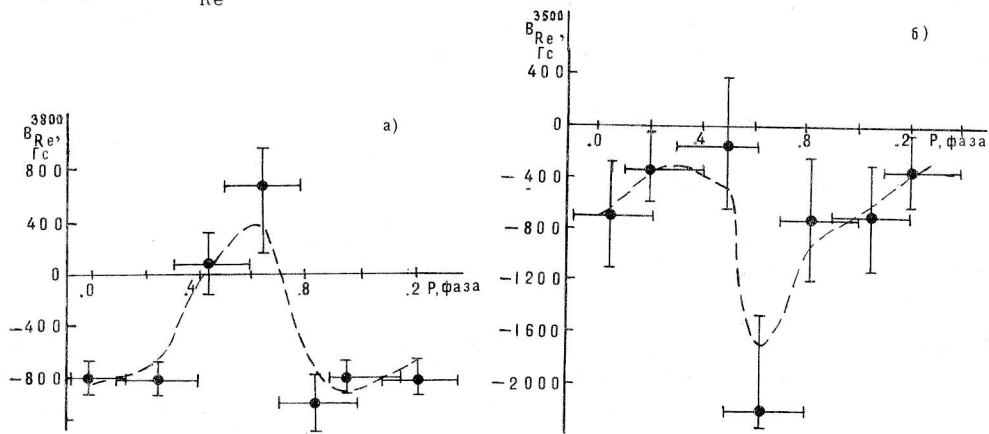


Рис. 1. Усредненные в интервале фаз 0.3 P кривые продольной компоненты магнитного поля звезды $\alpha^2 CVn$, определенные по измерениям редкоземельных элементов. На всех рисунках штриховая кривая проведена как скользящее среднее.

(Скользящее усреднение выполнено по формуле $Y_i = \frac{Y_{i-1} + 5Y_0 + Y_{i+1}}{7}$).

Несмотря на слабость линий Re-элементов в интервале фаз 0.5 - 0.8, где различия между величиной поля до и после скачка наибольшие и достигают 40, мы все же измерили 12 линий в области спектра $\lambda > 3646 \text{ \AA}$ и 11 - на длинах волн $\lambda < 3646 \text{ \AA}$, поэтому подобные различия невозможно объяснить случайными ошибками измерений.

Сопоставим наши результаты с определениями магнитного поля $\alpha^2 CVn$, выполненными в обычной фотографической области Пайпер (1969) по высокодисперсионным ($D = 2 \text{ \AA/mm}$) зеемановским спектрам. Для того, чтобы сравнение с нашей усредненной по фазе кривой поля B_{Re}^{3800} стало возможным, усредним в интервале фаз 0.3P также и измерения магнитного поля по линиям CeII, EuII, GdI и GdII, взятые из статьи Пайпер. Результат приведен в табл. 4 и на рис. 2.

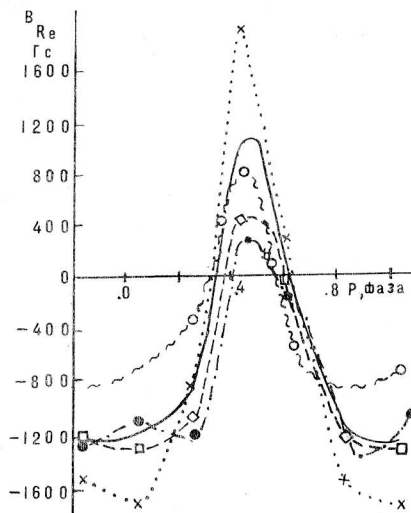


Рис. 2. Усредненные кривые измерения магнитного поля $\alpha^2 CVn$, определенные по линиям различных редкоземельных элементов, построенные на основании данных Пайпер (1969). ...x - Ce, --- □ - Eu, --- ○ - GdI, - · - · ● - GdII, — - — - Re (средняя).

Как видим из рис. 2, кривые магнитного поля, определенные по разным редкоземельным элементам, различаются существенным образом. Есть и другие свидетельства выраженных индивидуальных особенностей в поведении редкоземельных элементов у $\alpha^2 CVn$: так, о различиях в концентрации Ce, Eu и GdI вокруг отрицательного полюса сообщили Кумайгородская и Копылов (1972),

меньшая величина поля по линиям GdI, чем по Gd II, в фазах отрицательного поля была замечена Романюком (1980). Наиболее ярко выделяется кривая поля, определенная по линиям CeII, очень большой амплитудой своих изменений. В индивидуальных измерениях у Пайпер линии церия дают "выбросы" как в сторону положительного, так и отрицательного поля; у других элементов, в том числе и редкоземельных, таких "выбросов" не замечается. Средняя из 4-х кривых (см. рис. 2) практически не отличается от нашей кривой V_{Re}^{3800} (рис. 1) за исключением различий в 0.1 P по фазе положения максимума положительной полярности. Трудно оценить достоверность такого сдвига, возможно, он возник из-за большого интервала усреднения по фазе и неравномерного распределения наблюдений внутри интервала.

Таблица 4. Усреднение на 0.3 P по фазе величины магнитного поля V_{Re} для $\alpha^2 CVn$ по данным Пайпер

| Интервал фаз усреднения | Средняя фаза | Магнитное поле, кГс | | | |
|-------------------------|--------------|---------------------|------------|------------|------------|
| | | CeII | EuII | GdI | GdII |
| 0.9 - 0.2 | 0.07 | -1.77 ± 0.40 | -1.34±0.08 | -0.70±0.21 | -1.14±0.24 |
| 0.1 - 0.4 | 0.25 | -0.87 ± 0.57 | -1.13±0.25 | -0.38±0.33 | -1.29±0.41 |
| 0.3 - 0.6 | 0.43 | +2.64 ± 0.61 | +0.42±0.47 | +0.80±0.54 | +0.27±0.53 |
| 0.5 - 0.8 | 0.62 | +0.28 ± 1.14 | -0.03±0.52 | -0.53±1.22 | -0.10±0.58 |
| 0.7 - 0.0 | 0.85 | -1.59 ± 0.25 | -1.28±0.11 | -0.87±0.41 | -1.33±0.19 |

Таким образом, можно заключить, что и по нашим данным, и по наблюдениям Пайпер в области с длиной волны $\lambda > 3646 \text{ \AA}$ все редкоземельные элементы показывают поле переменного знака, а в области $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ (только по нашим данным) для $\alpha^2 CVn$ магнитное поле знака не меняет.

Имеется еще одно, правда косвенное, свидетельство в пользу реальности такого хода кривой V_{Re}^{3500} . Известно, что в атмосферах многих пекулярных звезд, в том числе и у $\alpha^2 CVn$, переменность спектральных линий хрома и европия происходит в противофазе, а в тех случаях, когда имеются карты поверхности (как у $\alpha^2 CVn$) видно, что эти элементы избегают друг друга. В статье 1 мы показали, что если поле V_{Cr}^{3800} очень сильно переменное, то V_{Cr}^{3500} практически не меняется и имеет величину положительную, в среднем около +500 Гс. Поэтому в спектральной области $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ расположение редкоземельных элементов в области, где поле отрицательно, нам представляется весьма вероятным.

3. β CrV

Подробные сведения о β CrV можно найти в статье 1, здесь напомним лишь, что звезда вращается медленно с периодом 18.5 дней, поэтому доплеровское уширение линий невелико. Слабую спектральную переменность обнаружила Полосухина, деталей, которые бы могли быть интерпретированы как пятна химсостава, не видно на профилях линий, зато Престон (1971) нашел расщепленные зеемановские компоненты и по ним определил поверхностное магнитное поле $V_s \approx 6 \text{ кГс}$. В предыдущей работе мы продемонстрировали, что эффективное магнитное поле

β CrV имеет одинаковую величину и амплитуду изменений по обе стороны от бальмеровского скачка. Там же указывалось, что форма магнитных кривых V_e^{3800} и V_e^{3500} все же различается. Мы подтвердили обнаруженный ранее Вольф (1978) взаимный сдвиг по фазе кривых эффективного поля до и после скачка примерно на 0.15 P в экстремуме положительной полярности. Наиболее четко он проявляется в том, что на восходящей ветви кривой магнитного поля V_e (фазы 0.9 - 0.2) видно запаздывание ультрафиолетовой кривой: значения поля V_e^{3500} систематически отклонены на несколько сот Гс в сторону отрицательной полярности по сравнению со значениями поля V_e^{3800} (табл. 1 и рис. 1 из статьи 1).

В 1984 - 1987 гг. при тех же условиях наблюдений мы получили еще 3 зеемановских спектра β CrV, измерения и дальнейшая обработка проводилась аналогичным образом. Результаты определений поля приведены в табл. 5, служащей продолжением табл. 1 из нашей предыдущей работы; фазы периода вычислены согласно приведенным там элементам.

Таблица 5. Магнитное поле V_e для β CrV

| Дата | Фаза | $V_e^{3800} \pm \sigma, \text{Гс}$ | $V_e^{3500} \pm \sigma, \text{Гс}$ |
|------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| 2446241.25 | 0.389 | +820 \pm 120 | +870 \pm 220 |
| 840.54 | 0.806 | -490 \pm 110 | -260 \pm 210 |
| 844.48 | 0.019 | +350 \pm 130 | -260 \pm 270 |

Как видно из табл. 5, спектр, полученный нами в 1987 г. на восходящей ветви кривой в фазе 0.019, показал такую же картину, как и ранее - поле V_e^{3500} смещено в сторону отрицательной полярности по сравнению с V_e^{3800} .

Проанализируем подробнее поведение кривых V_e^{3800} и V_e^{3500} в интервале фаз от 0.94 до 0.16, куда попадает 7 полученных нами зеемановских спектрограмм. Сделаем выборку результатов их измерений, как ранее опубликованных, так и из табл. 5 настоящей работы, и приведем их для удобства рассмотрения в табл. 6.

Таблица 6. Магнитное поле V_e для β CrV в интервале фаз 0.94-0.16

| фаза | $V_e^{3800} \pm \sigma, \text{Гс}$ | $V_e^{3500} \pm \sigma, \text{Гс}$ |
|-------|------------------------------------|------------------------------------|
| 0.946 | -320 \pm 100 | -310 \pm 110 |
| 0.973 | -640 \pm 130 | -850 \pm 280 |
| 0.019 | +340 \pm 130 | -260 \pm 270 |
| 0.050 | +510 \pm 120 | -230 \pm 180 |
| 0.060 | - 50 \pm 120 | -220 \pm 450 |
| 0.098 | +300 \pm 170 | +180 \pm 340 |
| 0.155 | +980 \pm 110 | +350 \pm 200 |

Среднее значение величины разности $\Delta = V_e^{3500} - V_e^{3800}$ составляет -350 Гс \pm 112 Гс, что достаточно убедительно указывает на реальность запаздывания кривой V_e в ультрафиолетовой области по сравнению с обычной фотографической.

Сдвиг в кривых может быть вызван как сильными различиями в строении магнитного поля на разных уровнях по высоте в атмосфере, так и тем, что в спектре β CrV по разные стороны от бальмеровского скачка измерялись линии разных химических элементов. При неоднородном распределении химсостава по поверхности различия могут возникнуть даже при дипольном поле.

Чтобы сделать выбор между этими двумя возможностями, рассмотрим подробно поведение кривых магнитного поля этой звезды, определенных по линиям различных химических элементов до и после скачка. В табл. 7 поместим результаты измерений последних трех зеемановских спектров β CrB по линиям разных металлов в качестве дополнения к табл. 2 из нашей предыдущей работы.

Таблица 7. Магнитное поле β CrB, измеренное по линиям металлов

| фаза | 0.389 | 0.806 | 0.019 |
|----------------------------------|----------|----------|----------|
| $V_{Fe}^{3800} \pm \sigma$, кГс | +0.8±0.2 | -0.6±1.0 | -0.2±0.2 |
| $V_{Fe}^{3500} \pm \sigma$, кГс | +1.2±0.9 | -1.4±1.0 | +0.4±1.5 |
| $V_{Cr}^{3800} \pm \sigma$, кГс | +0.7±0.2 | - | - |
| $V_{Cr}^{3500} \pm \sigma$, кГс | -0.1±1.1 | -0.2±0.4 | - |
| $V_{Ti}^{3800} \pm \sigma$, кГс | +0.6±0.3 | -0.8±0.2 | -0.4±0.3 |
| $V_{Ti}^{3500} \pm \sigma$, кГс | +1.1±0.7 | +0.6±0.4 | +0.2±0.6 |

Так как разброс отдельных измерений достаточно велик, так же как и для $\alpha^2 CVn$, усредним измерения методом скользящего среднего в интервале фаз 0.2 P с шагом 0.1 P по фазе. Обозначения те же, что и выше. Фаза - средневзвешенная в данном интервале, практически одна и та же и до, и после бальмеровского скачка, поэтому различиями между ними мы решили пренебречь. В табл. 8 приведены значения магнитного поля V_{Fe}^{3800} и V_{Fe}^{3500} , определенные по линиям железа и усредненные внутри интервала 0.2 P по фазе (линий много, поэтому можно сузить интервал фаз усреднения). Для удобства анализа на основании данных табл. 8 мы построили сглаженные кривые V_{Fe}^{3800} и V_{Fe}^{3500} .

Таблица 8. Магнитное поле β CrB, определенное по линиям железа

| Интервал фаз усреднения | Средняя фаза | $V_{Fe}^{3800} \pm \sigma$, Гс | $V_{Fe}^{3500} \pm \sigma$, Гс |
|-------------------------|--------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0.9 - 0.1 | 0.024 | + 30 ± 120 | -250 ± 420 |
| 0.0 - 0.2 | 0.045 | +280 ± 140 | - 40 ± 430 |
| 0.1 - 0.3 | 0.218 | +520 ± 160 | +1080 ± 920 |
| 0.2 - 0.4 | 0.277 | +520 ± 160 | +1250 ± 900 |
| 0.3 - 0.5 | 0.434 | +370 ± 170 | +400 ± 380 |
| 0.4 - 0.6 | 0.456 | +230 ± 150 | +130 ± 590 |
| 0.5 - 0.7 | 0.678 | -300 ± 210 | -1560 ± 760 |
| 0.6 - 0.8 | | | |
| 0.7 - 0.9 | 0.807 | -300 ± 200 | +50 ± 350 |
| 0.8 - 0.0 | 0.883 | -320 ± 90 | +400 ± 600 |

Из рис. 3 видно, что ошибки измерения поля в ультрафиолетовой области по линиям железа намного больше, чем в обычной фотографической. Как отмечалось нами ранее, амплитуда изменений продольной компоненты поля, определенной по линиям железа с длинноволновой стороны от бальмеровского скачка, намного меньше, чем в области спектра $\lambda < 3646 \text{ \AA}$. В то время как кривая поля V_{Fe}^{3800} плавная и очень напоминает по амплитуде изменений и форме кривую V_{Fe}^{3800} , то для кривой V_{Fe}^{3500} имеется особенность: локальное изменение знака поля на "+" в фазе, где

V_{Fe} имеет знак "-". Из-за больших ошибок определения поля V_{Fe}^{3500} достоверность различий не настолько высока, чтобы делать уверенные выводы об их реальности. Если же мы по аналогии с табл. 6 определим среднюю разницу Δ_{Fe} в интервале фаз 0.94 - 0.16 ($\Delta_{Fe} = +260 \text{ Гс} \pm 480 \text{ Гс}$), то получим, что сдвига в поле, определенном по линиям железа до и после скачка, не наблюдается, максимумы положительной полярности обеих кривых приходятся на фазу 0.25.

Как и для $\alpha^2 \text{CrV}$, в табл. 8 - 10 приведены средневзвешенные фазы. В табл. 9 приведены результаты определений магнитного поля по линиям хрома, интервалы фаз те же, что и в табл. 8.

Таблица 9. Магнитное поле βCrV , определенное по линиям хрома

| фаза | $V_{Cr}^{3800} \pm \sigma, \text{ Гс}$ | $V_{Cr}^{3500} \pm \sigma, \text{ Гс}$ |
|-------|--|--|
| 0.024 | -180 + 280 | -500 + 180 |
| 0.045 | + 30 + 290 | -150 + 100 |
| 0.218 | +450 + 490 | +550 + 70 |
| 0.277 | +500 + 380 | +420 + 220 |
| 0.439 | +670 + 200 | +350 + 190 |
| 0.456 | +670 + 200 | +500 + 150 |
| 0.678 | -700 + 200 | -130 + 780 |
| 0.807 | -450 + 50 | -300 + 50 |
| 0.883 | -480 + 210 | -480 + 180 |

Из табл. 9 и рис. 4 видно, что максимум положительной полярности поля V_{Cr} приходится примерно на фазу 0.4 как на $\lambda 3800 \text{ \AA}$, так и на $\lambda 3500 \text{ \AA}$, т.е. сдвинут на 0.15 P по фазе по сравнению с максимумом кривых V_{Fe} . Точность измерений продольной компоненты V_{Cr}^{3500} гораздо выше, чем V_{Fe}^{3500} , из-за большего числа измеряемых линий хрома.

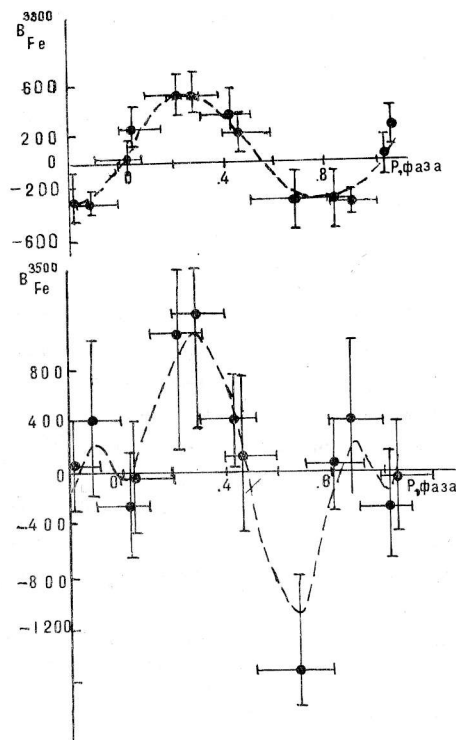


Рис. 3. Магнитное поле βCrV , определенное по линиям железа по разные стороны от бальмеровского скачка.

Таким образом, мы получаем подтверждение неоднородного распределения элементов по поверхности βCrV : области концентрации хрома и железа на поверхности этой звезды не совпадают. Кроме того, как видно из рис. 4, экстремумы отрицательной полярности кривых V_{Cr}^{3800} и V_{Cr}^{3500} сдвинуты друг относительно друга. Поскольку в ультрафиолетовой области большинство линий принадлежит хрому, а на $\lambda 3800 \text{ \AA}$ - железу и титану - это обстоятельство может внести доминирующий вклад в обнаруженный Вольф (1978) взаимный сдвиг кривых магнитного поля V_e по разные стороны от бальмеровского скачка. Аналогично тому, как это было сделано по линиям железа, найдем величину Δ_{Cr} с целью поиска различий в двух кривых магнитного поля V_{Cr} в интервале фаз 0.94 - 0.16. Полученная нами величина $\Delta_{Cr} = -480 \text{ Гс} \pm 162 \text{ Гс}$ указывает, что в данном фазовом интервале имеет место сдвиг кривой

V_{Cr}^{3500} в сторону отрицательной полярности (или запаздывание на 0.1 P по фазе) по сравнению с кривой V_{Cr}^{3800} , хотя достоверность этих тонких различий недостаточно высока для более определенных выводов. Результаты определений продольной компоненты магнитного поля по линиям титана и сглаженные в интервале фаз 0.2 P кривые приведены в табл. 10 и на рис. 5.

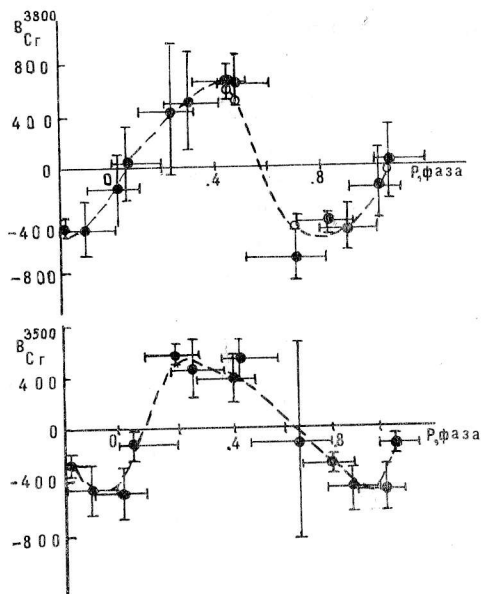


Рис. 4. Магнитное поле β CrB, определенное по линиям хрома по разные стороны от бальмеровского скачка.

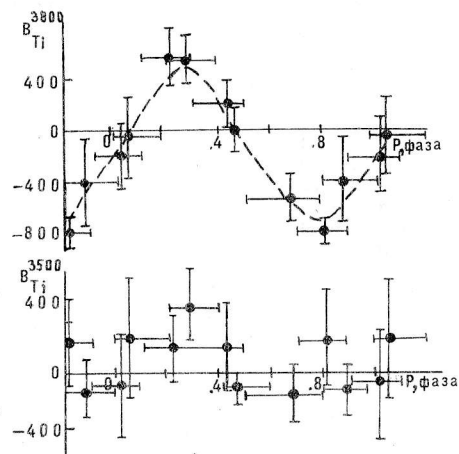


Рис. 5. Магнитное поле β CrB, определенное по линиям титана по разные стороны от бальмеровского скачка.

Таблица 10. Магнитное поле β CrB, определенное по линиям титана

| средняя фаза | $V_{Ti}^{3800} \pm \sigma, \text{ Гс}$ | $V_{Ti}^{3500} \pm \sigma, \text{ Гс}$ |
|--------------|--|--|
| 0.024 | -220 ± 260 | -100 ± 400 |
| 0.045 | -60 ± 320 | $+260 \pm 460$ |
| 0.218 | $+520 \pm 270$ | $+200 \pm 270$ |
| 0.277 | $+520 \pm 190$ | $+520 \pm 270$ |
| 0.439 | $+200 \pm 180$ | $+180 \pm 330$ |
| 0.456 | 0 ± 180 | -130 ± 130 |
| 0.678 | -530 ± 200 | -170 ± 230 |
| 0.807 | -800 ± 100 | $+250 \pm 350$ |
| 0.883 | -400 ± 350 | -130 ± 190 |

Интервалы фаз усреднения те же, что и для линий железа и хрома. Величина разности в интервале фаз 0.94 - 0.16 для продольных компонент магнитного поля, определенных по линиям титана до и после скачка, составляет $+200 \text{ Гс} \pm 500 \text{ Гс}$, т.е. в пределах ошибок наблюдений различий в кривых, и каких-либо сдвигов на восходящем участке не видно. Максимум положительной полярности для кривых V_{Ti}^{3800} и V_{Ti}^{3500} приходится, как и для железа, на фазу около 0.25.

На рис. 5 хорошо видна значительно меньшая амплитуда изменения поля V_{Ti}^{3500} по сравнению с V_{Ti}^{3800} , однако рассеивание измерений в УФ-области слишком велико, чтобы эти различия можно было считать уверенно наблюдающимися.

Ниже проанализируем измерения магнитных полей β CrB по линиям редкоземельных элементов. Они в спектре присутствуют в большом количестве, сильные, их интенсивность меняется не более чем в 1.5-2 раза, поэтому возможны достаточно точные измерения магнитного поля во всех фазах периода вращения. Согласно Полосухиной (1976) максимум концентрации редкоземельных элементов совпадает с положительным экстремумом магнитного поля V_e . Полные данные об результатах измерений приведены в табл. 11.

Таблица 11. Магнитное поле β CrB, определенное по линиям редкоземельных элементов

| фаза | $V_{Re}^{3800} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n | $V_{Re}^{3500} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n |
|-------|---------------------------------------|----|---------------------------------------|----|
| 0.973 | -0.4 ± 0.4 | 7 | -2.1 ± 0.6 | 3 |
| 0.974 | -0.8 ± 0.3 | 9 | - | 1 |
| 0.191 | +0.6 ± 0.3 | 12 | +0.5 ± 0.7 | 5 |
| 0.999 | -0.4 ± 0.2 | 16 | - | - |
| 0.060 | +0.1 ± 0.4 | 10 | - | - |
| 0.050 | +0.8 ± 0.2 | 7 | -1.3 ± 0.2 | 7 |
| 0.103 | -0.5 ± 0.3 | 9 | -1.0 ± 1.1 | 3 |
| 0.687 | -0.3 ± 0.2 | 12 | -1.6 ± 0.7 | 5 |
| 0.688 | -0.1 ± 0.2 | 10 | +0.4 ± 0.5 | 6 |
| 0.658 | -0.2 ± 0.2 | 12 | 0 ± 0.7 | 6 |
| 0.946 | -0.4 ± 0.2 | 17 | -0.3 ± 0.2 | 13 |
| 0.413 | +1.1 ± 0.2 | 10 | 0 ± 0.4 | 7 |
| 0.477 | +0.4 ± 0.2 | 9 | +0.9 ± 0.3 | 10 |
| 0.478 | +0.3 ± 0.2 | 15 | -0.5 ± 0.7 | 5 |
| 0.098 | +0.7 ± 0.2 | 9 | +0.1 ± 0.5 | 6 |
| 0.155 | +0.9 ± 0.2 | 16 | +0.6 ± 0.4 | 7 |
| 0.213 | +1.0 ± 0.2 | 12 | +2.0 ± 0.7 | 5 |
| 0.253 | +0.7 ± 0.2 | 9 | -0.3 ± 0.4 | 6 |
| 0.254 | +0.4 ± 0.2 | 15 | -0.5 ± 0.8 | 6 |
| 0.808 | -0.5 ± 0.2 | 7 | -0.8 ± 0.3 | 7 |
| 0.389 | +0.8 ± 0.1 | 13 | +1.0 ± 0.3 | 9 |
| 0.806 | -0.5 ± 0.2 | 8 | -1.4 ± 0.3 | 6 |
| 0.019 | -0.3 ± 0.2 | 8 | -0.9 ± 0.5 | 5 |

В табл. 11 применен хронологический порядок представления результатов, даты наблюдений можно взять из нашей статьи 1, а также из табл. 5 настоящей работы. Ниже, аналогично тому, как был проделан анализ для железа, хрома и титана, найдем величину усредненного магнитного поля в положительном (фазы 0.15 - 0.45) и отрицательном экстремумах (фазы 0.65 - 0.95). Результат приведен в табл. 12.

Таблица 12. Усредненное на 0.3 P по фазе магнитное поле V_{Re} для β CrB

| Интервал фаз | $V_{Re}^{3800} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n | $V_{Re}^{3500} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n |
|--------------|---------------------------------------|----|---------------------------------------|----|
| 0.15 - 0.45 | +810 ± 60 | 86 | +460 ± 150 | 45 |
| 0.65 - 0.95 | -300 ± 60 | 70 | -410 ± 110 | 41 |

Из табл. 12 видно, что в отличие от $\alpha^2\text{CrV}$ продольная компонента поля V_{Re} до и после скачка у β CrB испытывает изменения знака. Проанализируем основные особенности магнитных кривых V_{Re}^{3800} и V_{Re}^{3500} . Для этого усредним все измерения в интервале фаз 0.3P с шагом 0.2 по периоду. В табл. 13 и на рис. 6 приведены результаты этого усреднения; так как имеется перекрытие интервалов фаз, общее количество измерений линий меньше суммы n.

Сравнение кривых B_{Re}^{3800} и B_{Re}^{3500} показывает, что они смещены друг относительно друга примерно на $0.2P$ по фазе, кроме того, наблюдается сдвиг ультрафиолетовой кривой в сторону отрицательной полярности в среднем на величину ≈ -300 Гс. Особенно хорошо этот сдвиг заметен в фазах около 0.9 , где различия достигают 4σ ($\Delta_{Re} = -566$ Гс ± 130 Гс) и 0.1 - около 3σ ($\Delta_{Re} = -413$ Гс ± 146 Гс). В этих фазах мы измерили особенно большое количество линий редкоземельных элементов, как видно из табл. 13, поэтому есть веские основания не сомневаться в достоверности полученных различий; так же как и для α^2CVn наблюдается сдвиг кривой B_{Re}^{3500} в сторону отрицательного магнитного полюса звезды.

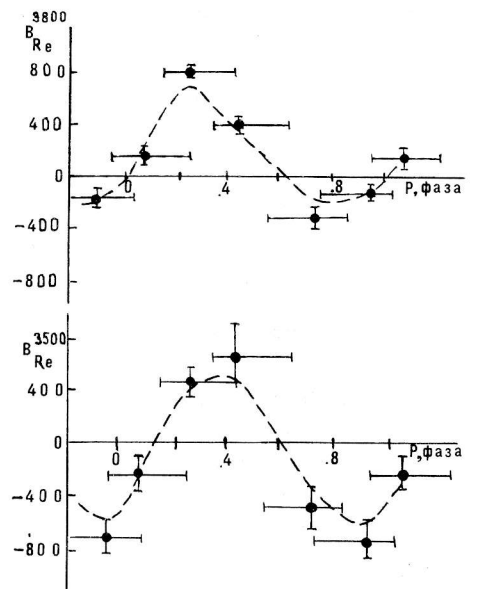


Рис. 6. Магнитное поле β CrV, определенное по Re-линиям (редкоземельных элементов) по разные стороны от бальмеровского скачка.

Таблица 13. Усредненное на $0.3P$ по фазе магнитное поле B_{Re} для β CrV

| Интервал фаз усреднения | фаза (средняя) | $B_{Re}^{3800} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n | $B_{Re}^{3500} \pm \sigma, \text{Гс}$ | n |
|-------------------------|----------------|---------------------------------------|-----|---------------------------------------|----|
| 0.15 - 0.45 | 0.267 | +810 \pm 60 | 86 | +460 \pm 150 | 45 |
| 0.35 - 0.65 | 0.439 | +394 \pm 85 | 46 | +672 \pm 224 | 31 |
| 0.55 - 0.85 | 0.729 | -317 \pm 132 | 53 | -496 \pm 160 | 28 |
| 0.75 - 0.05 | 0.947 | -164 \pm 66 | 83 | -730 \pm 112 | 44 |
| 0.95 - 0.25 | 0.080 | +179 \pm 66 | 131 | -234 \pm 130 | 56 |

Несмотря на то, что β CrV очень яркая и хорошо изученная химически пекулярная звезда, в литературе редко приводятся таблицы с результатами измерений земановских спектров по отдельным химическим элементам. По интересующей нас проблеме мы смогли лишь обнаружить упоминание Престона (1967) о том, что магнитное поле, определенное по линиям церия в фазе отрицательной полярности, дает более сильное поле, чем в среднем все элементы. Если обработать таблицу измерений Престона и представить данные так, как это мы сделали для наших измерений, обнаруживается любопытная картина - поле, определенное по линиям церия, сдвинуто в сторону отрицательной полярности по сравнению с общим магнитным полем. Убедимся в этом по табл. 14 и рис. 7, где приведены усредненные и сглаженные кривые магнитных полей. Наибольшей величины (около 3σ) различия достигают в фазе 0.9 ($\Delta_{Ce} = -707 \pm 250$ Гс), таким образом, форма кривой поля, определенного по линиям церия на основании измерений Престона (1967) в обычной фотографической области спектра, практически совпадает с формой нашей кривой B_{Re}^{3500} .

Таблица 14. Магнитное поле β CrV, усредненное на 0.3 P по фазе, по данным Престона

| Интервал фаз усреднения | Средняя фаза | Все элементы | Нейтралы | Церий |
|-------------------------|--------------|--------------|------------|------------|
| 0.15 - 0.45 | 0.21 | +913 ± 67 | +930 ± 57 | +666 ± 141 |
| 0.35 - 0.65 | 0.54 | +500 ± 212 | +497 ± 223 | +152 ± 600 |
| 0.55 - 0.85 | 0.67 | -302 ± 166 | -246 ± 190 | -932 ± 333 |
| 0.75 - 0.05 | 0.90 | -322 ± 134 | -285 ± 162 | -992 ± 190 |
| 0.95 - 0.25 | 0.11 | +538 ± 222 | +572 ± 209 | +138 ± 350 |

4.4. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Настоящая работа завершает фотографический этап нашего исследования магнитных полей звезд α^2 CVn и β CrV на 6-м телескопе. Мы получили в 1979 - 1987 гг. с ахроматическим анализатором круговой поляризации 30 зеемановских спектров α^2 CVn и 23 - β CrV в спектральной области $\lambda\lambda$ 3300-4000 Å.

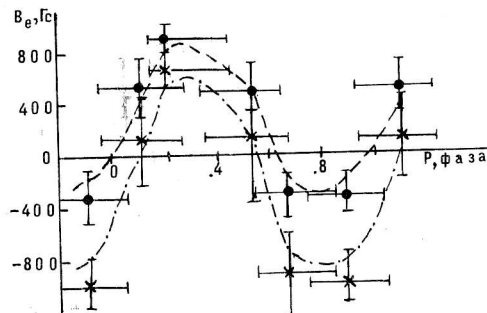


Рис. 7. Изменение продольной компоненты магнитного поля V_e по данным Престона. --- - все линии, - - - - - Ce II.

Все они были измерены; в результате мы построили кривые продольной компоненты магнитного поля, определенные по разные стороны от бальмеровского скачка: V_e^{3800} и V_e^{3500} - общего магнитного поля, V_{Fe}^{3800} и V_{Fe}^{3500} - найденного по линиям железа, V_{Cr}^{3800} и V_{Cr}^{3500} - по линиям хрома, V_{Ti}^{3800} и V_{Ti}^{3500} - по линиям титана, V_{Re}^{3800} и V_{Re}^{3500} - редкоземельных элементов. Методика получения и обработка всего наблюдательного материала сохранялась одинаковой в течение примерно 10 лет. Различия в геометрической глубине образования линий по разные стороны от скачка в атмосферах пекулярных звезд ничтожны по сравнению с диаметром звезды, поэтому в случае простейшего дипольного поля не должно быть различий в магнитных кривых.

Однако наши исследования показывают большие различия не только между кривыми продольной компоненты, определенными в результате измерений различных химических элементов (что может быть объяснено неравномерным распределением химического состава по поверхности, главным образом, по магнитной широте), но и между ультрафиолетовыми и обычными фотографическими величинами магнитного поля, измеренными по линиям одного и того же элемента. Кроме того, многие характерные особенности магнитных полей α^2 CVn и β CrV совершенно разные, что не объясняется простой дипольной моделью.

1) Среднее, взвешенное по всем измеряемым линиям, магнитное поле V_e^{3500} для α^2 CVn имеет меньшую величину и амплитуду переменности, чем V_e^{3800} , что указывает на увеличение поля вглубь атмосферы этой звезды. Для β CrV различий в величине поля V_e до и после скачка не обнаружено.

2) Ни один из измеренных нами элементов не показывает уменьшения величины

и амплитуды изменений поля V_e вглубь атмосферы α^2 CVn, в то же время для β CrV наблюдается как увеличение, так и уменьшение его величины на разных уровнях по высоте в атмосфере.

3) Для α^2 CVn экстремумы и положительной, и отрицательной полярности для обеих кривых V_e практически совпадают, а у β CrV видно запаздывание кривой V_e^{3500} на 0.15 P по фазе по сравнению с кривой V_e^{3800} . Если бы β CrV относительно нас вращалась так, что ось магнитного диполя была параллельна лучу зрения, (т.е. $i = 90^\circ$, $\beta = 90^\circ$), то взаимные сдвиги экстремумов можно было бы объяснить так: вследствие неоднородного распределения элементов по магнитной широте и при измерениях неодинакового набора линий различных химических элементов до и после скачка, мы могли бы получить сдвиг в кривых общего магнитного поля, даже если оно дипольно. Однако, по данным Глаголевского (1988), для β CrV угол i между лучом зрения и осью вращения составляет 24° , а угол β между осью диполя и осью вращения - 79° (для α^2 CVn $i = 62^\circ$, $\beta = 86^\circ$), а это означает, что наблюдаемая из-за вращения развертка β CrV по магнитной широте мала и приведенное выше предположение не очень хорошо подходит для объяснения наблюдаемых особенностей магнитных кривых. Учитывая большие неопределенности, возникающие при вычислениях углов i и β , здесь мы ограничимся лишь тем выводом, что получены веские основания считать распределение элементов в атмосфере β CrV неравномерным, подтверждая таким образом результат Полосухиной (1976).

4) Согласно Хохловой (1983), железо распределено в атмосфере α^2 CVn неоднородно, однако различия в концентрации не так уж и велики, максимум приходится на магнитный экватор. Поле V_{Fe}^{3800} , определенное по линиям железа, показывает меньшую величину и амплитуду изменений, чем V_{Fe}^{3500} . Для β CrV по линиям железа поле уменьшается вглубь атмосферы; хотя достоверность различий не очень высока ($\approx 2\sigma$), кривые V_{Fe}^{3800} и V_{Fe}^{3500} близки к синусоидальным, отклонение отдельных точек от синусоиды невелико.

5) Рассмотрим, какая картина наблюдается при измерениях магнитного поля α^2 CVn и β CrV по линиям хрома. Как правило, в атмосферах магнитных звезд хром очень пекулярный элемент, его линии в спектрах испытывают сильную переменность, чаще всего в противофазе с линиями европия. Поскольку европий у разных звезд в основном концентрируется на полюсах магнитного диполя (Флоке, 1979), следует ожидать повышенную концентрацию хрома на магнитном экваторе. Картирование поверхности, выполненное Хохловой (1983а) для α^2 CVn подтверждает это, для β CrV сведений нет. Магнитное поле α^2 CVn, измеренное по линиям хрома в области спектра $\lambda > 3646 \text{ \AA}$, показывает сильную переменность с амплитудой $\sim 3 \text{ Гс}$, в то же время в области спектра с $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ оно практически постоянно на уровне около $+500 \text{ Гс}$. В статье 1 показана высокая степень достоверности найденных нами различий. В ультрафиолетовой области спектра большинство измеряемых линий принадлежит хрому, поэтому точность измерений поля высока. Из измерений следует, что в экваториальной области величина продольной компоненты магнитного поля очень резко увеличивается в глубину атмосферы α^2 CVn. Это может быть следствием как усиления поля, так и изменением его ориентации (с увеличением глубины оно становится более продольным). Для β CrV магнитное поле, определенное по линиям хрома, имеет одинаковую величину и амплитуду переменности до и после скачка, однако хорошо заметен сдвиг обеих кривых V_{Cr}^{3800} и V_{Cr}^{3500} на 0.1P по фазе по сравнению с кривыми поля V_e . Выше мы уже показали, что наблюдатель видит β CrV со стороны магнитного экватора, поэтому должна регистриро-

ваться в основном поперечная компонента дипольного поля. В то же время, в случае $\alpha^2\text{CVn}$, в момент фазы около 0.0 на луче зрения находится отрицательный полюс диполя, в фазе 0.5 - виден и положительный, но достаточно далеко от центра (Хохлова и Павлова, 1983). Линии хрома для $\beta\text{ CrV}$ не переменны, потому что области концентрации хрома на магнитном экваторе видны постоянно. Сдвиг по фазе объяснить очень трудно: возможны 3 причины - изменения величины и ориентации поля, сильная переменность концентрации элементов с высотой и по поверхности, влияние потемнения к краю, скорее всего работающие вместе.

6) Распределение титана по поверхности $\alpha^2\text{CVn}$ похоже на распределение железа, однако более ярко выражена концентрация к полюсу "-", - имеется даже одно пятно на самом полюсе. Измерения магнитных полей V_{Ti}^{3800} и V_{Ti}^{3500} показали, что у них одинаковая форма и амплитуда изменений кривой продольной компоненты. Для $\beta\text{ CrV}$, по-видимому, имеется уменьшение поля с высотой в областях концентрации титана, хотя достоверность этого вывода не очень высока ($\approx 2\sigma$).

7) Измерения магнитных полей V_{Re}^{3800} и V_{Re}^{3500} по линиям редкоземельных элементов дали очень любопытные результаты. Отметим, что в области спектра $\lambda > 3646 \text{ \AA}$ основная часть линий принадлежит европию, а при $\lambda < 3646 \text{ \AA}$ - гадолинию и церию, поэтому, строго говоря, мы измеряли поле до и после скачка по разным редкоземельным элементам. Для $\alpha^2\text{CVn}$ имеются сведения (Кумайгородская и Копылов, 1972) о том, что области концентрации различных редкоземельных элементов по поверхности слегка смещены. Хохлова (1983) показала, что для этой звезды редкие земли концентрируются на обоих полюсах диполя, однако концентрация на полюсе "-" значительно выше. Поле V_{Re}^{3800} изменяется синхронно с полем V_e , а в ультрафиолетовой области спектра ($\lambda < 3646 \text{ \AA}$) вся кривая изменений продольной компоненты V_{Re}^{3500} сосредоточена только в области отрицательной полярности. Из работы Хохловой следует, что полюс "+" имеет худшие условия видимости для земного наблюдателя, поэтому важную роль в выявленных различиях может играть потемнение к краю. В фазе около 0.0 мы видим полюс "-" на луче зрения, концентрация европия там максимальна для $\alpha^2\text{CVn}$ и мы не видим на полюсе различий в величине поля до и после скачка. Выше мы отмечали, что пятно титана тоже имеется на отрицательном магнитном полюсе этой звезды и линии титана дают одинаковую картину поля по разные стороны от скачка.

Для $\beta\text{ CrV}$ знакопеременны обе магнитные кривые, однако ультрафиолетовая сдвинута примерно на 0.2 P по фазе. Если принять, что $\beta\text{ CrV}$ видна с магнитного экватора, то концентрируемые на магнитных полюсах диполя редкоземельные элементы должны находиться далеко от луча зрения в невыгодных условиях наблюдений. Поскольку другой пекулярный элемент хром, расположенный на магнитном экваторе, тоже показывает фазовые сдвиги по разные стороны от скачка, есть основание предполагать, что эффекты потемнения к краю не играют существенной роли. Характерной особенностью $\beta\text{ CrV}$ являются фазовые сдвиги продольных компонент магнитного поля по разные стороны от бальмеровского скачка, в отличие от $\alpha^2\text{CVn}$, где наблюдаются, в основном, различия в амплитуде переменности. Есть и общая закономерность - ультрафиолетовые редкоземельные магнитные кривые сдвинуты в область отрицательной полярности как для $\alpha^2\text{CVn}$, так и для $\beta\text{ CrV}$. Может быть, это связано с особенностями концентрации церия, измерения поля по линиям которого дают "выбросы", хотя сведений о более резкой, чем у других редкоземельных элементов, концентрации к полюсам диполя нет. Наоборот, Кумайгородская и Копылов (1972) показали, что в $\alpha^2\text{CVn}$ церий слабее концентрируется к отрицательному полюсу, чем европий, а Романюк (1984) отметил, что факторы Ланде ли-

ний церия значительно меньше, чем у европия и гадолиния. Можно предположить, что различия в магнитных свойствах в сильном и неоднородном магнитном поле приводят к различиям в концентрации редкоземельных элементов.

5. ВЫВОДЫ

Мы завершили измерения нашего наблюдательного материала и считаем, что в результате выполненной работы получены данные, указывающие на наличие закономерных, повторяющихся особенностей кривых продольной компоненты магнитного поля, свидетельствующих о более сложной, чем простой диполь, структуре магнитного поля α^2 CVn и β CrV. Без подробных расчетов невозможно построение магнитных полей указанных звезд, однако некоторые штрихи к будущей картине уже явно просматриваются.

Для α^2 CVn наблюдения, по-видимому, указывают на то, что:

- 1) общее магнитное поле (или его продольная компонента) растет в глубину, с градиентом, превышающим дипольный;
- 2) излучение с видимого нами полюса "-" приходит из более глубоких слоев атмосферы, чем от полюса "+";
- 3) концентрация редкоземельных элементов растет в глубину, а хрома больше в высоких слоях атмосферы.

Для β CrV:

- 1) не обнаружено признаков общего радиального градиента поля;
- 2) закономерности поведения кривых продольной компоненты поля очень сильно отличаются от таковых для α^2 CVn, однако из-за отсутствия карт распределения элементов по поверхности, более подробно модель поля представить затруднительно.

Считаем особенно важным здесь еще раз подчеркнуть, что измерения магнитного поля по спектральным линиям с длиной волны больше и меньше бальмеровского скачка показали, что существуют достоверные различия в магнитных кривых, несмотря на то, что различия в глубинах образования измеряемых линий ничтожны по отношению к размерам звезды в целом. При этом надо всегда помнить, что в нашем исследовании измерения эффекта Зеемана дают только продольную составляющую магнитного поля, следовательно, изменения наблюдаемых кривых может произойти не только в результате локальных изменений величины поля, но также и его ориентации. Подробный анализ полученных наблюдений еще предстоит, однако нам представляется, что с помощью фотографической методики измерений магнитного поля вряд ли удастся получить дополнительные данные о тонкой структуре поля α^2 CVn и β CrV из-за малой точности. Поэтому принципиально важными являются будущие наблюдения 4-х параметров Стокса - необходимо иметь распределение линейной и круговой поляризации по высокоточным профилям спектральных линий различных элементов.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить Ю. В. Глаголевского, В. Д. Бычкова, В. Г. Елькина за многолетнюю поддержку и помощь в работе, Л. И. Снежку, И. М. Копылова, В. Е. Панчука за обсуждения и критические замечания, а также участников семинаров САО АН СССР за полезные дискуссии.

ЛИТЕРАТУРА

- Вольф (Wolff S. C.): 1978, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **90**, p.412.
- Глаголевский Ю.В.: 1988, *докторская диссертация*, п. Н. Архыз.
- Кумайгородская Р. Н, Копылов И. М.: 1972, *Астрофиз. исслед. (Изв.САО)*, **4**, с. 50.
- Ландстрит (Landstreet J. D.): 1988, *Astrophys. J.*, **326**, No. 2, p. 967.
- Ландстрит (Landstreet J.D.): 1989, *Astrophys. J.*, **344**, p. 876.
- Ландстрит (Landstreet J.D.): 1990, *Astrophys. J.*, **352**, (in press).
- Ландстрит и Томпсон; (Landstreet J.D., Thompson I.B.): 1985, *Astrophys. J.*, **289**, No. 1, p. 9.
- Пайпер (Pyper D.M): 1969, *Astrophys. J. Suppl.Ser.*, **18**, p. 347.
- Полосухина Н.С.: 1976, *Изв. Крым. астрофиз. обсерв.*, **54**, с. 120.
- Престон (Preston G.W.): 1967 in: "*Magnetic and Related Stars*", Mono Book Corporation, Baltimore, p. 112.
- Престон (Preston G.W.): 1971, *Astrophys. J.*, **164**, p. 309.
- Ренсон (Renson P.): 1984, *A peculiar newsletter*, No. 12, p. 4.
- Романюк И.И.: 1980, *Астрофиз. исслед (Изв. САО)*, **12**, с. 3.
- Романюк И.И.: 1984, *Астрофиз.исслед. (Изв.САО)*, **18**, с. 38.
- Романюк И.И.: 1986, *Астрофиз.исслед (Изв.САО)*, **22**, с. 25.
- Флоке (Floquet M.): 1979, *Astron. Astrophys.*, **74**, No. 2, p. 25.
- Хохлова В.Л.: 1983, в: "*Итоги науки и техники*", под ред Р. А. Сюняева, М.: ВИНТИ, **24**, с. 233.
- Хохлова В. Л., Павлова В. М.: 1983, *Письма в астрон. ж*, **10**, с. 377.

Поступила в редакцию
22 мая 1990 г.