

**СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ  
МАГНИТНО-ПЕРЕМЕННОЙ ЗВЕЗДЫ  $\alpha^2$  CVn  
ПО СПЕКТРОГРАММАМ ВЫСОКОГО РАЗРЕШЕНИЯ**

**II. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ СПЕКТРАЛЬНОЙ ПЕРЕМЕННОСТИ**

*Р. Н. Кумайгородская, И. М. Копылов*

Проведено изучение изменений интенсивностей ( $W_\lambda$ ), центральных глубин ( $R_0$ ) и полуширин ( $\Delta\lambda$ ) некоторых линий ряда химических элементов с фазой периода в спектре  $\alpha^2$  CVn. Методом корреляции величин  $\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  и  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  изучено изменение ширины около 600 неблендированных или слабо блендированных линий различных элементов для фаз 0.26, 0.38 и 0.81.

Получены следующие результаты: изменения величин  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  исследуемых линий с фазой для каждого элемента носят синхронный характер; положения максимумов величин  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  линий для разных редкоземельных элементов смещены по фазе друг относительно друга; эквивалентные ширины линий Eu II и, возможно, других редкоземельных элементов при фазе 0.50 чрезвычайно малы ( $W_\lambda \leq 0.010 \text{ \AA}$ ) и сравнимы с  $W_\lambda$  флуктуаций на регистрограммах за счет зернистости фотопластинок; установлено наличие двух максимумов в изменениях  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  линии K Ca II, приходящихся на фазы 0.00 и 0.50; анализ корреляционных кривых ( $\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$ ,  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$ ) показывает различие ширины линий внутри группы элементов «железного пика», группы редкоземельных элементов и других для данной фазы и различный характер изменения ширины с фазой.

Полученные результаты, с учетом данных об изменении лучевых скоростей и напряженностей магнитного поля с фазой, объясняются гипотезой наклонного ротатора, но картина распределения элементов по поверхности звезды, получающаяся в результате нашего анализа, оказывается еще более сложной: у редкоземельных элементов наблюдается различная степень концентрации к отрицательному магнитному полюсу; ионы кальция, возможно, располагаются в кольцевых зонах с радиусом  $\sim 70^\circ$  вокруг магнитных полюсов; кремний и магний занимают значительную долю поверхности звезды с относительно слабой концентрацией к положительному магнитному полюсу; области, занимаемые элементами «железного пика», располагаются в основном вдоль магнитного экватора, но полностью не совпадают между собой.

A study of variations in intensities ( $W_\lambda$ ), central depths ( $R_0$ ), and half-widths ( $\Delta\lambda$ ) is carried out of some lines of a number of chemical elements with phase in the spectrum of  $\alpha^2$  CVn. Using the method of correlation of quantities  $\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  and  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  the variation in width is studied of about 600 non-blended or slightly blended lines of different elements for the phases 0.26, 0.38, and 0.81.

The results obtained are following: the quantities  $W_\lambda$ ,  $R_0$ , and  $\Delta\lambda$  of the investigated lines vary with phase in a synchronous manner for each element; positions of maxima of the quantities  $W_\lambda$ ,  $R_0$  and  $\Delta\lambda$  of lines are displaced in phase relative to one another for different rare-earth elements; the equivalent widths of lines of Eu II and possibly of other rare-earth elements at the phase 0.50 are extremely small ( $W_\lambda \leq 0.010 \text{ \AA}$ ) and are comparable to  $W_\lambda$  of fluctuations due to the graininess of plates; the presence of two maxima,

falling on the phases 0.00 and 0.50, is established in variations of  $W_\lambda$ ,  $R_0$  and  $\Delta\lambda$  of K Ca II line; an analysis of the correlation curves  $(\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6, \lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6)$  shows the difference in line widths within the group of the «iron peak» elements, the group of rare-earth elements, and other elements for the given phase, as well as the difference in character of width variation with phase.

The results, with consideration for the data on variation in radial velocities and magnetic field strengths with phase, are explained by the oblique rotator hypothesis. Yet the pattern of element distribution over the star's surface resulting from our analysis proves to be even more complicated: a different degree of concentration of rare-earth elements towards the negative magnetic pole is observed; the calcium ions are possibly located in circular zones of radius of about  $70^\circ$  round the magnetic poles; silicon and magnesium occupy a considerable portion of the stellar surface with a relatively weak concentration towards the positive magnetic pole; the regions taken up by the «iron peak» elements are disposed mainly along the magnetic equator, but they do not fully coincide with each other.

## § 1. ВВЕДЕНИЕ

Магнитно-переменной звезде  $\alpha^2$  CVn как самой яркой и одной из наиболее интересных звезд этого типа уделялось большое внимание вообще и особенно в последние годы в связи с возрастанием интереса к проблеме происхождения и природы магнитных полей звезд. Однако, несмотря на это, наши представления о структуре магнитного поля, особенностях химического состава и сведения о различных параметрах атмосферы этой звезды все еще продолжают оставаться далеко не полными. Одной из причин, существенно препятствующих всестороннему количественному изучению спектра  $\alpha^2$  CVn, является его весьма сложный характер: сильное блендирование спектральных линий, переменность их интенсивностей и лучевых скоростей в течение периода изменения магнитного поля. Даже исследование спектра этой звезды по спектрограммам, полученным с очень высокой дисперсией порядка  $1-2 \text{ \AA} \cdot \text{мм}^{-1}$ , показывает, что подавляющее большинство линий в той или иной степени блендировано. Так, из примерно 2000 линий в спектральном интервале  $\lambda\lambda 3600-4600 \text{ \AA}$  лишь менее 200 линий можно рассматривать как свободные от бленд или блендированные незначительно. Но даже и этот относительно небольшой набор линий не остается неизменным, поскольку из-за сложного изменения лучевых скоростей и интенсивностей линий разных элементов блендирование носит переменный характер.

Исследование  $\alpha^2$  CVn по спектрограммам с дисперсией  $1.3 \text{ \AA} \cdot \text{мм}^{-1}$ , полученным на эшелловом спектрографе 2.6-метрового телескопа Крымской обсерватории, было начато с изучения переменности параметров водородных линий в течение периода [1].

В настоящей работе, уже зная общий характер изменения интенсивностей линий разных элементов в спектре  $\alpha^2$  CVn по более ранним работам ([2, 3] и др.), мы предприняли попытку возможно более детально изучить особенности изменения эквивалентных ширин ( $W_\lambda$ ), полуширин ( $\Delta\lambda$ ) и центральных глубин ( $R_0$ ) избранных спектральных линий репрезентативных химических элементов с фазой.

В первую очередь нас интересовало изменение упомянутых параметров линий следующих элементов:

1) редкоземельных, в частности Eu II, поскольку для некоторых из его линий, например для  $\lambda 4205.05 \text{ \AA}$ , характерна [2] особенно большая амплитуда изменения  $W_\lambda$  с фазой;

2) Ca II, а именно линия K Ca II  $\lambda 3933.67 \text{ \AA}$ , которая, как правило, аномально слаба у магнитных звезд, ее профиль часто меняется с фазой весьма сложным образом: он может быть переменным, асимметричным, с дополнительными компонентами или с временным исчезновением ядра [4];

3) Si II, так как истинный характер изменения интенсивностей линий этого иона с фазой оставался до сих пор не совсем ясным.

Кроме того, учитывая, что в спектрах многих магнитных звезд наблюдаются значительные и не объясненные до сих пор различия в ширинах и изменениях ширин линий разных элементов [4, 5], мы сочли необходимым провести для  $\alpha^2$  CVn общий количественный анализ изменений ширин линий с фазой для различных групп элементов, чтобы выяснить физическую природу этого явления.

## § 2. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ СПЕКТРОГРАММ

Основные сведения об использованных нами спектрограммах приведены в [1].

Регистрограммы в интенсивностях были получены с 20-кратным увеличением. Для детального изучения изменений интенсивностей, ширин и глубин линий выделено на регистрограммах пять спектральных участков длиной 3—14 Å (табл. 1). Спектральная область и длина участков выбирались таким образом, чтобы последние содержали некоторый оптимальный набор свободных или почти свободных от блендирования линий, в первую очередь линий таких элементов, как Eu II, Gd II, Ca II, Si II, Fe II.

ТАБЛИЦА 1

Исследуемые спектральные участки регистрограмм

Номер участка	Спектральный участок, Å в Å	Дисперсия на регистрограммах, Å · мм <sup>-1</sup>	Основные линии спектрального участка
1	3818—3821	0.057	3818.8 Gd II 3819.7 Eu II 3820.4 Fe I, Cr II
2	3929—3937	0.059	3930.5 Eu II, Fe II, Fe I 3933.7 Ca II 3935.9 Fe II, Fe I
3	4126—4135	0.062	4128.0 Si II 4129.7 Eu II 4130.9 Si II
4	4204—4218	0.063	4205.0 Eu II, Gd II, (V II, Cr II) 4205.6 Nd II, (Fe I, Eu II) 4217.2 Gd II, (Cr II, Nd II, Ti II)
5	4433—4437	0.065	4434.3 Sm II 4435.6 Eu II, (Fe I)

Обработка регистрограмм на этих участках проводилась без предварительного сглаживания флуктуаций на записи, обусловленных зернистостью эмульсии фотопластинок. Если для какой-либо фазы или очень близких фаз (в пределах 0.02—0.03 *P*) мы имели несколько спектрограмм, то проводилось их сравнительное изучение. В результате обработки мы получили записи для пяти участков в единицах непрерывного спектра для семи фаз: 0.00, 0.11, 0.26, 0.38, 0.70, 0.80 и 0.92. Кроме того, подобным же образом дополнительно были изучены профили многих отдельных линий. Результаты обработки для участков № 2 и № 3 представлены графически на рис. 1 и 2.

После детального отождествления линий с максимально возможным учетом известных [2, 6, 7] изменений интенсивностей и лучевых скоростей линий с фазой и связанного с этим переменного блендирования выявились следующие обстоятельства.

1. Линия  $\lambda 3930.50$  Eu II, которую многие авторы, изучавшие спектр  $\alpha^2$  CVn по спектрограммам с высокой дисперсией, например [2, 7], считали свободной от blends, на самом деле blendируется с довольно сильными линиями  $\lambda 3930.30$  Fe I и  $\lambda 3930.31$  Fe II. Действительно, по [6, 7] луче-

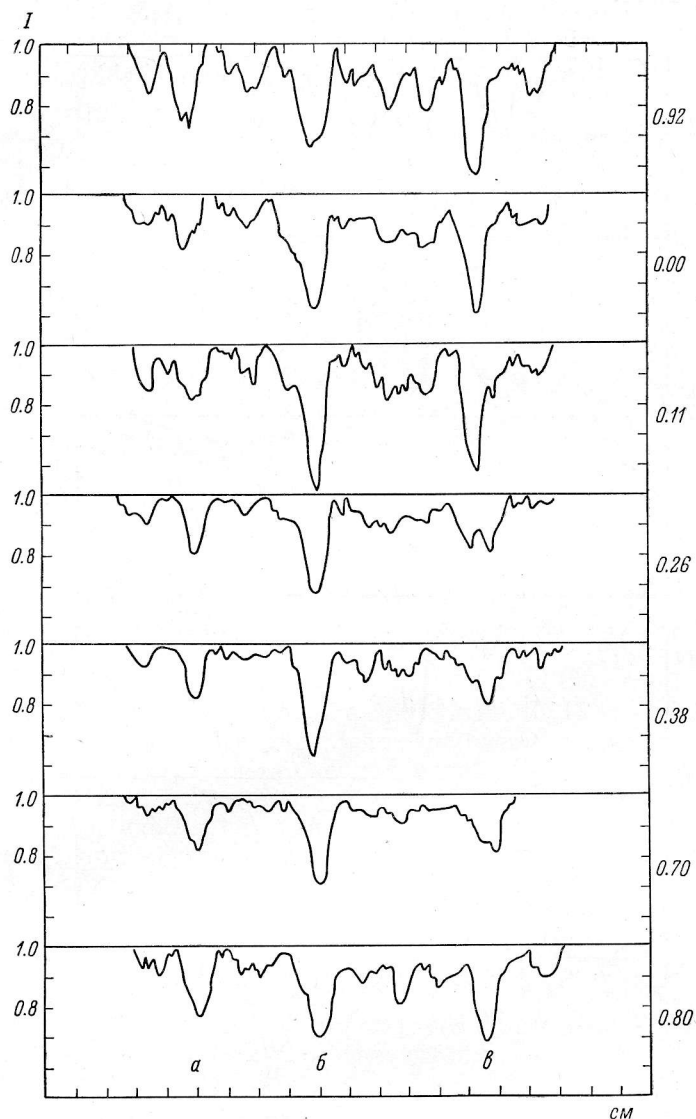


Рис. 1. Регистрограммы участка  $\lambda\lambda 3929-3937$  Å спектра  $\alpha^2$  CVn в единицах непрерывного спектра. Справа указаны фазы в долях периода.

*a* — линия  $\lambda 3935.9$  Fe II, Fe I; *b* —  $\lambda 3933.7$  Ca II; *v* —  $\lambda 3930.5$  Eu II, Fe II, Fe I.

вые скорости у линий Eu II периодически изменяются с фазой, причем полная амплитуда достигает 25 км/сек. Такие изменения лучевых скоростей прослеживаются, в частности, на записях для участков № 1 и № 3, где линии Eu II  $\lambda 3819.67$  и  $\lambda 4129.70$  практически свободны от blends (см. рис. 2). Линия Eu II  $\lambda 3930.50$  выглядит как одиночная при многих фазах, но при  $P=0.26$  «раздваивается» на два компонента за счет разницы

в лучевых скоростях линий Eu II и Fe I, Fe II. Таким образом, мы делаем вывод, что линия Eu II  $\lambda$  3930.50 блендируется при большинстве фаз с близкими к ней линиями Fe I и Fe II, заметно «усиливаясь» за их счет, хотя суммарная интенсивность последних изменяется в противофазе с линиями Eu II.

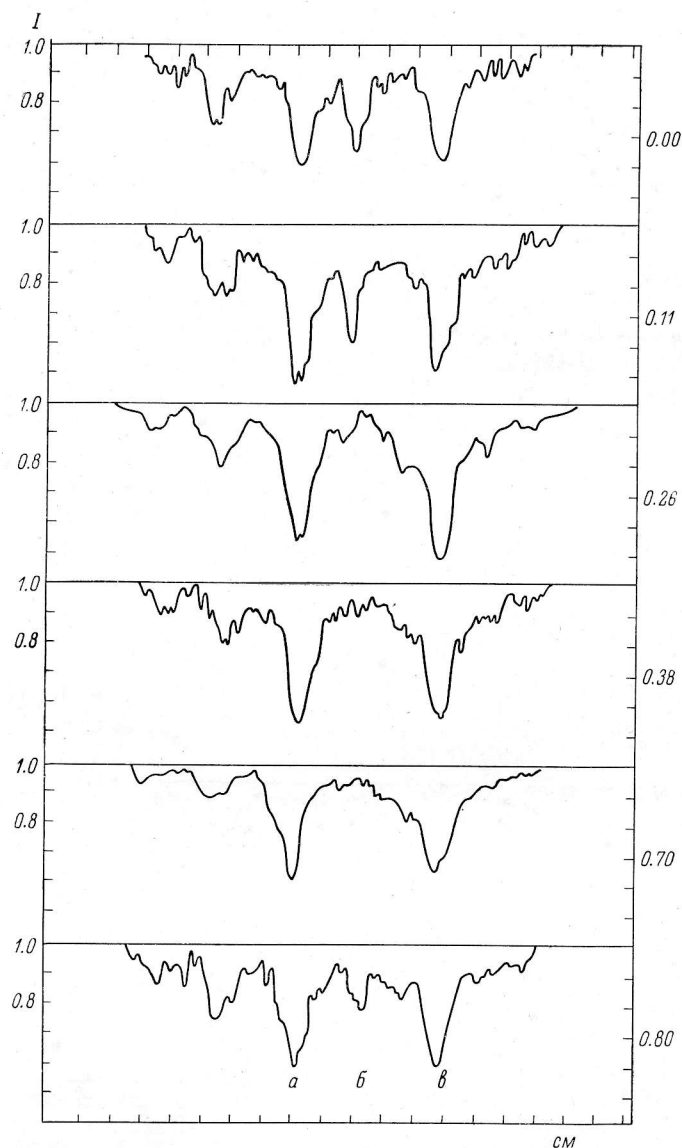


Рис. 2. Регистрограммы участка  $\lambda\lambda$  4126—4135 Å спектра  $\alpha^2$  CVn в единицах непрерывного спектра. Справа указаны фазы в долях периода.

*a* — линия  $\lambda$  4130.9 Si II, *b* —  $\lambda$  4129.7 Eu II, *c* —  $\lambda$  4128.0 Si II.

Подобную картину мы обнаруживаем и в случае линии  $\lambda$  4435.58 Eu II, которая блендируется с  $\lambda$  4435.15 Fe I. При фазе 0.26 эти линии видны отдельно. Что же касается линии  $\lambda$  4205.05 Eu II, то она настолько сильно блендируется близкими линиями других элементов (Y II, Sr II, Gd II, Nd II), что даже при  $P=0.26$  эту линию Eu II невозможно выделить.

На примере линии  $\text{Eu II } \lambda 3930.50$  мы определили количественно, насколько интенсивность линии может быть искажена блендированием с близкими линиями  $\text{Fe I}$  и  $\text{Fe II}$  для тех фаз, когда бленда не разрешается. Для этого мы использовали зависимости  $W_\lambda$  от величин  $\lg gf \lambda$  для линий того мультиплета  $\text{Fe I}$ , в который входит линия  $\lambda 3930.30$ . Такие зависимости были построены отдельно для каждой фазы. Это дало возможность определить  $W_\lambda$  линии  $\text{Fe I } \lambda 3930.30$  по ее  $\lg gf \lambda$ . Далее были определены

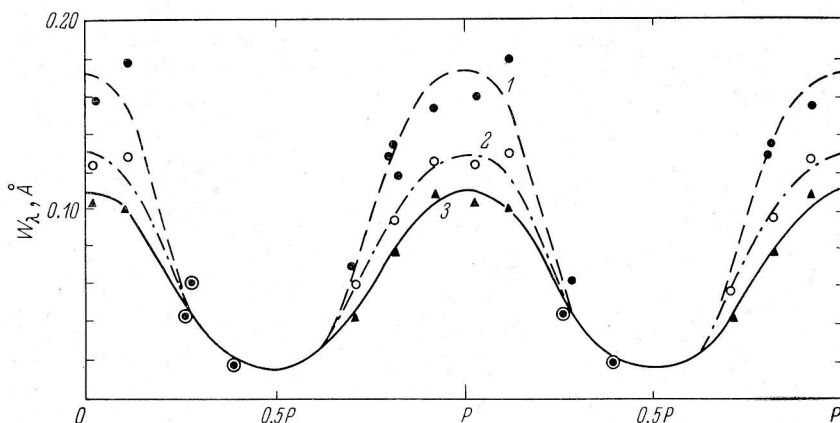


Рис. 3. Изменение  $W_\lambda$  линии  $\text{Eu II } \lambda 3930.50 \text{ \AA}$  с фазой.

1 — бленда  $\text{Eu II}$ ,  $\text{Fe I}$ ,  $\text{Fe II}$ ; 2 — бленда  $\text{Eu II}$ ,  $\text{Fe II}$ ; 3 — линия  $\text{Eu II}$ , освобожденная от бленд.

$W_\lambda$  линии  $\text{Fe II } \lambda 3930.31$ . Таким образом, линию  $\text{Eu II}$  удалось освободить от бленд для всех фаз. На рис. 3 представлены изменения  $W_\lambda$  линии  $\text{Eu II}$  с фазой до и после учета блендирования. Видно, что для интервала фаз  $0.75-0.25$  блендирование линиями  $\text{Fe I}$  и  $\text{Fe II}$  особенно велико. Этот пример наглядно демонстрирует необходимость детального анализа и учета бленд при изучении изменения интенсивностей линий различных элементов с фазой.

При изучении поведения линии  $\text{Ca II } \lambda 3933.67$  учитывалось блендирование ее длинноволнового крыла линиями  $\text{Dy II } \lambda 3934.17$  и  $\text{Zr II } \lambda 3934.14$ . Блендирование пришлось учитывать даже для очень сильных линий  $\text{Si II } \lambda 4128.05$  и  $\lambda 4130.88$ .

После анализа всех этих факторов были определены  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  для 30 избранных линий различных элементов.

### § 3. ИЗМЕНЕНИЯ $W_\lambda$ , $R_0$ И $\Delta\lambda$ С ФАЗОЙ

Образцы изменения параметров  $W_\lambda$ ,  $R_0$ ,  $\Delta\lambda$  с фазой для избранных линий представлены на рис. 4—6. При изучении изменений интенсивностей линий привлекались данные о  $W_\lambda$  из [2] (крестики на рис. 4), поскольку сравнение  $W_\lambda$  для общей фазы (0.82) показало, что систематические различия между значениями  $W_\lambda$  в [2] и у нас невелики.

Анализ большого числа графиков, подобных представленным на рис. 4—6, показал следующее.

1. Интенсивности линий  $\text{Eu II}$  и других редкоземельных элементов исключительно малы при фазе 0.5. Так, например, независимо от максимальной интенсивности линий  $\text{Eu II}$  при фазе 0.0, в минимуме (вблизи фазы 0.5)  $W_\lambda$  достигают, как правило, значений  $0.005-0.010 \text{ \AA}$ .

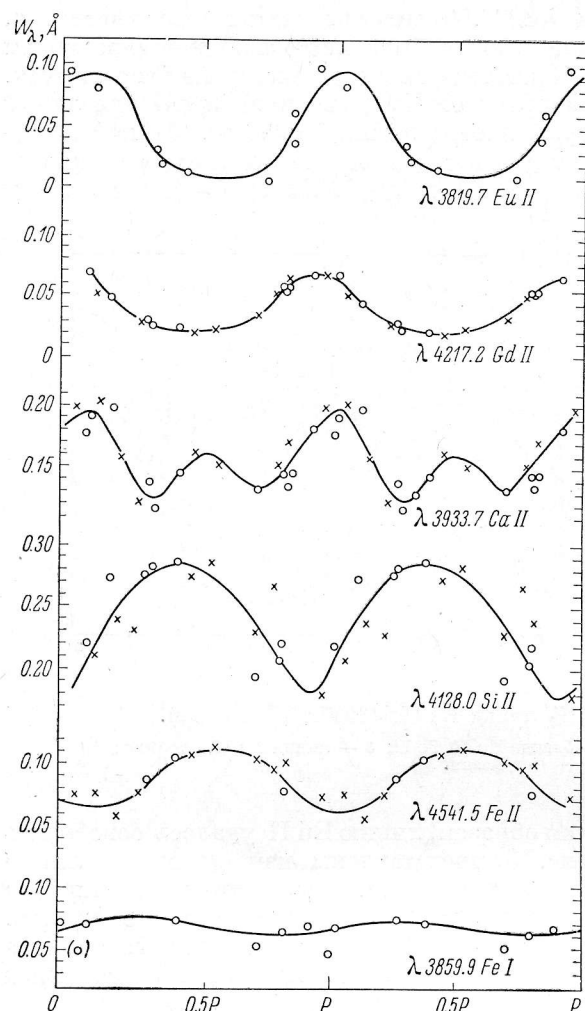


Рис. 4. Изменение  $W_\lambda$  линий избранных элементов с фазой.  
 Кружки — наши определения  $W_\lambda$ , крестики —  $W_\lambda$  из [2].

В табл. 2 представлены числовые данные для четырех наиболее полно изученных линий Eu II; можно видеть, что в минимуме линии по крайней мере в 20—25 раз слабее, чем в максимуме.

Обнаружилось также, что характер изменения измеренных параметров линий с фазой у разных редкоземельных элементов может несколько различаться. Так, максимум интенсивности для шести измеренных линий Gd II приходится на  $P=0.95 \pm 0.01$ , минимум — на  $P=0.46 \pm 0.01$ , для Pr II — на 0.89 и 0.36. Для Eu II, Dy II, Sm II эти два момента приходятся на фазы 1.00 и 0.50 соответственно. Подобные расхождения обнаруживаются и в кривых изменения  $R_0$  и  $\Delta\lambda$ , но с меньшей опреде-

У нас есть все основания полагать, что по крайней мере для каждого данного элемента кривые изменения интенсивностей различных линий с фазой должны быть подобны и, следовательно, должна существовать корреляция между максимальной и минимальной интенсивностями линий. Такое общее подобие легко устанавливается, однако корреляции между  $W_\lambda$  (max) и  $W_\lambda$  (min) нам обнаружить не удалось. Учитывая это обстоятельство, а также то, что средняя относительная ошибка определения  $W_\lambda$  самых слабых линий достигает 30—50% и что средние «эквивалентные ширины» флуктуаций на регистрируемых зернистостью фотопластинок, лишь в 1.5—2 раза меньше  $W_\lambda$  слабейших из измеренных линий, мы сделали следующий вывод: измеренные интенсивности линий Eu II и, возможно, остальных редкоземельных элементов при фазе 0.50 оказываются сравнимыми с ошибками их определения, а истинные интенсивности могут быть еще меньше.

ТАБЛИЦА 2

Параметры наиболее изученных линий Eu II

$\lambda$ , Å	$W_\lambda$ (min), Å	$W_\lambda$ (max), Å	$\frac{W_\lambda \text{ (max)}}{W_\lambda \text{ (min)}}$
4435.6	0.007:	0.125	18:
4205.0	0.008	0.200	25
4129.7	0.007	0.165	23
3819.7	0.006	0.094	16

ленностью (из-за меньшей точности измерения  $R_0$  и  $\Delta\lambda$ ). Общая интерпретация отмеченных особенностей в изменении параметров линий редкоземельных элементов с фазой будет проведена в § 4.

2. Для линии К Ca II характерны два максимума в изменении  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  с фазой — при  $P=0.00$  (сильный максимум) и при  $P=0.50$  (более слабый максимум). При фазах, близких к 0.50, линию К можно считать свободной от блендирования даже в красном крыле, так как при этих фазах близкие линии Dy II и Zr II имеют минимальную интенсивность ( $W_\lambda$  определенно меньше  $0.01 \text{ \AA}$ , см. п. 1).

3. У линий Si II ( $\lambda 4128$  и  $\lambda 4131 \text{ \AA}$ ) наблюдается очень широкий максимум  $W_\lambda$  при фазе 0.40. Минимальная интенсивность линий приходится на фазу 0.90—0.92. Весьма сходным образом ведет себя линия Mg II  $\lambda 4481$ . Максимумы и минимумы в  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  для Si II и Mg II примерно совпадают с максимумами и минимумами в  $W_\lambda$ .

4. Характер изменения с фазой  $W_\lambda$  линий элементов «железного пика» (Fe I, Fe II, Cr II, Ti II и др.) по нашим данным подобен приведенному в [2]. Изменение их  $W_\lambda$  происходит в противофазе с изменением  $W_\lambda$  линий редкоземельных элементов, однако можно отметить несовпадение экстремумов по времени для линий разных элементов этой группы. Так, например, момент максимума  $W_\lambda$  у линий Ti II не совпадает с моментом максимума  $W_\lambda$  у Fe II и особенно у Cr II.

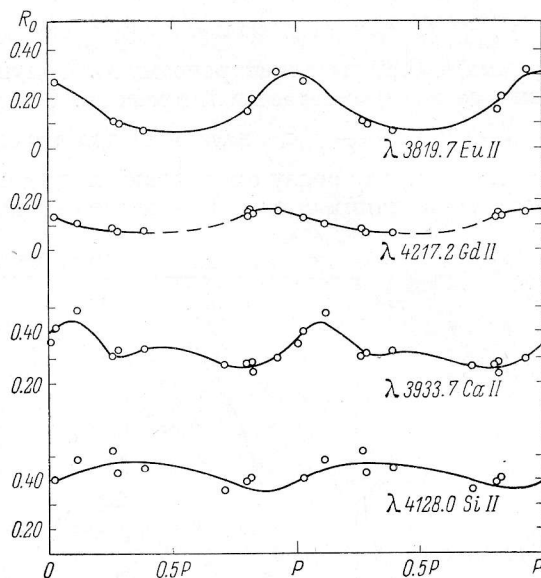


Рис. 5. Изменение  $R_0$  линий избранных элементов с фазой.

$R_0$  даны в долях непрерывного спектра.

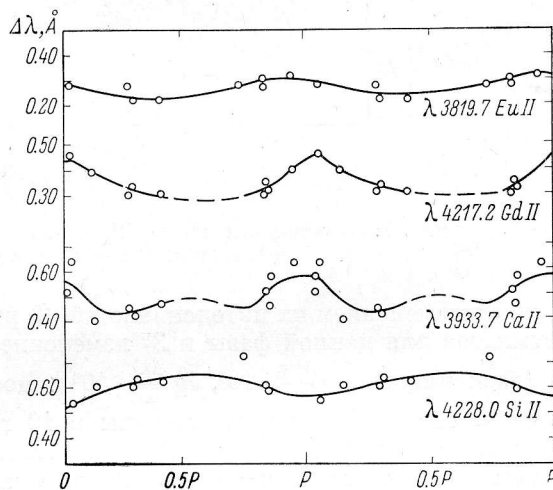


Рис. 6. Изменение  $\Delta\lambda$  линий избранных элементов с фазой.

#### § 4. АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ КРИВЫХ ( $W_\lambda$ , $\Delta\lambda$ )

Для количественного анализа изменений ширин возможно большего числа линий практически всех наблюдаемых в спектре элементов мы сочли наиболее надежным и наглядным метод изучения корреляции эквивалентных ширин и полуширин линий. В спектре  $\alpha^2$  CVn (в спектральном интервале  $\lambda\lambda 4800\text{—}3600 \text{ \AA}$ ) нами было отождествлено около 2000 линий.



Для изучения корреляции было отобрано примерно 600 наименее блендированных линий, для которых нами были определены величины  $\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  и  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  для трех фаз: 0.26 (две спектрограммы), 0.38 (одна спектрограмма) и 0.80 (три спектрограммы). Полуширины  $\Delta\lambda$  линий были исправлены за инструментальный профиль. Затем были построены зависимости  $(\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6, \lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6)$  отдельно для каждого из элементов. Эти кривые хороши тем, что сразу охватывают линии самой различной интенсивности. Построение таких кривых позволяет изучить 1) характер изменения ширины

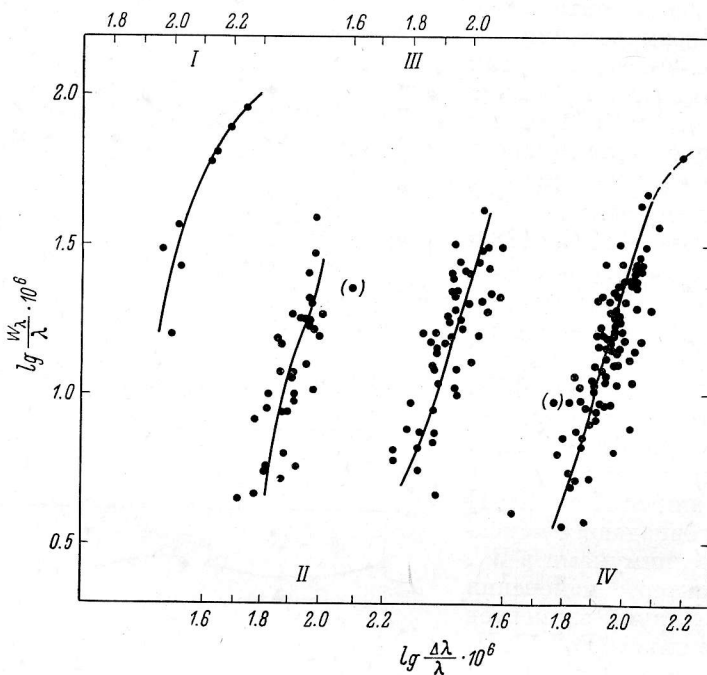


Рис. 7. Зависимости между  $W_\lambda$  и  $\Delta\lambda$  для линий элементов, входящих в группы I—IV, для фазы 0.26.

линий с изменением их интенсивностей, 2) различие ширины линий разных элементов для данной фазы и 3) изменение ширины линий с фазой.

Зависимости  $(\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6, \lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6)$ , построенные для отдельных элементов, были затем сгруппированы в 10 групп с учетом практического совпадения кривых для некоторых элементов, характеристик самих элементов (их атомных весов), характера изменения всех параметров линий и лучевых скоростей с фазой и т. д. В результате такого усреднения повысилась точность проведения средних кривых (до 0.005 в  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$ ). Распределение элементов по группам, сведения об атомных номерах и периодах элементов в таблице Менделеева и число линий в группе дается в левой половине табл. 3. На рис. 7 приведены в качестве образца зависимости  $(\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6, \lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6)$  для первых четырех групп линий для фазы 0.26.

Анализируя подобные зависимости у всех групп линий для трех упомянутых фаз, мы приходим к выводу, что при каждой данной фазе ширины линий элементов «железного пика» различны. Кроме того, для каждой

ТАБЛИЦА 3

## Относительные ширины линий элементов групп I—X

Номер группы	Элементы	Атомный номер	Период таблицы Менделеева	Число линий в группе	Фазы периода		
					$P = 0.26$	$P = 0.38$	$P = 0.80$
I	Si II, P II, Mg II, Ne II Al II, O II, S II	8—16	3	20	+0.015	0	-0.015
II	Ti I, Ti II, V I, V II	22—23	4	60	+0.022	+0.086	+0.012
III	Cr I, Cr II, Mn I, Mn II	24—25	4	70	+0.018	+0.030	-0.061
IV	Fe I, Fe II	26	4	160	+0.042	+0.060	-0.031
V	Co I, Ni I	27—28	4	15	0	—	+0.097
VI	Rb II, Sr II, Y II, Zr II	37—40	5	20	+0.052	+0.097	+0.012
VII	La II, Ce II	57—58	6	65	+0.060	+0.020	-0.016
VIII	Pr II, Nd II	59—60	6	45	+0.067	+0.028	-0.034
IX	Sm II, Eu II	62—63	6	50	+0.030	+0.093	-0.043
X	Gd II, Tb II, Dy II, Ho II, Er II, Yb II, Hf II	64—72	6	80	+0.046	+0.061	-0.033

данной фазы обнаруживаются различия в ширинах линий для групп, образованных из редкоземельных элементов.

Рис. 8 демонстрирует изменение зависимостей ( $W_\lambda, \Delta\lambda$ ) с фазой для трех групп линий. Анализ всех таких кривых показывает, что ширины

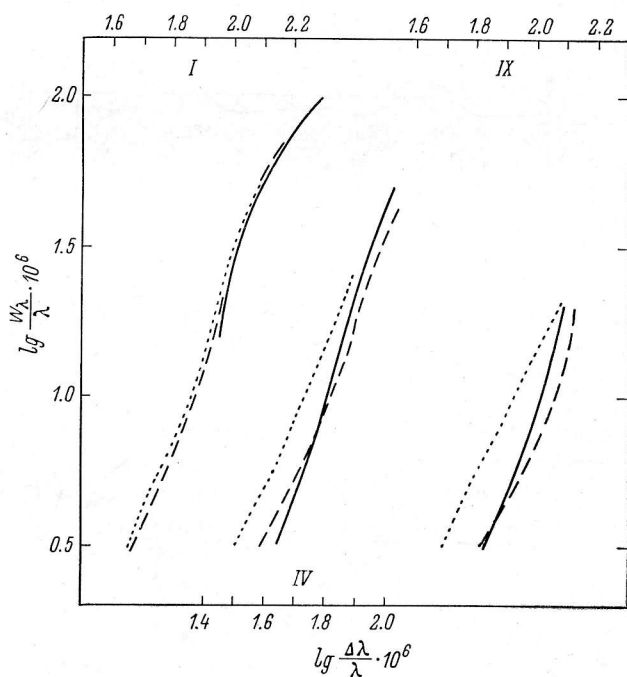


Рис. 8. Изменение зависимостей между  $W_\lambda$  и  $\Delta\lambda$  с фазой для I, IV и IX групп линий.

Сплошная кривая соответствует фазе 0.26, штриховая — 0.38, пунктирная — 0.80.

линий большинства элементов заметно изменяются с фазой, однако характер этих изменений для разных групп элементов различен. Так, например, у линий элементов группы I (Si II, Mg II и др.) положение и форма кривых ( $W_\lambda, \Delta\lambda$ ) меняются незначительно. Сопоставление этого результата с дан-

ными об изменении с фазой  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$ , например для Si II (рис. 4—6), говорит о том, что изменения  $W_\lambda$  обусловлены изменениями  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  примерно в равной степени. Для остальных групп линий изменения ширины линий значительны и определенно больше ошибок в проведении кривых ( $W_\lambda$ ,  $\Delta\lambda$ ). Относительные смещения этих кривых от фазы к фазе были выражены в количественном виде. За нуль-пункт взято среднее положение трех кривых для линий группы I на рис. 8.

В правой половине табл. 3 для трех фаз даются для каждой группы линий значения  $\delta = \lg \Delta\lambda - \lg \Delta\lambda_I$  (относительные ширины линий). Средняя ошибка определения значений  $\delta$  равна  $\pm 0.008$ .

Из табл. 3 следует, например, что ширины линий у групп II—IV (элементы «железного пика») для трех изученных фаз различны: наиболее узкими оказываются линии группы III, наиболее широкими — линии группы II. Обнаруживаются также различия в ширинах и изменениях ширины линий для групп VI—X.

#### § 5. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ В РАМКАХ ГИПОТЕЗЫ НАКЛОННОГО РОТАТОРА

Мы рассмотрели результаты наших измерений  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  в спектре  $\alpha^2$  CVn, исходя из гипотезы наклонного ротатора, с привлечением, когда это было необходимо, данных об изменении с фазой величин  $v_r$  [и  $H_e$  из [6, 7]]. При этом мы приняли, в соответствии с [7], что угол  $i$  между осью

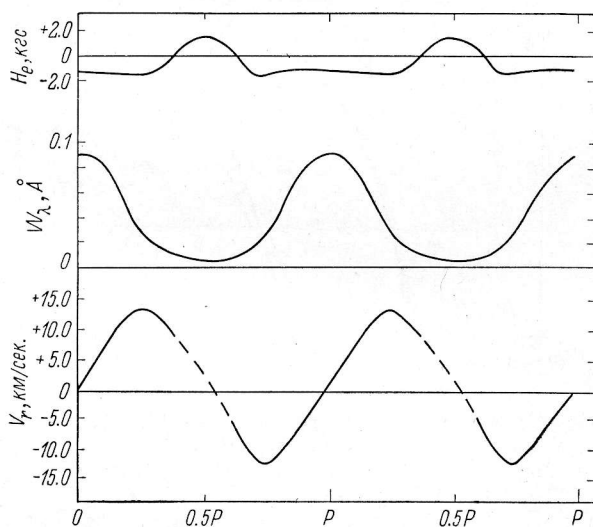


Рис. 9. Кривые изменения  $H_e$ ,  $W_\lambda$  и  $v_r$  для Eu II с фазой.

вращения и лучом зрения равен  $50^\circ$  (наши оценки величины этого угла дали практически то же самое значение) и что угол между осью вращения и магнитной осью тоже равен  $50^\circ$ . Из анализа кривых лучевых скоростей из [6, 7] мы нашли, что  $\gamma = -0.7$  км/сек.

Проведенный анализ позволил нам получить более подробную картину распределения различных элементов по поверхности звезды. Ниже излагаются наиболее интересные из полученных выводов.

**Редкоземельные элементы.** Комплексный анализ кривых изменения величин  $W_\lambda$ ,  $R_0$ ,  $\Delta\lambda$ ,  $v_r$  и  $H_e$  для этих элементов (рис. 4—

6; см. также рис. 9 для Eu II) показывает: области концентрации редкоземельных элементов сосредоточены вблизи отрицательного магнитного полюса, что согласуется с выводами других авторов, например [7]. Однако области, занимаемые разными элементами, полностью между собой не совпадают как в отношении осесимметричности, так и по степени концентрации к отрицательному магнитному полюсу. Об этом говорит хотя бы тот факт, что относительные ширины линий у разных редкоземельных элементов различаются (см. табл. 3).

Этот вывод вытекает также из рассмотрения табл. 4. В столбцах этой таблицы последовательно приводятся:  $P_{\max}$  и  $P_{\min}$  — фазы максимума и минимума интенсивностей линий;  $-v_r$  — наибольшая отрицательная лучевая скорость, определенная по линиям данного элемента, и  $P_-$  — соответствующая фаза;  $P_0$  — фаза, при которой  $v_r=0$ ;  $+v_r$  — наибольшая положительная лучевая скорость и  $P_+$  — соответствующая фаза;  $H$  (max) — максимальное значение магнитного поля положительной полярности;  $\Delta P$  — доля периода, в течение которой  $H_e < 0$ .

ТАБЛИЦА 4

Некоторые характеристики областей концентрации редкоземельных элементов

Элемент	$P_{\max}$	$P_{\min}$	$-v_r$ , км/сек.	$P_-$	$P_0$	$+v_r$ , км/сек.	$P_+$	$H$ (max), кГс	$\Delta P$
Ce II	1.00	0.50:	—	—	—	—	—	3.0	0.63
Pr II	0.89	0.36	—	—	—	—	—	—	—
Sm II	1.00	—	-11.6	0.81:	1.00	+14.0	0.25	—	—
Eu II	1.00	0.50	-12.2	0.75	1.00	+12.4	0.25	1.6	0.75
Gd II	0.95	0.46	-10.4	0.68	0.95	+12.5	0.26	1.8	0.81
Dy II	0.99	—	-12.8	0.73	1.00	+11.6	0.25	2.2	0.76
Gd I	—	—	—	—	0.97:	+15.6	0.23	—	0.57:

Наименьшую степень концентрации к отрицательному магнитному полюсу имеют Ce II и Gd I — у них особенно малы величины  $\Delta P$ . Кроме того, у Gd I скорость  $+v_r$  наибольшая по сравнению с другими элементами из табл. 4. Это тоже свидетельствует о том, что эффективная область, занимаемая Gd I, захватывает значительную часть экваториальной зоны звезды. Следует упомянуть, что для  $\alpha^2 CVn$  наблюдаемая скорость вращения на экваторе  $v_e=18.5$  км/сек.

Области, занимаемые Dy II и, возможно, Sm II, имеют практически такие же характеристики, как и область, занимаемая Eu II.

Зоны концентрации Pr II и Gd II располагаются явно несимметрично по отношению к отрицательному магнитному полюсу звезды — для этих элементов максимум интенсивностей линий, соответствующий прохождению наблюдаемого «центра тяжести» зоны через центральный меридиан ( $v_r=0$ ), наступает на 0.05—0.011 периода раньше, чем для Eu II. Линии Pr II и Gd II достигают минимума интенсивности также раньше, чем линии Eu II (на 0.04—0.14 периода). Кроме того, у Gd II фазы  $P_-$  и  $P_0$  наступают на 0.05—0.07 периода раньше, чем у Eu II.

Если вести отсчет долгот на поверхности звезды от центрального меридиана при фазе 0.00 (максимум интенсивностей линий Eu II) в направлении вращения звезды, то «центры тяжести» наблюдаемых в это время зон концентрации Pr II и Gd II располагаются на долготах  $+40$  и  $+20^\circ$ . Примерно на столько же и в этом же направлении смещены «центры тяжести» областей минимальной концентрации Pr II и Gd II (на  $50$  и  $15^\circ$  соответственно). Однако степень концентрации атомов Gd II к отрицательному магнитному полюсу близка, по-видимому, к таковой для Eu II.

Отметим здесь, что, по данным [5], подобное несоответствие в моментах максимумов  $W_\lambda$  у Gd II и Eu II обнаруживается и у других магнитных звезд. Так, у HD 188041 линии Gd II достигают максимума интенсивности на 0.4 периода раньше, чем линии Eu II.

Наконец подчеркнем еще одно важное обстоятельство. При фазе 0.50, когда положительный магнитный полюс оказывается практически в самом центре видимого диска и мы видим только «положительное» магнитное полушарие (рис. 10, а), эквивалентные ширины линий редкоземельных элементов достигают минимальных значений, ослабевая по сравнению с максимальными  $W_\lambda$  (при фазе 0.00) по крайней мере в 20 раз (см. § 3). С другой стороны, при фазе 0.00 (рис. 10, б) мы можем видеть практически только половину области концентрации редкоземельных элементов к отрицательному магнитному полюсу, да и то существенно ослабленную эффектом проекции, особенно в близполярных, надо полагать, наиболее

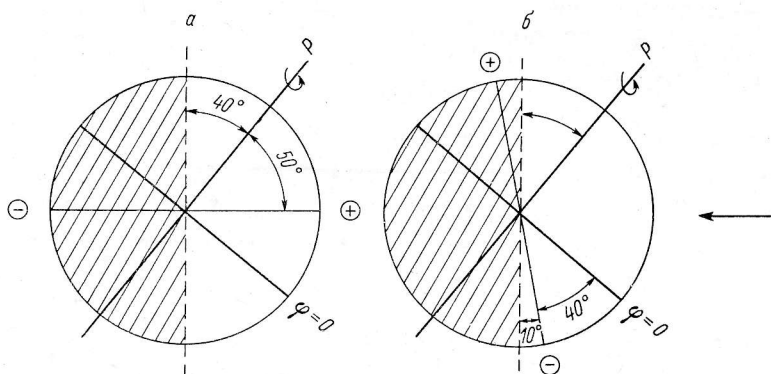


Рис. 10. Расположение оси вращения звезды и магнитной оси по отношению к лучу зрения (стрелка).

а — для фазы 0.50, б — для фазы 0.00.

мощных зонах. Отсюда можно сделать заключение, что концентрация редкоземельных элементов в атмосфере звезды в полушарии с отрицательной полярностью магнитного поля по крайней мере в десятки раз выше, чем в полушарии с положительной полярностью.

Относительно небольшое изменение ширины ( $\Delta\lambda$ ) линий редкоземельных элементов с фазой объясняется слабо переменным эффектом Доплера при вращении звезды, поскольку вследствие больших эффективных размеров области концентрации, сравнимых с площадью полушария звезды (см. рис. 12 в [7]), мы практически при всех фазах можем видеть как удаляющиеся, так и приближающиеся участки такой области. Переменность  $R_0$  и  $W_\lambda$  определяется значительными изменениями размеров и эффективной мощности области концентрации, причем амплитуды этих изменений существенно увеличиваются за счет эффектов проекции.

**К а л ь ц и й.** Изменения напряженности магнитного поля, интенсивности и лучевых скоростей с фазой для линии К Ca II представлены на рис. 11 (изменения  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  см. на рис. 5 и 6).

Амплитуда изменения лучевых скоростей линии К с периодом весьма невелика. Однако, благодаря малым ошибкам определения  $v_r$  по спектрограммам с высокой дисперсией [7], кривую изменения  $v_r$  удается построить с необходимой точностью. Значения лучевых скоростей линии К, взятые из [6], также хорошо ложатся на кривую, построенную по данным [7], хотя и с несколько большим разбросом из-за низкой дисперсии спектрограмм, измеренных в [6]. Сразу обнаруживается, что усредненное за период значение ( $\bar{v}_r$ ) не совпадает с  $\gamma$ , а равно  $-1.6$  км/сек., главным

образом из-за сравнительно больших отрицательных значений лучевых скоростей в интервале фаз от 0.85 до 0.15. Минимальные значения  $v_r$  при фазе 0.95 достигают  $-5.5$  км/сек. Мы предположили, что в этом интервале фаз наблюдается истечение ионов кальция из поверхности звезды и что при фазе 0.95, где  $v_r = -5.5$  км/сек., проекция скорости истечения на луч зрения максимальна, т. е. в этот момент точка (область) поверхности звезды, из которой выбрасываются ионы кальция, располагается на центральном меридиане. В кривую лучевых скоростей в интервале фаз 0.85—0.15 была введена соответствующая поправка с учетом зависимости проекции скорости истечения от фазы.

Отметим, что Г. Бэбкок в [5] указывает, на основании анализа вида профиля линии К, на истечение ионов кальция при некоторых фазах у магнитно-переменной звезды HD 184905 и на спектроскопические свидетельства наличия у этой звезды околосредней кальциевой оболочки.

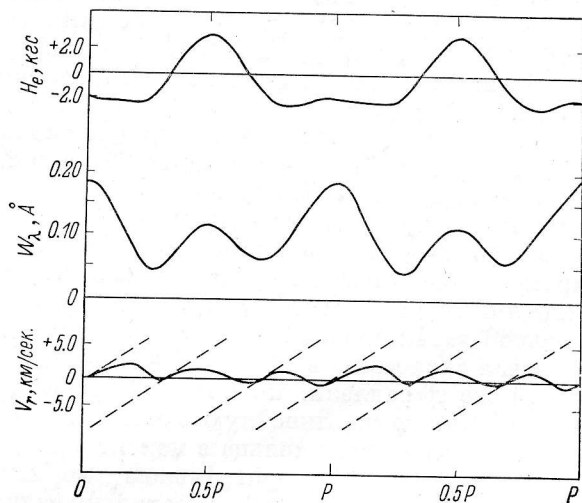


Рис. 11. Кривые изменения  $H_e$ ,  $W_\lambda$  и  $v_r$  для линий К Ca II с фазой.

Как до, так и после введения поправки лучевые скорости линии К у  $\alpha^2$  CVn трижды в течение периода меняют знак с отрицательного на положительный. Согласно гипотезе жесткого ротатора, этим моментом должны соответствовать прохождения участков поверхности звезды, в которых концентрируются атомы Ca II, через центральный меридиан. В данном случае это происходит при фазах 0.00, 0.33 и 0.71.

На кривой изменения напряженности магнитного поля, измеренной по линии К [7], максимум поля положительной полярности приходится на фазу 0.50, но при этом по абсолютной величине напряженность оказывается наибольшей по сравнению с  $H_e$ , определенной для этой фазы по линиям других элементов. То же самое имеет место и для максимума напряженности отрицательной полярности (при фазе 0.00). Так,  $H_e^+$  (Ca II) =  $+3.0$  кГс,  $H_e^+$  (Eu II) =  $+1.6$  кГс,  $H_e^+$  (Si II) =  $+1.7$  кГс и  $H_e^-$  (Ca II) =  $-2.6$  кГс,  $H_e^-$  (Eu II) =  $-1.5$  кГс,  $H_e^-$  (Si II) =  $-2.3$  кГс.

Отсюда можно сделать общий вывод, что эффективная концентрация атомов Ca II к магнитным полюсам — самая большая по сравнению с концентрацией других элементов, особенно редкоземельных. Далее, поскольку максимумы в кривых изменения  $W_\lambda$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  у Ca II приходятся на фазы 0.00 и 0.50, можно полагать, что области концентрации атомов Ca II расположены симметрично относительно магнитных полюсов звезды. С пер-

вого взгляда кажется, что такому предположению противоречит наличие на кривой лучевой скорости трех точек ( $-v_r \rightarrow +v_r$ ), отстоящих одна от другой примерно на треть периода, причем одна точка ( $-v_r \rightarrow +v_r$ ) соответствует фазе 0.00, а две другие (0.33 и 0.71) расположены практически симметрично по отношению к фазе 0.50.

Таким образом, фазе 0.00 (прохождению отрицательного магнитного полюса через центральный меридиан) соответствует прохождение одного кальциевого пятна, а фазе 0.50, когда через центральный меридиан проходит положительный магнитный полюс, соответствуют два кальциевых пятна, одно из которых предшествует полюсу, а другое следует за ним.

Мы можем оценить разницу фаз, при которых эти пятна проходят через центральный меридиан:  $\delta = 0.71 - 0.33 = 0.38$ . Она определяет расстояние между фазами и в угловой мере составляет  $140^\circ$ .

Учитывая симметричное распределение кальция около полюса, естественнее предположить, что мы имеем дело с концентрацией атомов кальция в виде некоторого кольца с центром, совпадающим с положительным магнитным полюсом и радиусом, равным  $70^\circ$ . В пользу кольца свидетельствует и то, что линия кальция не раздваивается, что имело бы место в случае двух пятен.

Ширина линии кальция, обусловленная кольцом около положительного магнитного полюса, не может превосходить 26 км/сек., или 0.35 Å, как это видно из нижеследующего расчета.

Примем максимальную лучевую скорость линий элементов «железного пика» за лучевую скорость на экваторе. Она равна  $-18.5$  км/сек. Поскольку широта положительного магнитного полюса  $+40^\circ$  (см. рис. 10, а), то его линейная скорость вращения на поверхности звезды составляет  $v_r = v_e \cos 40^\circ \approx 14$  км/сек. В момент появления полюса (на первом вертикале) лучевая скорость у него будет  $-14$  км/сек. Части кольца, находящиеся на той же параллели, по которой перемещается положительный полюс, имеют такую же линейную скорость, что и этот полюс. Тогда лучевая скорость левой части кольца в момент нахождения положительного магнитного полюса на центральном меридиане составит  $-14 \text{ км/сек.} \cdot \cos 20^\circ = -13.1$  км/сек. ( $\cos 20^\circ$ , поскольку радиус кольца  $70^\circ$ ). Лучевая скорость правой части кольца в этот момент будет  $+13.1$  км/сек. Таким образом, разница в лучевых скоростях левой и правой частей кольца составит 26 км/сек., или 0.35 Å.

Если около отрицательного магнитного полюса имеется кальциевое кольцо такого же диаметра ( $140^\circ$ ), то при фазе 0.00 мы будем видеть только половину кольца, расположенного от широты  $+30^\circ$  до широты  $-50^\circ$  (см. рис. 10, б). Можно рассчитать, что в этом случае ширина линии кальция при фазе 0.00 будет  $\sim 32$  км/сек., или 0.42 Å. Приводим расчет.

Когда отрицательный магнитный полюс проходит центральный меридиан, средняя часть кольца, находящаяся на меридиане, будет располагаться над экватором вращения ( $\varphi = +30^\circ$ ). Часть кольца, пересекающая экватор, будет двигаться с линейной скоростью 18 км/сек. Угол между первым вертикалем и точкой пересечения кольца с экватором будет равен (из тригонометрических соображений)  $27^\circ$ . Поэтому лучевая скорость левой части кольца составит  $-18 \text{ км/сек.} \cdot \cos 27^\circ = -16.3$  км/сек. Лучевая скорость правой части кольца соответственно будет  $+16.3$  км/сек. Разница в лучевых скоростях двух частей кольца составляет 32.6 км/сек., или 0.42 Å.

Отношение расчетных ширин линий кальция при двух фазах 0.00 (когда на центральном меридиане отрицательный магнитный полюс) и 0.50 (когда на центральном меридиане положительный магнитный полюс) равно  $\frac{0.42}{0.35} = 1.25$ . Если взять ширины линии кальция с графика измене-

ния ширины линий с фазой для этих же фаз, то их отношение будет  $\frac{0.58}{0.45} = 1.30$ . Как видно, согласие получается достаточно хорошее.

То, что отношение наблюдаемых ширины линий несколько больше отношения расчетных, объясняется тем, что при расчетах не учитывалась естественная ширина линий, обусловленная физическими факторами (брался случай чисто доплеровского расширения).

**К р е м н и й.** На рис. 12 и на рис. 4—6 показан характер изменения  $H_e$ ,  $W_\lambda$ ,  $v_r$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  для Si II. Изменения лучевых скоростей по линиям Si II [7] небольшие. Амплитуда лучевых скоростей всего 3.5 км/сек., что заставляет предположить, что площадь, занимаемая кремнием, составляет большую часть поверхности звезды. В кривых лучевых скоростей обнаруживаются два максимума при фазах 0.25 и 0.77. Лучевая скорость

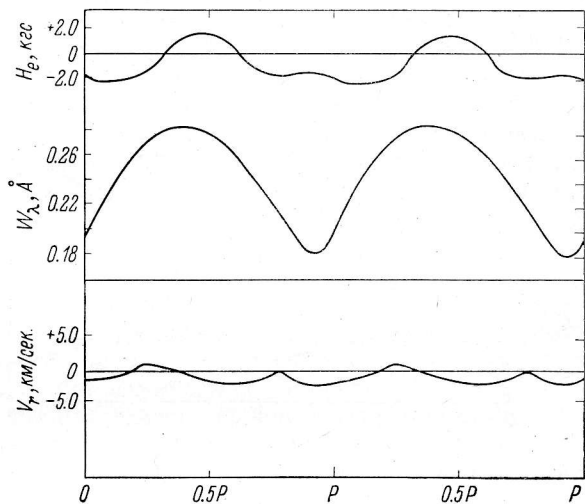


Рис. 12. Кривые изменения  $H_e$ ,  $W_\lambda$  и  $v_r$  для линий Si II с фазой.

меняется с отрицательной на положительную при фазах 0.15 и 0.74. Максимум в изменениях  $W_\lambda$  с фазой приходится на фазу  $0.41 \pm 0.02$ , а минимум — на фазу  $0.93 \pm 0.03$ . Максимумы в изменениях величин  $\Delta\lambda$  и  $R_0$  тоже соответствуют этим фазам. Максимум  $W_\lambda$  (фаза 0.41) соответствует фазе перехода лучевой скорости от положительной к отрицательной. Максимум поля положительной полярности по линиям Si II, равный +1.7 кгс, приходится на фазу  $0.47 \pm 0.02$  периода. Амплитуда магнитного поля 3.9 кгс. Положительная напряженность магнитного поля по линиям Si II примерно в два раза меньше, чем положительная напряженность магнитного поля по K Ca II, что заставляет думать, что кремний, возможно, меньше концентрируется к положительному магнитному полюсу, чем кальций, т. е. располагается в среднем дальше от полюса и ближе к магнитному экватору. Окончательный вывод относительно кремния можно сделать такой: кремний занимает значительную часть поверхности звезды и имеет концентрацию к положительному полюсу меньшую, чем кальций.

Характер изменения лучевых скоростей, величин  $W_\lambda$  у линий Mg II заставляет предположить, что характер распределения Mg II по поверхности звезды в общих чертах такой же, как и Si II.

**В о д о р о д.** Поведение линий водорода с фазой было изучено в [1]. На рис. 13 представлено изменение с фазой полуширин  $b_{0.6}$  (на глубине  $R=0.6$ ), центральных глубин ( $R_0$ ), эквивалентных ширины центральных



частей ( $W_0$ ) и лучевых скоростей для линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$ . Значения лучевых скоростей взяты из [6]. Параметры  $b_{0,6}$ ,  $R_0$  и  $W_0$  изменяются в течение периода синхронно, обнаруживая двойную волну.

Поскольку кривая лучевых скоростей трудно поддается интерпретации и мы пока не располагаем определениями магнитных полей по линиям водорода, нельзя сказать что-либо конкретное о распределении водорода по поверхности звезды. Однако характер изменения параметров водородных линий не противоречит гипотезе наклонного ротатора.

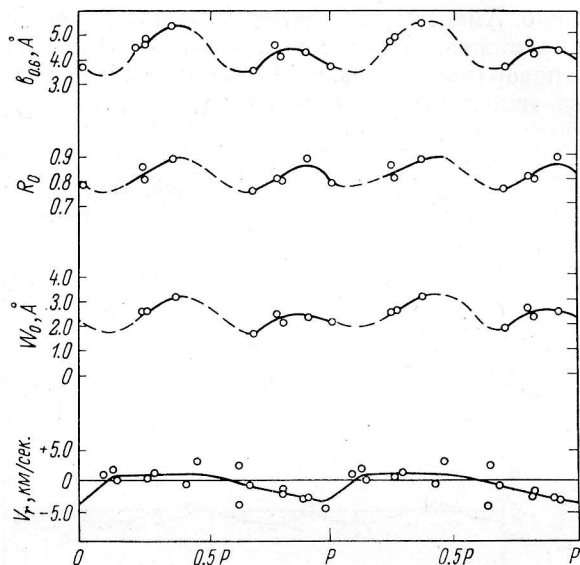


Рис. 13. Кривые изменения параметров линий  $H_\gamma$  и  $H_\delta$  с фазой.

Линии элементов «железного пика». Для анализа линий «железного пика» мы разбили их на три группы, основываясь при этом на характере поведения зависимости  $\lg \frac{W_\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  от величин  $\lg \frac{\Delta\lambda}{\lambda} \cdot 10^6$  (см. табл. 3):

- группа II (Ti I, Ti II, V I, V II),
- группа III (Cr II, Mn II, Cr I, Mn I),
- группа IV (Fe I, Fe II).

Была построена таблица относительных изменений ширины линий для этих групп для трех фаз (нуль-пункт — кривая для Si II, Mg II). Проанализировав таблицу, мы пришли к такому выводу: наиболее узкими для трех групп являются линии Cr II, наиболее широкими — линии Ti II, линии Fe II средней ширины (наибольшее различие — 10%).

Отсюда, учитывая, что для этих ионов величины расширения за счет теплового и турбулентного движения практически одинаковы и малы по сравнению с расширением за счет вращения звезды, из различия ширины линий можно сделать вывод, что атомы Ti II, Cr II и Fe II распределены по поверхности звезды неодинаково (расширение за счет теплового и турбулентного движений  $\sim 3$  км/сек., или  $0.05 \text{ \AA}$ , а ширина линии от всего диска звезды 9 км/сек.).

Д. Пайпер [7] выделила четыре пятна на поверхности звезды, в которых концентрируются элементы «железного пика». Однако, если провести более полный анализ лучевых скоростей, приведенных в [7], то можно

обнаружить определенные различия в характере изменения лучевых скоростей элементов, отнесенных Д. Пайпер к конкретным пятнам. Мы построили кривые изменения лучевых скоростей с фазой для каждого из элементов «железного пика» отдельно и получили подтверждение различию в распределении этих элементов по поверхности звезды. Рассмотрим, например, пятна 2a и 2d (по Д. Пайпер). Пятно 2a проходит через центральный меридиан в случае Fe II при фазе 0.19, в случае Ti II — при 0.15, в случае Cr II — при 0.24. Пятно же 2d в случае Fe II — при 0.76, в случае Ti II — при 0.88 и в случае Cr II — при 0.77, т. е. каждый элемент в выделенных Д. Пайпер пятнах ведет себя по-своему. Ошибка в определении момента прохождения через меридиан составляет 0.005—0.010 периода.

По разнице в моментах прохождения пятен через центральный меридиан и по различию в лучевых скоростях в моменты их появления и исчезновения можно определить эффективные размеры пятен и координаты их центров тяжести на поверхности звезды. Например, различие в фазах прохождения Cr II и Ti II в случае пятна 2a составляет 0.09, поэтому (поскольку 0.01 соответствует  $3.6^\circ$ ) центры тяжести для Cr II и Ti II в случае пятна 2a сдвинуты относительно друг друга на  $30^\circ$ . В случае пятна 2d сдвиг равен  $40^\circ$ . Широты центров тяжести для Cr II и Ti II (пятно 2a) равны  $+32^\circ$  и  $+10^\circ$  соответственно. Эффективные размеры пятна 2a по Cr II составляют  $100^\circ$ , а по Ti II —  $40^\circ$ .

## § 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного нами анализа изменений с фазой величин  $W$ ,  $R_0$  и  $\Delta\lambda$  для линий в спектре  $\alpha^2$  CVn, с привлечением данных о лучевых скоростях и напряженностях магнитного поля из [6, 7], выяснилось, что картина распределения химических элементов по поверхности этой звезды оказывается много более сложной, чем это представлялось до сих пор [7].

Основные выводы из выполненной работы можно сформулировать следующим образом.

1. Редкоземельные элементы имеют различную степень концентрации к отрицательному магнитному полюсу звезды, при этом области концентрации ряда элементов, например Pr II и Gd II, не являются осесимметричными по отношению к полюсу. В общем степень концентрации редкоземельных элементов в отрицательном магнитном полушарии в десятки раз больше, чем в положительном.

2. Ионы кальция, по всей вероятности, располагаются на поверхности звезды в кольцевых зонах вокруг магнитных полюсов. Радиусы этих колец составляют примерно  $70^\circ$ ; другими словами, кальций концентрируется в виде двух колец на магнитных широтах  $\pm 20^\circ$ .

3. Области, занимаемые кремнием и магнием, охватывают значительную долю поверхности звезды с относительно слабой концентрацией к положительному магнитному полюсу.

4. Элементы «железного пика» (Cr, Fe, Ti и др.) сосредоточены по крайней мере в четырех относительно небольших областях вдоль магнитного экватора. Эффективные размеры этих пятен по магнитной долготе порядка  $40 \div 80^\circ$ , по магнитной широте —  $20 \div 50^\circ$ . Области, занимаемые этими элементами, не совпадают полностью, различаясь не только по своим размерам, но и по относительному расположению на поверхности звезды.

5. Интенсивности, центральные глубины и ширины водородных линий подвержены синхронным изменениям с фазой. В кривых изменения этих параметров в течение периода имеются два максимума и два минимума. Физическая причина этих изменений остается не вполне ясной.

Мы предполагаем провести дальнейшее изучение и уточнение распределения атомов различных химических элементов на поверхности  $\alpha^2$  CVn,

определение в количественном виде степени концентрации элементов (химического состава), а также физических условий в пятнах.

Авторы выражают глубокую признательность А. И. Леушиной и О. А. Петрову за помощь в обработке регистрограмм и оформлении рисунков к статье.

#### Литература

1. Р. Н. Кумайгородская, *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 2, 26, 1970.
2. G. R. Burbidge, E. M. Burbidge, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 1, 431, 1955.
3. A. J. Deutsch, *Publ. astr. Soc. Pacific*, 68, 92, 1956.
4. Г. У. Бэбкок, *Звездные атмосферы*. ИЛ, М., 1963.
5. H. W. Babcock, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 3, 141, 1958.
6. O. Struve, P. Swings, *Astrophys. J.*, 98, 361, 1943.
7. D. M. Purer, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, 18, 347, 1969.

Декабрь 1970 г.