

**О ХАРАКТЕРЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВОДОРОДНЫХ ЛИНИЙ
В СПЕКТРАХ МАГНИТНЫХ ПЕКУЛЯРНЫХ ЗВЕЗД. III. 73 Dra
и HD 184905**

Р. Н. Кумайгородская, Н. М. Чунакова

Изучен характер переменности водородного спектра и линии К ионизованного кальция в течение периода для пекулярных магнитных звезд 73 Dra и HD 184905 по спектрограммам с дисперсией 29 Å/мм. Построены соотношения между эквивалентными ширинами W_λ водородных линий, линии KCa II и напряженностью магнитного поля H_e (для 73 Dra) и показателем цвета (B—V), которые имеют сложный характер.

The variability character of hydrogen spectrum and K-line of ionised calcium during a period is studied for the peculiar magnetic stars 73 Dra and HD 184905 from spectrograms with a dispersion of 29 Å/mm. Relations are constructed between the equivalent widths, W_λ , of hydrogen lines, KCa II-line and the magnetic field intensity H_e (for 73 Dra) and the color indice (B—V), which have a complex character.

Исследуя переменность интенсивностей водородных линий в спектрах магнитных пекулярных звезд, важно выявить закономерности в характере их поведения в течение периода у звезд различных спектральных классов и типов пекулярности. Представляет также интерес исследование соотношений между интенсивностями водородных линий и линий других элементов (например, определяющих пекулярность звезды либо имеющих общность в механизмах образования) и такими характеристиками атмосфер звезд, как магнитное поле, эффективная температура, эффективное ускорение силы тяжести и др. Как уже упоминалось в [1], нами начаты исследования водородных линий у ряда магнитных звезд различных типов пекулярности. В настоящей работе приведены результаты спектрофотометрического исследования спектрально-переменной звезды 73 Dra и пекулярной звезды HD 184905, которую мы уже изучали раньше [1].

Для обеих звезд спектральный материал был получен в 1974—1975 гг. на спектрографе UAGS телескопа Цейсс-600 с дисперсией 29 Å/мм; спектральная область 3900—4900 Å, эмульсия Kodak 103 аО. Обработка спектрограмм после предварительного их оцифрования проводилась на ЭВМ «Электроника-100И» по программе «Линия», составленной Ю. Ф. Антроповым. Сравнение результатов машинной и «ручной» обработок дало хорошее согласие (рис. 1). Для оценки фотометрической ошибки мы об-

ТАБЛИЦА 1

ID	Фаза	ID	Фаза	ID	Фаза	ID	Фаза
2442359.231	0 ^o 09	591.428	0 ^o 54	565.503	0 ^o 26	644.439	0 ^o 15
360.226	0.14	593.288	0.63	566.496	0.31	650.347	0.44
361.218	0.18	611.497	0.53	567.490	0.36	651.394	0.50
362.312	0.24	616.474	0.77	568.491	0.41	652.387	0.55
564.517	0.21	618.349	0.87	590.303	0.48	653.333	0.59

работали аналогичным образом три спектрограммы стандартной звезды γ CrB (AO V). Среднеквадратичная ошибка одного измерения для W_λ (H_γ), W_λ (H_δ) составляет 1.6 \AA (рис. 2) при $W_\lambda \approx 13 \div 20 \text{ \AA}$.

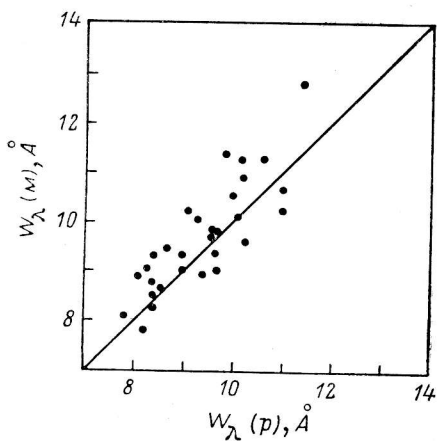


Рис. 1. Сравнение эквивалентных ширины W_λ водородных линий, полученных в результате машинной (М) и «ручной» (Р) обработки для HD 184905.

73 Dra (A2p, SrCrEu). Магнитная пекулярная звезда 73 Dra исследовалась многими авторами [2—8], но полученные результаты об изменении интенсивностей линий и напряженности магнитного поля носят противоречивый характер. Возможно, спектрально-переменной звезде 73 Dra свойственны долговременные изменения, так как Бэбкок, наблюдавший ее с 1951 по 1957 г., отметил, что изменения интенсивностей спектральных линий не так сильны, как наблюдал Морган в 1930 г. [2] и Дархэм в 1933 г. [3]. Далее, по данным Садакана, интенсивности водородных линий не меняются в течение периода [9], а согласно [8] и [10], изменения имеют место. Поэтому дальнейшее изучение этой звезды представляет интерес.

Располагая спектральным материалом с дисперсией 29 \AA/мм , приемлемой для изучения таких сильных линий, какими являются линии водорода у звезд спектрального класса АО, мы основное внимание уде-

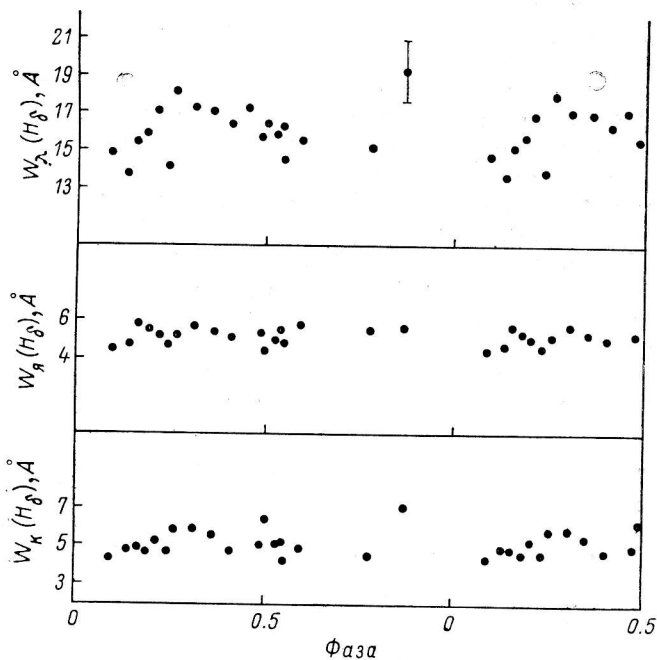


Рис. 2. Изменение W_λ (H_δ), W_α (H_δ) и W_k (H_δ) в течение периода в спектре 73 Dra (29 \AA/мм).

лили изучению переменности водородных линий и линии К ионизованного кальция, хотя спектр 73 Dra очень богат и линиями других металлов. Фазы периода для полученных нами 20 спектрограмм звезды

определены по элементам, данным в [6]: ID (максимум Eu II) = ID 2426 907.6 + 20°2754E и приведены в табл. 1.

Изучены изменения в течение периода различных параметров водородных линий H_γ — H_β (W_λ , W_κ , W_α , $\Delta\lambda$, R_c) [1]. Наибольшие изменения

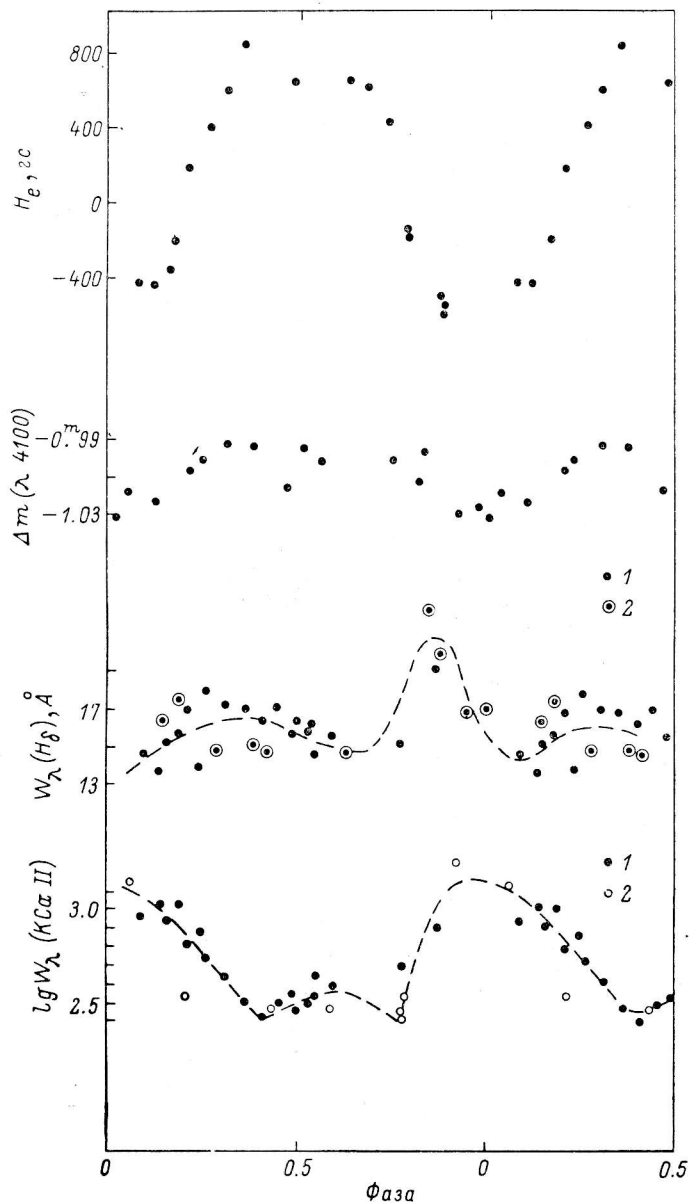


Рис. 3. Изменение в течение периода напряженности магнитного поля H_e [6], блеска Δm [5], W_λ (H_β).

1 — настоящее исследование, 2 — по данным [8] ($35 \text{ \AA}/\text{мм}$) и $\lg W_\lambda$ (K Ca II) (1 — настоящее исследование, 2 — [9] для 73 Drg).

наблюдаются у W_λ и W_κ водородных линий (рис. 2), $\Delta\lambda$ показывают большой разброс, а R_c изменяется со значительно меньшей амплитудой.

Сравнительное изучение изменений в ядрах (W_α) и крыльях (W_κ) водородных линий показывает, что у 73 Drg изменения в крыльях несколько больше (рис. 2), как и было установлено в [11], но такое заключение противоречит выводам [10].

К сожалению, недостаточно спектрограмм получено вблизи фаз максимальной интенсивности водородных линий. Поэтому, чтобы более уверенно проследить характер изменения интенсивностей водородных линий в течение периода для 73 Dra, мы воспользовались данными из работы [8], учтя систематическое различие в W_λ , связанное с разной дисперсией наблюдательного материала. Характер переменности интенсивностей водородных линий в спектре 73 Dra такой (рис. 3): двойная волна с различающимися по величине амплитудами (в ~ 1.5 раза).

Спектр 73 Dra замечателен еще и тем, что вблизи фаз максимальной напряженности отрицательного магнитного поля ($\sim 0^p 0$) интенсивность линии KCa II очень сильно увеличивается из-за появления, в частности, широких протяженных крыльев (рис. 4). О наличии крыльев у линии KCa II в спектре 73 Dra упоминали еще Белау [4] и Садакана [9], причем

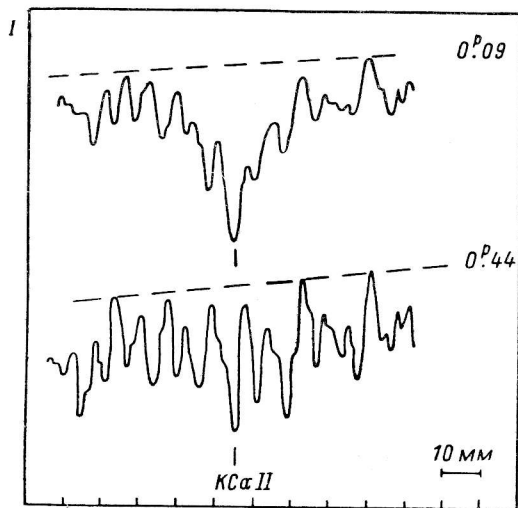


Рис. 4. Запись в интенсивностях спектрального участка с линией KCa II для различных фаз периода 73 Dra.

последний попытался объяснить поведение линии KCa II в течение периода. Реальность крыльев у линии KCa II вблизи некоторых фаз не вызывает сомнения, так как у многих пекулярных звезд линия KCa II имеет водородоподобную форму (узкое ядро и широкие протяженные крылья).

Было интересно выяснить влияние интенсивностей линий различных элементов, находящихся в крыльях линии KCa II, на интенсивность самой линии KCa II в тех случаях, когда наблюдаются крылья. Для этого мы провели детальное изучение поведения интенсивности линий различных элементов, находящихся в крыльях линии KCa II, и интенсивности линий этих же или подобных элементов в других участках спектра. Ниже приводится список этих линий:

Область линии K Ca II	Другие участки
3925.96 Fe I (Tb II)	4233.17 Fe II (Cr II, Pr II)
27.90 Fe I (Pr II)	35.94 Fe I (Gd II)
30.30 Eu II (Fe I)	41.10 Gd II (Pr II)
35.94 Fe II (Pr II)	51.73 Gd II (Mn II, Sm II)
38.30 Fe II (Pr II)	71.76 Fe I (Pr II)
40.90 Fe I (Eu II)	

Эквивалентные ширины W_λ линий в области крыльев линий KCa II получались двумя способами: обычным методом и когда за уровень не-

прерывного спектра принимались крылья линии КСа II. Интенсивности линий в крыльях КСа II, определенные обоими способами, и интенсивности линий в других участках спектра изменяются синхронно с интенсивностями самой линии К и ее центральной части, т. е. ядра линии. Синхронность в изменениях интенсивностей крыльев КСа II и линий в крыльях может привести к некоторому увеличению интенсивности крыльев, но оно будет очень незначительным по сравнению с теми изменениями интенсивности линии К, которые имеют место.

Таким образом, подтверждается сильное (в ~ 5 раз) изменение W_λ (КСа II) в спектре 73 Drg (рис. 3). Характер изменения такой, что кроме основного максимума интенсивности, приходящегося на фазу $0^\circ 0$, наблюдается еще слабый вторичный максимум при фазе $\sim 0^\circ 5$, который достаточно четко просматривается в изменениях W_λ и $\Delta\lambda$.

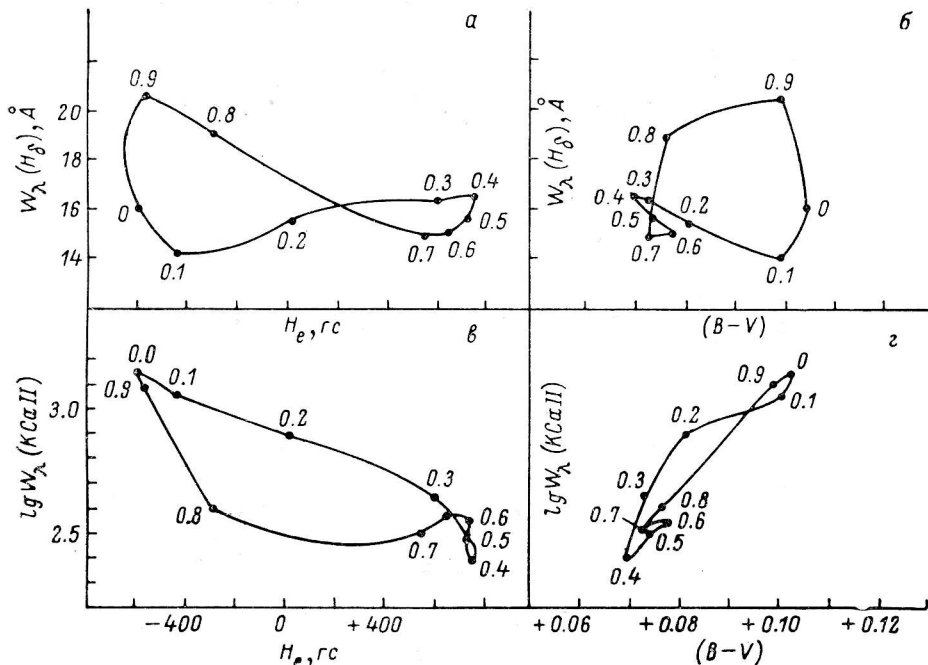


Рис. 5. Взаимосвязи между $W_\lambda(H_\delta)$ и H_e (а); $W_\lambda(H_\delta)$ и $(B-V)$ (б); $W_\lambda(KCaII)$ и H_e (в); $W_\lambda(KCaII)$ и $(B-V)$ Сг для 73 Drg (г).

Цифрами на кривых указаны фазы в долях периода.

Появление или исчезновение крыльев у линии К при некоторых фазах в спектре 73 Drg можно объяснить следующим образом. Возможно, та часть поверхности звезды, которая соответствует фазам, близким к $0^\circ 0$, по физическим условиям ближе к поверхности нормальной звезды. Дело в том, что в спектрах нормальных звезд примерно такого же спектрального класса, как 73 Drg и позднее, у линии КСа II уже появляются крылья. На участках же поверхности звезды, которым соответствуют фазы, когда крылья у линии К отсутствуют, могут иметь место отклонения от LTE, при которых даже небольшое увеличение температуры может привести к сильнейшей ионизации и уменьшению числа поглощающих атомов [12, 13].

Но можно предложить и другие объяснения, связанные с сильным увеличением содержания кальция в некоторой области (вблизи фазы $0^\circ 0$, когда появляются крылья у линии К).

Теоретические расчеты локальных контуров, проведенные в САО АН СССР В. В. Соколовым, показывают, что с увеличением со-

держания кальция у линии К появляются крылья. Поскольку наблюдения дают интегральные контуры, необходимо учитывать и размеры областей, занимаемых кальцием.

Интересно провести сопоставление между W_λ (H_δ), W_λ ($KCa II$), с одной стороны, и, например, напряженностью магнитного поля и показателем цвета ($B-V$) — с другой. Как видно из рис. 5, взаимосвязь между указанными характеристиками имеет очень сложный характер. Так, одному и тому же значению напряженности магнитного поля могут соответствовать разные значения эквивалентной ширины линий водорода или кальция. Кривые, определяющие эти зависимости, могут быть «открытыми» либо с одним или двумя узлами. Очевидно, корреляции в простой форме (прямой или обратной) между рассмотренными параметрами

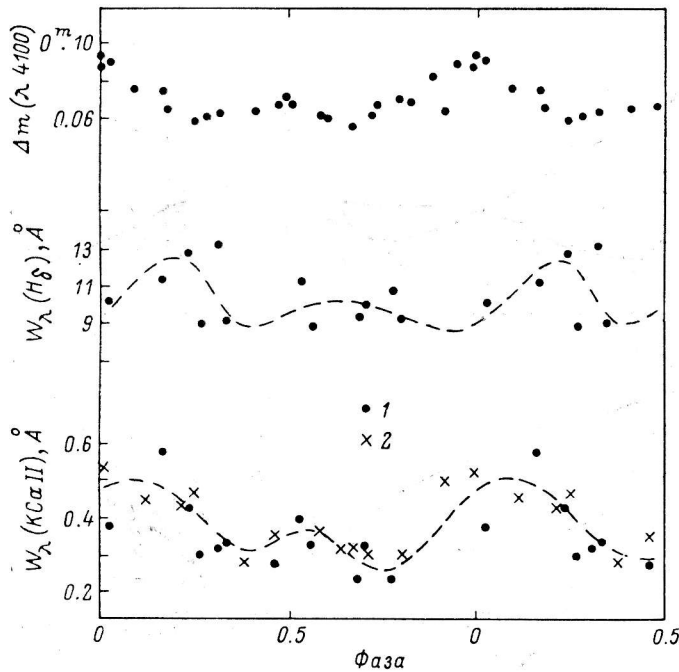


Рис. 6. Изменение в течение периода блеска Δm [16], W_λ (H_δ) и W_λ ($KCa II$).
1 — настоящее исследование, 2 — [1] для HD 184905.

и нельзя ожидать из-за ряда взаимосвязанных факторов, как физических, так и геометрических, несомненно имеющих место в атмосфере звезды. Не исключено, что на отдельных участках поверхности такая корреляция и существует, и в целом она лучше всего выявляется только в случае [lg W_λ ($KCa II$), ($B-V$)].

Как видно из рис. 5, появление или исчезновение крыльев у линии К можно объяснить температурным эффектом: при фазе 0°0 температура меньше, чем при фазе 0°5, а крылья больше, что и следовало ожидать. Но нельзя исключать и влияние изменения содержания кальция. По-видимому, оба эффекта приводят к изменению интенсивности линии $KCa II$, особенно ее крыльев.

HD 184905 (AOp, SiCrSr). Эта спектрально-переменная звезда количественно изучена нами в [1] с использованием сравнительно небольшого спектрального материала (16 спектрограмм). Результаты Райса [14] также основаны на недостаточном количестве спектрограмм. Поэтому мы получили дополнительно 13 спектрограмм HD 184905 с целью подтверждения и уточнения характера периодической переменности, особенно линий водорода.

Вопрос о периоде для этой звезды до сих пор остается открытым. Фотоэлектрические наблюдения [15] дают значение периода $1^d845031$, в то время как изменения интенсивности водородных линий в отличие от интенсивностей линий других элементов, например линии КСа II, лучше удовлетворяют периоду $P=2^d1701$ [14]. Однако следует отметить, что как для $P=1^d845031$, так и для $P=2^d1701$ переменность происходит с двойной волной различной амплитуды.

Фазы рассчитывались нами по элементам, представленным в [16] (максимум блеска = $ID\ 2440\ 829.81 + 1^d845031\ E$):

ID	Фаза	ID	Фаза	ID	Фаза	ID	Фаза
2442564.406	0P16	618.467	0P46	2442568.377	0P31	646.330	0P56
565.393	0.69	644.429	0.53	616.382	0.33	651.296	0.79
566.386	0.23	648.387	0.68			652.288	0.26
567.378	0.77	645.321	0.02				

Характер изменения W_λ , $\Delta\lambda$ и R_c водородных линий $H_\gamma-H_g$ одинаковый, но R_c изменяются с меньшей амплитудой. На рис. 6 приведены изменения $W_\lambda(H_\delta)$ с периодом $1^d845031$. Но поскольку изменения интенсивности водородных линий лучше удовлетворяют периоду $P=2^d1701$, как это следует из [1, 14] (меньше разброс точек и более четко выделяется вторичный максимум), мы построили сводную кривую

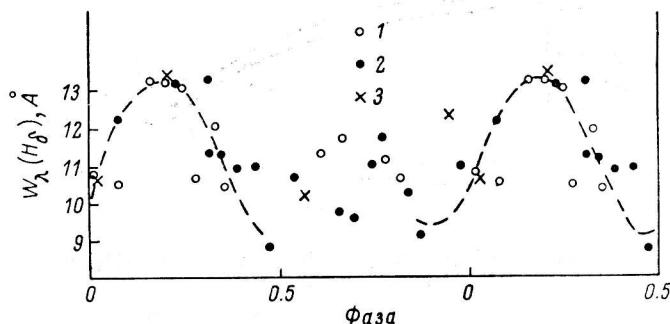


Рис. 7. Сводная кривая изменения в течение периода $P=2^d1701$ $W_\lambda(H_\delta)$.
1 — настоящее исследование; 2 — $15\ \text{\AA}/\text{мм}$ [1]; 3 — $15.4\ \text{\AA}/\text{мм}$ [14].

изменения $W_\lambda(H_\delta)$ в течение периода 2^d1701 (рис. 7), используя результаты [1] (дисперсия $15\ \text{\AA}/\text{мм}$), [14] (дисперсия $15.4\ \text{\AA}/\text{мм}$) и настоящего исследования ($29\ \text{\AA}/\text{мм}$), с учетом систематического различия за счет разных дисперсий. Как видно из рис. 7, результаты, полученные по материалам с различной дисперсией, согласуются довольно хорошо как по фазе главного максимума, так и по его амплитуде. Не исключено, что некоторый разброс при фазах 0P65 и 0P95 может быть связан с короткопериодической переменностью или же с ошибками измерений.

Таким образом, характер переменности интенсивностей водородных линий в спектре HD 184905 подтвержден и уточнен на более обширном материале: двойная волна в течение периода с различающимися в ~ 1.5 раза по амплитуде максимумами. Амплитуда изменения $W_\lambda(H_\delta)$ и других водородных линий составляет в главном максимуме $\sim 40\%$ и приходится на фазу 0P15—0P20, а вторичного — на фазу 0P65—0P70. Кроме водородных линий мы исследовали линию КСа II для уточнения

характера поведения ее интенсивности в течение периода. На рис. 6 приведены изменения W_λ (КСа II) с использованием результатов настоящего исследования и из [1] (дисперсия 15 Å/мм) для периода $P=1^d845031$, так как ему лучше удовлетворяют изменения интенсивности линии ионизованного кальция. Таким образом, интенсивность линии КСа II изменяется с двойной волной в течение периода с различающимися (в ~ 2 раза) по величине амплитудами.

Для HD 184905 нет количественных оценок величины магнитного поля (из-за широких линий в спектре), поэтому мы сопоставили между собой

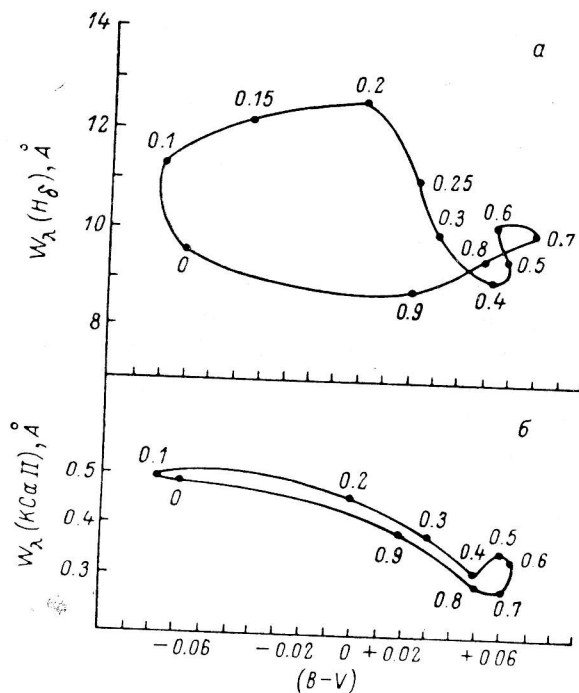


Рис. 8. Взаимосвязь между W_λ (H_δ) и $(B-V)$ (а) и W_λ (КСа II) и $(B-V)$ (б) для HD 184905 ($P=1^d845031$).

Цифрами на кривых указаны фазы в долях периода.

W_λ (H_δ и КСа II) и цветовые характеристики звезды $(B-V)$ и $(U-B)$ из [17]. Зависимости получились очень сложные, как и в случае 73 Dra (рис. 8). Наиболее простой вид зависимости между W_λ (КСа II) и $(B-V)$.

Анализ всех рассмотренных выше зависимостей для обеих звезд свидетельствует о различии физических условий и структуры атмосферы при переходе от одного участка поверхности к другому.

Трудно судить по одной звезде (73 Dra) о влиянии магнитного поля на интенсивности водородных и других линий, учитывая сложный характер зависимости между ними. Очевидно, необходимо располагать соответствующими данными для возможно большего числа звезд.

Список литературы

1. К у м а й г о р о д с к а я Р. Н., Ч у н а к о в а Н. М. О характере изменения водородных линий в спектрах магнитных и пекулярных звезд. II. Спектрофотометрическое исследование HD 184905. — *Астрофиз. исслед.* (Изв. САО), 1975, 8, с. 3—12.
2. M o r g a n W. W. A study of the spectrum variable 73 Dra. — *Astrophys. J.*, 1933, 77, p. 77—102.
3. D u r h a m G. E. The spectrum variable 73 Draconis. — *Astrophys. J.*, 1943, 98, p. 504—506.

4. Wehlau W. H. The variable K-line of 73 Dra. — *Astron. J.*, 1960, 65, p. 58.
 5. Stepien K. Light variations of 73 Dra. — *Astrophys. J.*, 1968, 153, p. 165—168.
 6. Preston G. W. The magnetic, spectrum, and radial velocity variations of 73 Dra. — *Astrophys. J.*, 1967, 150, p. 871—876.
 7. Wood H. Balmer line strengths in two Ap stars: EUMA and 73 Dra. — *Astron. Soc. of Pacific*, 1964, 76, p. 158—164.
 8. Farragiana R., Hack M. Peculiar A stars: study of 73 Dra. — *Mem. Soc. Astron. Ital.*, 1962, 33, p. 309—330.
 9. Sadakane K. Variable K line profile of 73 Dra. — *Publ. Astron. Soc. Japan*, 1974, 26, p. 93—102.
 10. Полосухина Н. С., Додонов С. Н. Анализ спектральной переменности Ар-звезды 73 Dra. I ч. — *Изв. Крымск. астрофиз. обс.*, 1977, 57, с. 19—30.
 11. Bonausk W. K., Markowitz A. H. Spectrum variations in the peculiar A star 73 Dra. — *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1967, 79, p. 235—254.
 12. Bazylo M. The effect of progressive sound waves on absorption coefficient. I. Ca II K line with Doppler profile in atom's frame. — *Acta Astron.*, 1977, 27, p. 23—34.
 13. Aller L. H. A-type stars with abnormal spectra. — *Astrophys. J.*, 1947, 106, p. 76—85.
 14. Rice J. B. A radial-velocity study of the Ap star HD 184905. — *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 1976, 88, p. 940—943.
 15. Schöneich W., Hildebrandt G., Fürtig W. Investigation of the light variation of twelve Ap stars in the spectral regions. — *Astron. Nachr.*, 1976, 297, p. 39—58.
 16. Hildebrandt G. Photoelectric investigation of the four Ap stars HD 9531, HD 10224, HD 27309 and HD 194905. — *Astron. Nachr.*, 1975, 296, p. 277—280.
-