

АКАДЕМИЯ НАУК АРМЯНСКОЙ ССР

АСТРОФИЗИКА

ТОМ 9

МАЙ, 1973

ВЫПУСК 2

КОНТУРЫ ЭМИССИОННОЙ ЛИНИИ ВОДОРОДА H_2 В СПЕКТРАХ НЕПРАВИЛЬНЫХ ПЕРЕМЕННЫХ ЗВЕЗД

Г. В. ЗЛЙЦЕВА, Е. А. КОЛОТИЛОВ

Поступила 18 декабря 1972

Пересмотрена 10 апреля 1973

Определены контуры H_2 -эмиссии для 22 неправильных переменных звезд. Наблюдения проведены со спектрографом и ЭОП, установленными на 125-см рефлекторе (дисперсия 20 А/мм). Характер контуров указывает на газовую оболочку как источник H_2 -эмиссии. Предполагается, что все изученные звезды родственны в этом отношении, несмотря на разнообразие их спектральных типов (от В до М) и светимостей. Контуров, по-видимому, определяются полем скоростей, причем движения в оболочках разнообразны: вращение, расширение и сжатие. Обнаружены быстрые изменения контуров у переменных BN Ori, UX Ori, VX Cas и WW Vul.

Изучение контуров эмиссионных линий в спектрах звезд дает большую информацию о физическом состоянии и характере движения их оболочек. У некоторых звезд типа Т Тау контуры ярких линий изучались Кухи [1, 2]. Он пришел к выводу о наличии расширяющихся оболочек и оценил скорость потери массы у этих звезд. Контуров эмиссионной линии H_2 у восьми звезд, связанных с туманностями, исследовались Дибаяем и Есиповым [3, 4], которые отметили более сложный характер движений и, в частности, наличие вращательных движений в оболочках. Уокер [5, 6] обнаружил у некоторых орионовых переменных процесс движения окружающего вещества к звезде. По наблюдениям эмиссионных линий у переменных звезд в туманности Ориона и скоплении NGC 2264 он оценил скорость выпадения вещества на звезду, отметил быстрые изменения эмиссионного спектра. Авторами [7] сообщалось о довольно быстрых изменениях контура H_2 -эмиссии у трех неправильных переменных звезд.

В декабре 1971 г. — мае 1972 г. и в сентябре 1972 г. нами были проведены спектральные наблюдения области H_2 у 22 неправильных

переменных звезд с целью получения контуров линии. В программу наблюдений были включены звезды из работы [3] для выяснения возможной переменности контуров. В программу вошли также неправильные переменные звезды, для которых в последнее время на Крымской станции ГАИШ проводились фотовольтрические UVV наблюдения [8, 9]—это звезды типа Т Тау, орионовы переменные и звезды, не имеющие заметной связи с туманностями. Большинство звезд программы были известны как H_2 -эмиссионные по работам Джоя [10], Хербига [11—13] и др. О наличии эмиссии в линии водорода H_2 у звезд VX Cas, ВН Сер, ВО Сер и SV Сер впервые было сообщено в [14].

Наблюдения и методика обработки. Данные о наблюдательном материале приведены в табл. 1. Все спектральные наблюдения были проведены на 125-см рефлекторе Крымской станции ГАИШ с помощью установленного в касегреновском фокусе дифракционного спектрографа (решетка 1200 штрих/мм). Приемником излучения служил контактный ЭОП с мультищелочным фотокатодом. Дисперсия спектрограмм 20 А/мм, спектральное разрешение 1 А или 45 км/сек. Фотографирование велось на предварительно подсвеченной эмульсии Kodak 103а-D, в качестве спектра сравнения впечатывался спектр неоновой лампы. Все спектры звезд расширялись в пределах 0.2—0.5 мм, диапазон экспозиций составлял от 6 до 75 мин.

Спектрограммы были записаны в плотностях с увеличением в 50 раз на микрофотометре МФ-4 с фотоумножителем. Наблюдаемые контуры выражены в единицах интенсивности непрерывного спектра. У ряда звезд обнаружено изменение контура линии со временем, переменные контуры приводятся отдельно для каждой даты наблюдений. В остальных случаях приводится контур, осредненный по всем спектрограммам данной звезды. Точность построения контура оценивалась по линии поглощения H_2 стандартной звезды спектрального типа В0 (по нескольким спектрограммам) и составляет 0.03 единицы непрерывного спектра. Ширина инструментального контура, измеренная по линиям спектра неона, равна ~ 2.4 А или ~ 110 км/сек. Длины волн измерялись относительно линий неона по регистрограммам и, в некоторых случаях, на однокоординатном станке МИР-4 (цена одного деления шкалы—0.01 мм), во все измерения введена поправка за орбитальное движение Земли.

В некоторые ночи параллельно спектральным наблюдениям делались фотовольтрические оценки блеска звезды. UVV-наблюдения проводились на 60-см рефлекторе с помощью автоматического электрофотометра [16].

Таблица 1

Звезда	Звездная вдлщина (max—min)	Спектр	Тип пере- менности	Даты получения спектрограмм
VX Cas	10.7—13.3	A0	Is	29—30.XII. 71. 4—5.I, 1—2.II, 13—14.II. 3—4.III. 72
RY Tau	9.3—12.3	dF8e—dG2e	InT	11—12.XII, 11—12.XII, 14— —15.XII. 71
T Tau	9.6—13.5	dG5e	InT	11—12.XII, 11—12.XII, 15— —16.XII. 71
DF Tau	11.7—15.0	dM0e	InT	4—5.I, 5—6.I, 29—30.I, 1—2.II 72
DG Tau	11.8—14.9	dGe	InT	5—6.I, 8—9.I, 1—2.II. 72
AB Aur	7.2— 8.4	B9eIV—V	Ina	11—12.XII, 15—16.XII, 29— 30.XII. 71
SU Aur	9.7—11.3	G2ne III	Ins	11—12.XII, 15—16.XII. 71
UX Ori	8.7—12.8	A3e	Isa	15—16.XII, 29—30.XII. 71; 13— —14.II, 3—4.III, 7—8.III, 13— —14.III. 72
RW Aur	9.6—13.6	dG5e	IsT	5—6.I, 8—9.I, 29—30.I, 31,I— —1.II. 72
BN Ori	9.0—13.7	pec (A+F8)	Inas	15—16.XII. 71; 4—5.I, 8—9.I, 29—30.I, 31.I—1.II, 1—2.II, 9—10.II, 7—8.72
V 380 Ori	9.8—10.5	B8—A2e	InT	14—15.XII, 15—16.XII. 71
RR Tau	10.2—14.2	A2e II—III	Inas	10—11.II, 7—8.III. 72
FU Ori	9.7—16.5	F2:p I—II		14—15.III. 72
LK H ₂ 215	10.6	Be+shell		15—16.XII. 71
R Mon	11.3—13.8	A+Fpe*	Ina*	13—14.III, 20—21.III. 72
Z CMa	8.8—11.2	pec	Ina	14—15.XII, 15—16.XII. 71
XX Oph	9.1—11.1	Be _p	Ia	24—25.V, 27—28.V, 27—28.V, 27—28.V. 72
WW Vul	10.9—12.6	A3e	Isa	12—13.III, 13—14.III, 21—22.IX, 27—28.IX, 29—30.IX. 72
BD+40°4124	10.5	Be		4—5.I. 72
BH Cep	11.5—12.7	F5 IV	Is	22—23.V, 29—30.V. 72
BO Cep	12.4—13.7	F2:	Ins	22—23.V, 28—29.V, 29—30.V, 29—30.V. 72
SV Cep	10.1—12.1	A0	Is	24—25.V, 28—29.V. 72

Примечание. Для всех звезд данные взяты из ОКПЭ [15], а для Lk H₂ 215 и BD+40°4124—из [13].

Характеристики наблюдаемых контуров эмиссионной линии H_{α} .
 Большинство наблюдавшихся звезд имеет эмиссионную линию H_{α} , разделенную линией поглощения на два компонента, эти контуры приводятся на рис. 1—3.

Для двухкомпонентных контуров измерялось отношение V/R центральных интенсивностей фиолетового V и красного R компонентов, смещение максимума абсорбции оболочки $v_{\text{абсорб.}}$ в км/сек, эквивалентная ширина W_{λ} эмиссии в \AA , полная ширина эмиссионной линии $\Delta\lambda$ в \AA на уровне непрерывного спектра. Для ряда звезд результаты измерений собраны в табл. 2. Ввиду большой интенсивности линии H_{α} для звезды BD+40°4124 мы не смогли построить ее контур. Однако на спектрограмме линия выглядит двухкомпонентной, красный компонент сильнее фиолетового. Согласно [17], подобный вид имеют остальные водородные линии у этой звезды.

Таблица 2

Звезда	$v_{\text{абсорб.}}$ (км/сек)	$v_{\text{эмис.}}$ (км/сек)	W_{λ} (\AA)	V/R	$\Delta\lambda$ (\AA)
Lk H_{α} 215	0		20	1.2	26
DG Tau	-140		35	0.16	21
DF Tau	-90		26	0.50	19
XX Oph	-450		70	0.03	42
RW Aur	-55		56	0.50	30
RR Tau	0		20	0.86	20
R Mon	-110		54	0.36	34
RY Tau	-90		19	0.53	22
SU Aur	-50 ÷ -90		1.9 ÷ 3	0.87 ÷ 0.44	15
SU Cep	0		18 ÷ 21	1.9 ÷ 1.8	20
BH Cep	-55 ÷ -110		2.6 ÷ 3	0.58 ÷ 0.7	16 ÷ 17
BD+40°4124	-60			<1	
VX Cas	-15 ÷ +40		6.5 ÷ 11.5	0.80 ÷ 2.00	17 ÷ 19
AB Aur		+70	11		16
V380 Ori		0	55		19
T Tau		0	22		16
BO Cep		-45	4.5		12
Z CMa	-570	0	эм.7, абс.9		
FU Ori	-230	0	эм.0.5, абс.3.5		

Для звезд SU Aur, SV Cep и BH Cep получены по две спектрограммы, и они показывают небольшие изменения контура линии со временем. На рис. 1 для этих звезд приводится только по одному

контуру, а в табл. 2 указаны пределы изменения соответствующих величин. У-SV Cep наблюдаемый контур состоит из широкой линии поглощения звезды и эмиссионной линии оболочки. Излучение оболочки выделялось по формуле $I_{обол.} = I_{набл.} - I_{звезды}$, где $I_{обол.}$, $I_{звезды}$ и $I_{набл.}$, соответственно, интенсивности излучения оболочки, звезды и наблюдаемая интенсивность.

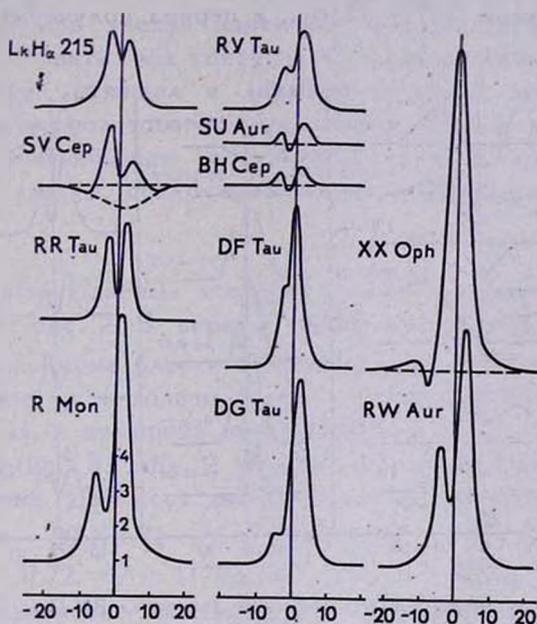


Рис. 1. Двухкомпонентные контуры H α -эмиссии для ряда неправильных переменных звезд. Контур выражены в единицах интенсивности непрерывного спектра, по оси абсцисс отложены $\pm\Delta\lambda$ в ангстремах. Масштаб шкалы интенсивностей одинаков для всех контуров (указан для R Mon).

У четырех звезд удалось проследить за изменениями контура линии H α со временем более подробно.

BN Ori. На рис. 2 представлены контуры H α в разные даты наблюдения для звезды BN Ori. На спектрограмме, полученной 15.XII.71, линия является двухкомпонентной с $V/R \approx 1$ и $v_{абсорб.} \sim 90$ км/сек, ширина линии $\Delta\lambda \sim 40$ А. Характер дальнейших изменений контура следующий: на всех спектрограммах присутствует переменное красное крыло эмиссии, тогда как наибольшим изменениям подвержено фиолетовое крыло линии. Появляющаяся абсорбция указывает, по-видимому, на кратковременные выбросы вещества со ско-

ростью примерно $—700$ км/сек. По многолетним рядам наблюдений, собранным в [18], BN Ori свойственно долгое пребывание в максимуме блеска с незначительными колебаниями и редкие, непродолжительные ослабления блеска. Эти „бурные“ и „спокойные“ интервалы отстоят друг от друга примерно на 10^1 суток. Согласно фотозлектрическим UVV-наблюдениям этой звезды, выполняемым на Крымской станции ГАИШ, в 1967 г. и 1970 г. блеск звезды был приблизительно постоянным. Зимой 1971—72 гг., в период получения спектрограмм,

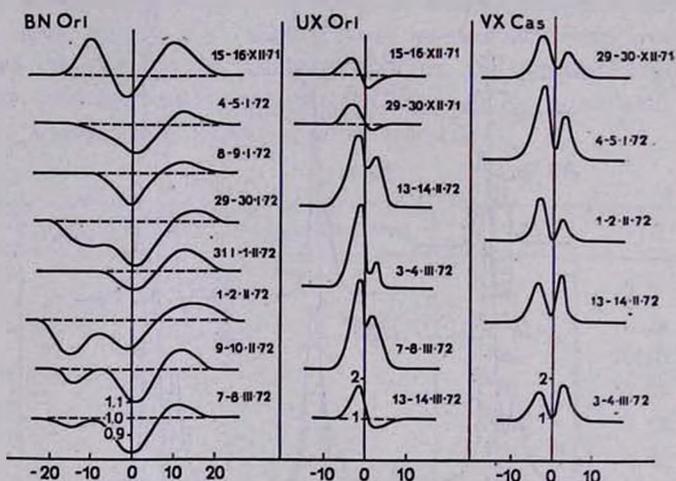


Рис. 2. Переменные контуры $H\alpha$ -эмиссии для звезд BN Ori, UX Ori и VX Cas. Контуры выражены в единицах интенсивности непрерывного спектра, по оси абсцисс отложены $\pm \Delta\lambda$ в ангстремах. Для BN Ori масштаб по оси ординат более крупный, чем для UX Ori и VX Cas, вертикальной черточкой указана ошибка построения контура.

звезда показала небольшие колебания блеска с амплитудой не более 0^m02 . Не исключено, что в ближайшие годы ожидается новый цикл активности. Наблюдаемая спектральная переменность в линии $H\alpha$ свидетельствует о небольших по масштабу явлениях в оболочке звезды.

UX Ori. Контуры линии $H\alpha$ в разные даты для звезды UX Ori приведены на рис. 2. Необходимо отметить высокую активность звезды в период спектральных наблюдений — ее блеск непрерывно колебался с амплитудой около 2^m в фильтре V. Характер изменений контура следующий: на всех спектрограммах присутствует переменный фиолетовый компонент, причем основные изменения происходят в красном

крыле линии. В трех случаях наблюдается контур „обратный Р Суг“, указывающий, по-видимому, на движение вещества к звезде. Остальные три двухкомпонентных контура характеризуются отношением $V/R > 1$ и смещением максимума абсорбции в длинноволновую область спектра. Для двух дат имеются фотовольтрические величины блеска звезды: 13.II.72 $V = 11^m8$, $(B - V) = +0^m45$, $(U - V) = +0^m38$ и 13.III.72 $V = 10^m6$, $(B - V) = +0^m41$, $(U - V) = +0^m55$. Знание величин V позволило учесть изменение интенсивности непрерывного спектра и сопоставить оба контура. С уменьшением блеска контур „обратный Р Суг“ перешел в двухкомпонентный контур, центральная интенсивность фиолетового эмиссионного компонента уменьшилась. Отметим, что исчезновение „обратного Р Суг“ контура с уменьшением яркости звезды обнаружено также Уокером [6] для звезды SU Ori.

VX Cas. Наблюдаемые контуры линии Н_α для звезды VX Cas представлены на рис. 2. В период спектральных наблюдений звезда находилась в максимуме блеска с колебаниями, достигающим до 0^m4 в фильтре V. Сильных алгоподобных ослаблений блеска, характерных для VX Cas, в это время не наблюдалось. Все контуры являются двухкомпонентными, в табл. 2 указаны пределы изменения соответствующих величин. Для двух дат имеются фотовольтрические оценки блеска звезды: 29.XII.71 $V = 11^m31$, $(B - V) = +0^m31$, $(U - V) = +0^m42$ и 1.II.72 $V = 11^m03$, $(B - V) = +0^m24$, $(U - V) = +0^m28$. После учета изменения интенсивности непрерывного спектра можно сказать следующее: при возрастании блеска отношение V/R увеличилось в основном за счет увеличения центральной интенсивности фиолетового компонента, полная интенсивность эмиссии практически не изменилась, ширина линии уменьшилась на 4 Å.

WW Vul. Для звезды WW Vul имеется пять спектрограмм (табл. 1). Контуры линии Н_α на двух весенних спектрограммах одинаковы, по спектрограмме от 21.XI.72 контур уверенно построить нельзя, но качественно он согласуется с двумя другими осенними спектрограммами. Для трех дат наблюдений в табл. 3 приводятся фотовольтрические оценки блеска звезды.

На рис. 3 представлены контуры линии Н_α для тех же дат, причем контуры построены с учетом изменения интенсивности непрерывного спектра. Измеренные характеристики контуров даны в табл. 3. С уменьшением блеска звезды можно заметить следующее: интенсивность эмиссионной линии уменьшается, абсорбция смещается в ко-

ротковолновую сторону спектра, отношение V/R стало меньше 1, тогда как ширина эмиссии изменилась незначительно.

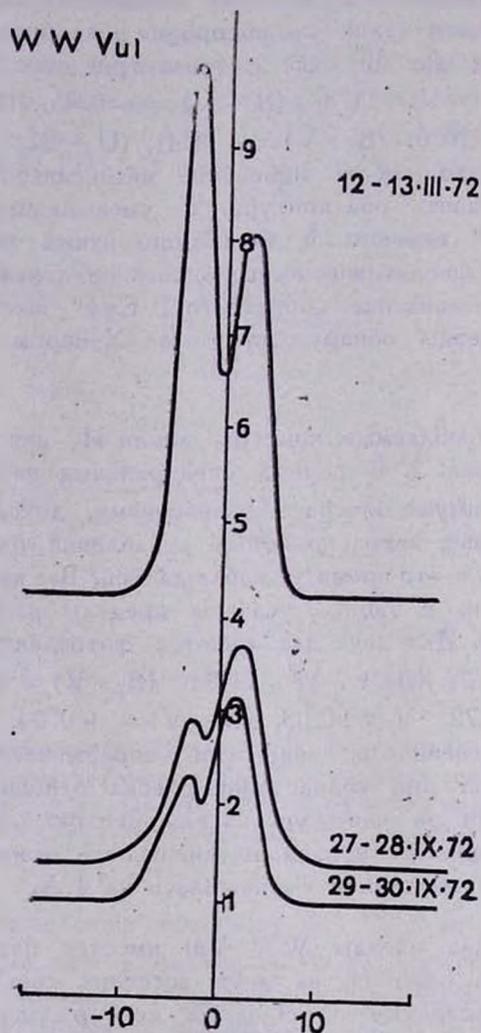


Рис. 3. Контуры H_{α} -эмиссии для звезды WW Vul, построенные с учетом изменения интенсивности непрерывного спектра. За единицу принята интенсивность непрерывного спектра, соответствующего минимальному наблюдаемому блеску звезды 29—30.IX.72. Шкала оси абсцисс аналогична рис. 1 и 2.

У нескольких из изученных нами звезд наблюдаемая линия H_{α} представляет собой одиночную эмиссию (рис. 4). Измеренные для таких контуров лучевые скорости $v_{\text{эмисс.}}$ в км/сек, W_{λ} и $\Delta\lambda$ даны в

табл. 2. У звезды BO Cep эмиссия оболочки наложена на звездную линию поглощения (ширина линии поглощения ~ 22Å), излучение оболочки выделялось так же, как и в случае SV Cep. Следует отметить здесь, что приводимые ранее Кухи [1] контуры линии Н_α для Т Тау являются двухкомпонентными. Для АВ Aur отмечалось в [19], что линия Н_α переменна, и наблюдался как однокомпонентный, так и двухкомпонентный контур эмиссии.

Таблица 3

Дата	V	B-V	U-B	V/R	$v_{\text{абсорб.}}$ (км/сек)	\mathcal{W}_λ (Å)	$\Delta\lambda$ (Å)
12.III. 72	10. ^m 60	+0. ^m 40	—	1.5	0	41	17
27.IX. 72	11.75	+0.52	+0.26	0.65	-65	20	20
29.IX. 72	12.18	+0.52	—	0.6	-80	17	19

У двух звезд линия Н_α имеет контур типа Р Суг (рис. 4), свидетельствующий о наличии расширяющейся водородной оболочки. Для звезд Z CMa и FU Ori измеренные характеристики контуров, $v_{\text{абсорб.}}$ и $v_{\text{эмис.}}$, даны в табл. 2.

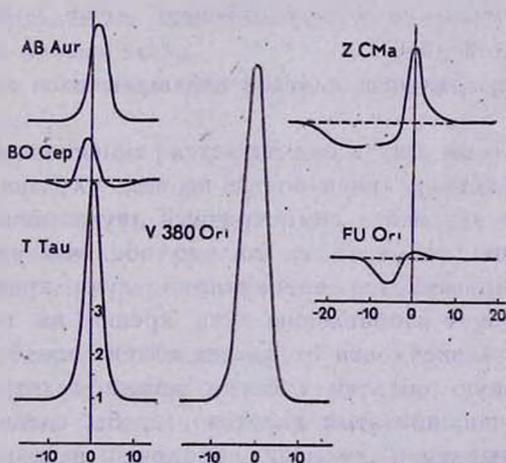


Рис. 4. Наблюдаемые в линии Н_α для некоторых неправильных переменных звезд контуры одиночной эмиссии и контуры типа Р Суг. Оси абсцисс и ординат аналогичны рис. 1. Масштаб шкалы интенсивностей одинаков для всех контуров (указан для Т Тау).

Наши наблюдения и сравнение наших наблюдений с результатами других авторов [1, 3, 7, 19] показывают, что у многих неправильных переменных звезд контур Н_α-эмиссии является переменным.

Обсуждение результатов. Наблюдавшиеся звезды по ряду признаков не являются однородной группой объектов. Согласно морфологической классификации, предложенной Холоповым [20], неправильные переменные, связанные с туманностями, называются орионовыми переменными. Среди них выделяется группа звезд типа Т Тау, обладающая характерными спектральными признаками. Имеется также группа неправильных переменных, не обнаруживающих заметной связи с туманностью. Спектры этих звезд мало отличаются от спектров нормальных звезд соответствующих спектральных классов, их показатели цвета ($U-B$) и ($B-V$) близки к показателям цвета обычных звезд главной последовательности тех же спектральных типов. Представители всех названных групп вошли в программу наблюдений.

По фотометрическому поведению звезды программы очень разнообразны. Для одних (VX Cas, SV Cep) характерны глубокие (до $1^m.5$) ослабления блеска продолжительностью в несколько дней, для других (RY Tau) такие ослабления бывают более продолжительными (50—100 дней). У ряда звезд наблюдаются „периоды спокойствия“, сменяемые бурной активностью звезды, когда блеск непрерывно изменяется на $1^m.5-2^m$ на протяжении нескольких дней (UX Ori, WW Vul). Т Тау большую часть времени показывает лишь слабые колебания блеска с амплитудой до $0^m.2$.

Диапазон спектральных классов наблюдавшихся звезд очень широк: от В до M0.

Линия H_α у всех этих звезд является эмиссионной и, как показали наблюдения, контур линии почти во всех случаях сложный. Согласно [21], более или менее симметричный двухкомпонентный контур эмиссионной линии указывает на то, что оболочка вращается и ось вращения ориентирована перпендикулярно лучу зрения (одиночная эмиссия соответствует направлению луча зрения на полюс вращающейся звезды). В зависимости от сдвига максимума абсорбции в фиолетовую или красную области спектра можно судить о расширении или сжатии оболочки, при этом для того, чтобы сделать окончательный вывод о направлении движения оболочки, надо принять во внимание лучевую скорость фотосферы звезды. К сожалению, для неправильных переменных звезд спектральных исследований с хорошей дисперсией существует очень мало, физические условия в оболочках, их размеры и форма известны тоже недостаточно хорошо. Для сравнения можно указать, что для Ве-звезд теоретические расчеты контуров эмиссионной линии H_α [22, 23] хорошо согласуются с результатами наблюдений.

При анализе сильных водородных линий излучения необходимо учитывать возможное влияние штарк-эффекта и затухания вследствие излучения. Эти вопросы требуют специального исследования, как например, проведенного в [24]. Полученные контуры линии H α (рис. 1—4) не показывают протяженных крыльев (за исключением звезд XX Орh, R Mon и RW Aur), в среднем ширина линий $\sim 20\text{Å}$ и не очень сильно изменяется у переменных линий. По-видимому, наблюдаемые контуры определяются полем скоростей в оболочках.

У наблюдавшихся звезд характер движения оболочек разнообразен — от вращения (пример Lk H α 215) до расширения (пример Z CMa) или, возможно, сжатия (пример UX Ori). В остальных случаях на наблюдаемый контур влияют, по-видимому, и вращение (в зависимости от наклона оси вращения), и расширение или сжатие оболочки. Отметим, что у всех звезд нашей программы спектральных классов позднее F, имеющих двухкомпонентный контур, максимум абсорбции смещен в фиолетовую сторону спектра и отношение V/R меньше 1.

Наблюдаемая в ряде случаев довольно быстрая переменность контуров линии H α указывает на нестационарность процессов в оболочках неправильных переменных звезд. Этот вывод следует и из проводимых параллельно спектральным наблюдениям фотоэлектрических измерений блеска звезд.

В итоге, на основании полученного материала, можно сформулировать следующее:

1. У разнородной по ряду признаков группы неправильных переменных звезд линия водорода H α является эмиссионной и имеет, как правило, сложный контур.

2. Наблюдаемые контуры линии H α свидетельствуют о сложном и разнообразном характере движений вещества в оболочках исследуемых звезд.

3. В ряде случаев обнаружена корреляция изменения контура линии H α с общим изменением блеска звезды.

В заключение авторы выражают благодарность Э. А. Дибая за постановку задачи и постоянное внимание к работе, В. Ф. Есипову за предоставление аппаратуры для спектральных наблюдений и В. Г. Горбацкому за полезное обсуждение результатов.

Крымская станция

Государственного астрономического института
им. П. К. Штернберга

EMISSION H_2 PROFILES IN THE SPECTRA OF
IRREGULAR VARIABLE STARS

G. V. ZAYTSEVA, E. A. KOLOTILOV

The profiles of H_2 -emission have been found for 22 irregular variables. The observations were carried out with the image tube spectrograph (dispersion 20 $\text{\AA}/\text{mm}$) installed at the 125 cm reflector. The character of profiles points to a gaseous envelope as a source of H_2 -emission. All stars studied are supposed to be common in this respect, in spite of the variety of their spectral types (from B to M) and luminosities. The field of velocities seems to determine the profiles of H_2 -emission, the motions in envelopes being various: rotation, expansion and contraction. Fast changes of profiles have been found for variables BN Ori, UX Ori, VX Cas and WW Vul.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. L. V. Kuht, Ap. J., 140, 1409, 1964.
2. L. V. Kuht, Ap. J., 143, 991, 1966.
3. E. A. Dibay, V. F. Estrov, Non-Periodic Phenomena in Variable Stars, Budapest, 1966, p. 107.
4. Э. А. Дибай, Астрофизика, 5, 249, 1969.
5. M. F. Walker, A. J., 68, 298, 1963.
6. M. F. Walker, Ap. J., 175, 89, 1972.
7. Г. В. Зайцева, Е. А. Колотилова, Астрон. цирк., № 699, 1972.
8. Г. В. Зайцева, П.Э., 17, 294, 1970.
9. Г. В. Зайцева, Астрон. цирк., № 628, 1971.
10. A. H. Joy, Ap. J., 110, 424, 1949.
11. G. H. Herbig, Trans. IAU, 8, 805, 1954.
12. G. H. Herbig, Ap. J., 131, 632, 1960.
13. G. H. Herbig, Ap. J., Suppl. ser., 4, 337, 1960.
14. Г. В. Зайцева, В. Ф. Есипов, Астрон. цирк., № 712, 1972.
15. Б. В. Кукаркин и др., Общий каталог переменных звезд, III изд., М., 1970.
16. В. М. Лютый, Сообщ. ГАИШ, № 172, 30, 1971.
17. S. E. Strom, K. M. Strom, J. Jost, Ap. J., 173, 353, 1972.
18. Б. А. Драчовирецкая, Астрофизика, 1, 455, 1965.
19. Т. М. Рачковская, Изв. КрАО, 36, 210, 1967.
20. П. Н. Холопов, в кн. „Эруптивные звезды“, Наука, М., 1970, стр. 241.
21. В. В. Соболев, Движущаяся оболочки звезд, АГУ, 1947.
22. J. M. Marlborough, Ap. J., 159, 575, 1970.
23. J. M. Marlborough, J.-R. Roy, Ap. J., 169, 327, 1971.
24. А. А. Боярчук, И. И. Проник, Изв. КрАО, 31, 3, 1964.