академия наук Армянской сср АСТРОФИЗИКА

TOM 11

ФЕВРАЛЬ, 1975

выпуск і

ЧЕТЫРЕХЦВЕТНЫЕ УЗКОПОЛОСНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ЗАТМЕННО-ДВОЙНОЙ ЗВЕЗДЫ ТИПА ВОЛЬФА-РАЙЕ CV SER

А. М. ЧЕРЕПАЩУК Поступила 25 марта 1974

Система CV Ser (WC7 B0) не обнаруживает изменений блеска в континуумо 4795 и A 6320, превышающих 0^m05. Интенеивность эмиссии A 653 (CII – CIV, NIII) периодически меняется на 0^m5. Изменения интенсивности вмиссии A 6563 (H₊ + Hell) не превышают 0^m1 – 0^m15. Наклонность орбиты в системе CV Ser заключена в пределах: 60° i 77°, что и комбинации с данными споктроскопических наблюдений Каули и др. [10] позволяет оценить массу звезды WC7: 5.9 М₀ m_{WC7} 8.4 М₀.

Введение. Система CV Ser (WC7 + В0) - пекулярная спектральнодвойная звезда типа Вольфа-Райе (WR), у которой исчезло затмение в контипууме [1-4]. В [5] не найдено заметных изменений блеска CV Ser также и в эмиссионных линиях Hel 5875, Hell 6562, CIV 5808, СШ 5696. В то же время система CV Ser продолжает испытывать значительные изменения блеска в частотах эмиссионной полосы / 4653 (CII - CIV, NIII) [2, 3, 6]. Изменения интенсивности излучения в эмиссионной области спектра / 4653 в значительной степени связаны с периодическими усилениями и ослаблениями абсорбции, расположенной с коротковолновой стороны эмиссии / 4653 [7, 10] и попадающей в полосу пропускания соответствующего интерференционного фильтра. Кроме того, не исключено, что в системе CV Ser периодически происходят "селективные" атмосферные затмения спутника ВО оболочкой звезды WR в частотах эмиссионной полосы / 4653 [3, 8]. Новое значение периода $p = 29^{d}705 \pm 0^{d}004$, определенное нами по фотометрическим данным за 1965 — 1971 гг. [9], хорошо согласуется со значением 978 4

А. М. ЧЕРЕПАШУК

 $p = 29^{d}7055 \pm 0^{d}0015$, найденным Каули и др. [10] по спектроскопическим данным с привлечением наблюдений Хилтнера [11], выполненных в 1945 г. Это свидетельствует о том, что в системе CV Ser, несмотря на исчезновение затмений в континууме в интервале времен: 1962—1965 гг. [1, 2], не произошло заметного изменения периода. Цвет системы CV Ser и ее средний блеск вне затмений при этом также существенно не изменилксь [1, 4, 5]. Все эти "странные" особенности CV Ser могут пролить свет на природу феномена WR, поэтому систематическое исследование этой системы представляет большой интерес.

Наблюдения. Узкополосные фотоэлектрические наблюдения системы CV Ser проводились в четырех областях спектра: 24653 (эмиссионная полоса CII, CIII, CIV, NIII), / 6563 (эмиссия H_a + Hell), / 4795 и λ 6320 (континуум). Ширикы полос пропускания фотометра на уровне половинной интенсивности составляют 60 А для і 4795 и 4653 и 90 А для 3 6563 и 6320. Эффективные ширины полос пропускания (с учетом крыльев контуров) составляют 90 А для / 4795 и 4653 и 135 А для 2.6563 и 6320. Использовался узкополосный электрофотометр с интерференционными клиновыми фильтрами, работающий в режиме счета фотонов [12]. В качестве звезд сравнения использовались: HD 168112 (8.5 pg, B0) — основная и HD 168639 (9.9 pg, B9) — контрольная. Наблюдения выполнены на 48- и 60-см рефлекторах Крымской станции ГАИШ. Результаты двухцветных узкополосных наблюдений CV Ser за 1965-1971 гг. опубликованы в [3, 9]. Новые четырехцветные узкополосные наблюдения этой системы приведены в табл. 1, 2. Здесь п-число индивидуальных наблюдений, усредненных в данной точке (каждая точка — среднее за ночь). Фазы вычислены с элементами [9]:

 $Min Hel = J.D. 2440013.443 + 29^{d} 705 \cdot E.$

В третьем и четвертом столбцах табл. 1, 2 даны разности монохроматических звездных величин CV Ser и звезды сравнения HD 168112 в соответствующих областях спектра (в смысле: m(CV Ser) - m(HD 168112)), в пятом столбце табл. 1, 2 даны выраженные в звездных величинах интенсивности эмиссионных полос. Эти интенсивности получены как разность между интенсивностью излучения в эмиссионной области спектра и интенсивностью соседнего континуума. Среднеквадратичная ошибка индивидуального наблюдения в областях \wedge 4795 и 4653 составляет $\sim 0^{m}04$, в областях \wedge 6320, 6563 $\sim 0^{m}06$. Среднеквадратичные ошибки индивидуального измерения интенсивностей эмиссионных полос λ 4653 и λ 6563 составляют $\sim 0^{m}10$ и 0^m15, соответственно.

50

a	61	u	u	a	1

CV SER B ODAACIAX CHEKIPA A 4/95 H A 4653						
J D. 2441	Фаза	۵m (24795)	∆m (∧4653)	(CII-CIV, NIII)	n	
085.517	0.091	0.710	0.210	1.244	4	
095.485	. 393	.665	.110	.103	-4	
099.467	.560	.694	.110	.062	4	
101.520	.629	.628	.105	.149	2	
131.313	.632	.723	.101	.003	3	
136.394	.803	.687	.121	.097	3	
150.312	.272	.702	.164	.184	4	
169.316	.911	.740	.160	.118	4	
171.291	.978	.677	.251	.471	3	
173.300	.046	.731	.193	.214	5	
175.301	.113	.700	.154	.162	4	
199.255	.920	.708	.214	.307	2	
201.262	.987	.698	.249	.426	3	
224.192	.759	.723	.116	,036	3	
462.485	.781	.706	.107	.039	3	
			a constant of the			

УЭКОПОЛОСНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ CV SER B ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА λ 4795 И λ 4653

Среднеквадратичные ошибки средних за ночь значений величин, приведенных в табл. 1, 2, определяются делением указанных ошибок на 1 л. На рис. 1, 2 приведены результаты наблюдений CV Ser за 1965— 1972 гг. (каждая точка — среднее за ночь). В табл. 3, 4 приведены в звездных величинах средние кривые блеска и интенсивностей эмиссионных полос для CV Ser. Здесь p — число ночей, включенных в данную нормальную точку, n — полное число измерений. На рис. 3 приведены средние кривые блеска CVSer в континууме и средние кривые изменения интенсивностей эмиссионных полос λ 4653 и λ 6563.

Выводы. 1. С 1965 г. по 1972 г. система CV Ser не обнаруживала регулярных изменений континуума 3 4795 и 3 6320, превышающих 0^{т0}5.

2. Кривые блеска в континууме λ 4795 и λ 6320 существенно не различаются. В окрестности фазы 0 (случай "звезда WC7 впереди звезды В0") наблюдается слабый минимум блеска, глубина которого составляет 0^m05 ± 0^m01 для λ 4795 и 0^m02 ± 0^m02 для λ 6320.

3. С 1965 г. по 1972 г. обнаруживаются регулярные изменения интенсивности вмиссионной полосы 2 4653, амплитуда которых составляет

Таблица 2

HNA CV SER B OBAACIAX CHENIPA & 0320 M & 0303							
J. D. 244	Фаза	3m (λ 0320)	Δm (λ 6563)	∆m (H₁, Hell)	n		
0783.450	0.922	0.685	0,287	1.568	4		
0784.431	.955	. 689	. 383	.905	5		
0785.422	. 988	.786	. 352	. 559	5		
0788.410	.089	.675	.291	. 605	9		
0789.452	.124	. 7 06	. 292	.541	2		
0790.400	.156	.605	.256	.659	5		
0793.431	.258	. 626	.273	.664	4		
0794.413	.291	. 562	.288	.918	1		
0798.382	.424	.665	.354	.862	3		
0799.400	. 459	,655	.315	.742	4		
0800.450	. 494	.663	.320	.737	5		
0801.378	.525	.687	, 358	.815	4		
0810.362	.828	.719	.305	, 554	5		
0816.301	.028	.679	.311	. 664	5		
0838.252	.767	.661	. 323	.753	4		
0844.220	.968	.687	.364	.838	4		
0845.258	.002	.738	.355	.674	6		
0846.250	.036	.735	. 348	.654	6		
0848.260	.104	.651	.298	.689	4		
0873.189	.943	.661	.339	.815	3		
0876.193	.044	. 694	.337	.721	3		
0877.180	.077	.687	.339	.742	6		
1094.524	. 394	.738	. 366	.710	3		
1131.338	.633	,685	. 305	.629	3		
1150.336	.273	.661	.324	.758	3		
1169.368	.914	.641	. 348	.911	4		
1171.320	.979	.661	.374	.956	3		
1173.339	.047	.696	.375	.856	3		
1199.230	.919	.746	.358	.664	3		
1201.239	.986	. 696	.334	.705	3		

УЗКОПОЛОСНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕ-НИЯ СУ SER В ОБЛАСТЯХ СПЕКТРА À 6320 И & 6563

~ 0^m5. Минимум интенсивности приходится на фазу 0. Вторичный минимум интенсивности эмиссии). 4653 выявляется на пределе, его глубина составляет ~ 0^m05. В фазе 0.03-0.05 наблюдается локальный максимум интенсивности эмиссии / 4653, высотой ~ 0^m1-0^m15.

УЗКОПОЛОСНЫЕ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ CV SER 53

4. Регулярные изменения интенсивности эмиссионной полосы λ 6563 не превышают 0^m1-0^m15 и лежат на пределе обнаружения. Следует отметить, однако, что эти изменения коррелируют с фазой орбитального периода, что служит аргументом в пользу того, что эти изменения реальны. Глубина минимума интенсивности эмиссии λ 6563



Рис. 1. Узкополосные фотовлектрические наблюдения CVSer в областях спектра 24653 и 24795. Внизу приведены интенсивности эмиссионной полосы CII—CIV, NIII 24653 (в звездных величинах). Каждая точка—среднее за ночь. Крестиками обозначены наблюдения 1965 и 1968 гг., когда паблюдался слабый минимум блоска в континууме в фазе 0.

в фазе 0 составляет $0^m 1 \pm 0^m 07$, глубина вторичного минимума (в фазе 0.4-0.5) составляет $0^m 15 \pm 0^m 1$. Возможно, что ширина вторичного минимума интенсивности эмиссии λ 6563 вдвое превышает ширину вторичного минимума интенсивности эмиссии λ 4653. Это может служить указанием на то, что размеры оболочки WR, светящейся в частотах эмиссии λ 6563 примерно вдвое больше размеров этой оболочки, светящейся в частотах эмиссии λ 4653. Этот результат имеет значе-

ние для решения проблемы стратификации излучения в оболочке WR. поскольку средний ионизационный потенциал для бленды λ 4653, по-видимому, превышает соответствующую неличину для эмиссии λ 6563.



Рис. 2. Уэкополосные фотоэлектрические наблюдения CVSer в областях спектра λ 6563 и 6320. Виизу-интенсивности эмиссии H₂, Hell λ 6563 (в звездных величинах). В окрестности фазы 0, возможно, имеет место физическая порононность интенсивности эмиссии H₂, Hell, амплитудой ~0^m2-0^m3.

Следует отметить, однако, что обнаруженные нами изменения интенсивности эмиссии λ 6563 требуют независимого подтверждения, поскольку они лежат на пределе обнаружения.

Обсуждение результатов. Отсутствие значительных затмений в континууме i 4795 и i 6320 свидетельствует о том, что в системе CV Ser угол наклонения орбиты i существенно меньше 90°. Принимая, что радиус диска поглощения компоненты WC7 в системе CV Ser порядка радиуса диска поглощения компоненты WN 5 в системе V 444 Cyg (\sim 20 R_☉) [13] и считая, что радиус компоненты B0 не меньше 7 R_☉, а также используя элементы спектроскопической орбиты системы CV Ser [10], можно оценить верхний предел для угла i, то есть нижний предел для массы компоненты WC7: 120 ctg $i > r_{\rm NL} + r_{\rm WC7}$, от-

Таблица З

4

21

CREATINE REVIDUE DAECKA CV SER (4795 M 64955							
Фаза	^{ک m} () 4795)	کس (1. 4653)	(CII—CIV, NIII)	Р	л		
0.018	0.707	0.217	1.317	3	14		
.037	.727	.219	1.20	3	14		
.050	.744	.199	1.210	4	10		
.075	.714	.240	1.367	3	13		
.094	.717	.155	1.141	5	20		
.118	.716	.118	1.054	3	9		
,149	.655	.075	1.037	4	12		
.181	.722	.073	0.943	3	9		
.213	. 693	.062	0.953	3	15		
.249	. 666	.071	1.011	3	8		
.274	.668	.097	1.069	3	8		
.298	.677	.063	0.975	3	- 11		
. 330	.705	.050	0.907	3	12		
.382	.697	.076	0.982	3	11		
.431	, 695	.050	0.925	3	8		
. 461	.698	.093	1.015	3	9		
.516	.701	.086	1.000	3	15		
.559	.715	.085	0.979	3	10		
. 587	, 699	.060	0.940	4	15		
.628	.695	.075	0,983	-4	10		
.691	.716	.061	0.922	4	11		
.764	.727	.105	1.004	3	11		
.787	.696	.105	1.049	5	15		
.817	.674	.094	1.057	4	13		
.839	.676	.107	1.086	4	13		
.904	.737	.149	1.095	3	8		
.926	.743	.172	1.145	3	8		
.951	.747	.271	1.348	3	14		
970	.733	.258	1.390	4	16		

сюда i <77 и mwc7 5.9М., Верхний предел на массу компоненты WC7 можно получить, предположив, что радиус зоны формирования эмиссионных липий в системе CV Ser примерно вдвое превышает соответствующую величину для континуума (подобно тому, как это имеет место для системы V 444 Cyg [14]). Тогда имеем следующие нераненства: cos $i \leq 0.5$, $i \geq 60^\circ$, $m_{WC7} \leq 8.4 M_\odot$ (для $i < 60^\circ$ маловероятно

1.437

.271

.996

.726

Таблица 4

CPEANNE REMODIE DAECKA CV SER & 0520 M & 0505						
Фаза	∆m (∧6320)	Δm (λ6563)	∆m (H₂, Hell)	Р	n	
0.003	0.712	0.353	1.737	10	43	
.092	.677	. 306	.654	4	21	
.156	.605	.256	.659	1	5	
.268	.631	. 294	.731	3	8	
. 409	.702	. 360	. 786	2	6	
. 493	.668	. 330	.763	3	13	
.633	.685	. 305	. 629	1	3	
.801	.693	.313	.642	2	9	
.924	. 680	.331	.740	4	14	

ожидать значительных изменений интенсивностей эмиссионных линий). Таким образом, масса звезды WC7 лежит в пределах: 5.9М < « m_{WC7} 8.4 М. Отсутствие заметного минимума интенсивности эмиссии H₄, Hell A 6563 в фазе 0, по-видимому, связано с тем, что оболочка компоненты WC7 прозрачна для собственного излучения в частотах этой эмиссии и потому не производит явления "селективного" атмосферного затмения. Напротив, в частотах эмиссии CII-CIV, NIII / 4653 оболочка компоненты WC7 непрозрачна, что приводит к "селективному" атмосферному затмению спутника ВО внешними частями облочки компоненты WC7. Нечто похожее мы наблюдаем при хромосферных затмениях в двойных системах типа С Aur, когда задолго до начала затмения протяженной фотосферой в спектре системы появляются сильные хромосферные линии поглощения (например, линии Н и К Call), образующиеся в непрерывном спектре спутника из-за селективного поглощения света последнего в хромосфере пекулярной ("передней") компоненты. В нашем случае, тот факт, что такая "хромосферная" абсорбция для эмиссии). 4653 сдвинута в коротковолновую часть этой эмиссии [7, 10] (эта абсорбция особенно сильна в фазе 0 [7. 10], и, по-видимому, образуется в основном в непрерывном спектре спутника B0, а не в спектре компоненты WC7) свидетельствуст о значительной анизотропии поля скоростей в оболочке компоненты WC7 и о преимущественном движении атомов оболочки WR в направлении от спутника ВО. Поскольку система CV Ser — весьма разделенная (расстояние между компонентами ~ 120 R), такая анизотропия вряд ли связана с эффектами гравитационного взаимодействия компонент. Не исключено, что здесь существенна роль магнитного поля, которое управляет движением плазмы в окрестности компоненты WC7. Возможно, что двойственность системы обуславливает такую геометрию силовых линий этого поля, которая сдерживает движение вещества с поверхности компоненты WC7 в направлении к спутнику B0 (силовые линии здесь должны быть перпендикулярны скоростям



Рис. 3. Средние узкополосные криные блеска CV Ser в континууме // 4795 и // 6320 (вверху) и кривые изменения интенсициостей эмиссионных полос Н., НеП // 6563 и CII—CIV, NIII //4653 (внизу).

движения) и не препятствует сильному истечению нещества в противоположном направлении. Оценка напряженности этого поля, полученная из условия $H^2/8\pi = \rho v^2/2$, приводит к значению $H \sim 10^3 \ \epsilon c$,что по порядку величины близко к напряженности магнитных полей, наблюдаемых у магнитных звезд [15]. Важная роль магнитных полей в фор-

мировании явления Вольфа-Райе отмечалась Джонсоном [16]. Представляет большой интерес дальнейшее исследование системы CV Ser, особенно в моменты появления затмения в частотах континуума. Это может дать ценную информацию о структуре оболочки звезды WC7. В частности, обращает на себя внимание следующий факт. На кривой блеска CV Ser в континууме / 4795 несколько зочек в окрестности фазы 0 уклоняются от среднего блеска на величину, превышающую погрешность наблюдений (см. рис. 1). Создается впечатление, что в 1965 г. и 1968 г. система CV Ser претерпевала затмение в континууме глубиной до 0^{ти}15. Отметим, что в 1966 г. подобный эффект не наблюдался, то есть характерное время таких изменений глубины затмения в континууме меньше года. При возрастании глубины затмения в континууме амплитуда переменности интенсивности эмиссии / 4653 уменьшилась почти вдвое в 1965 г. и 1968 г. Поскольку фаза О, как уже отмечалось, соответствует атмосферному затмению, следует признать, что изменение непрозрачности (или протяженности) внешних слоев протяженной фотосферы компоненты WC7 влияет на свойства оболочки WR, где формируется эмиссия » 4653. Тот факт, что спутник ВО "чувствует" как "дышит" протяженная фотосфера компоненты WC7, свидетельствует, что этот спутник в момент соединения почти касается своим краем диска поглощения в континумме компоненты WC7. Если минимальный радиус этого диска не сильно отличается от 20 К. (см. выше), то масса звезды WC7 должна быть ближе к своему нижнему пределу (5.9 М.) и, вероятно, составляет около 7 М. Причина эффекта Хелминга и Хилтнера — увеличения глубины затмения CV Ser в континууме до 0[™]5 в 1962 г. — остается неясной. Не вызывает сомнения тот факт, что глубокий минимум блеска, который наблюдали Хелминг и Хилтнер [1], резлен и соответствует случаю "спутник ВО внереди компоненты WC7" [3, 10]. Однако объяснить столь большую ширину этого минимума, а также неизменность периода, среднего блеска и показателей цвета вне затмений, неизменность спектроскоинческой орлиты (которля является круговой [10], так что вращение линии апсид исключается) в настоящее время черезнычайно трудно. Не исключено, что все перечисленные сюрпризы, которые предоставляет нам система CV Ser. имеют глубокие причины, которые могут оказаться решающими для понимания природы таких пекулярных объектов, как звезды типа Вольфа-Райе.

Автор искрение признателен Х. Ф. Халиуллину за помощь в наблюдениях.

Государственный астрономический институт им. П. К. Штериберга

FOUR-COLOR NARROW-BAND PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF WOLF-RAYET ECLIPSING BINARY CV SER

A. M. CHEREPASHCHUK

The variations of the continuum i 4795 and i6320 in the system CV Ser (WC7 + B0) do not exceed 0.05. The periodic variations of the emission line i 4653 (CII – CIV, NIII) intensity are about 0.5. The variations of the intensity of the emission line i4563 (H₄ + HeII) do not exceed 0.10 – 0.15. The inclination of the orbit plane in the system CV Ser is 60 $\leq i \leq 77^{\circ}$. Using the data of Cowley et al. [10]. We estimated the mass of WC7 star 5.9Mc $\leq M_{WC7} \leq 8.4M_{\odot}$.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. R. M. Hjellming, W. A. Hiltner, Ap. J. 137, 1080, 1963.
- 2. А. М. Черепашук, Астрон. цирк. № 503, 1969.
- 3. А. М. Черепацук, Астрон. ж., 48, 1201, 1971.
- 4. K. Steplen, Acta Astronomica, 20, 13, 1970.
- 5. L. V. Kuhl, F. Schweizer, Ap. J., 160, L185, 1970.
- 6. N. D. Morrison, S. C. Wolff, P.A.S.P. 84, 635, 1973.
- 7. A. P. Cowley, Bull. AAS 3, 403, 1971.
- 8. А. М. Черепащук. Астрон. цпрк., № 602, 1971.
- 9. А. М. Черепащук. Астрон. цирк., № 620. 1971.
- 10. A. P. Cowley, W. A. Hiltner, Ch. Berry, Astron. Astrophys., 11, 407, 1971.
- 11. W. A. Hiltner, Ap. J., 102, 492, 1945.
- 12. А. М. Червпашук. В. М. Аютый, Х. Ф. Халиуллин, Астрон. к., 50, 1105, 1973.
- 13 А. М. Черепашук. Астрон. цирк., № 739, 1972.
- 14. A. M. Черепашук, П.З., 16, 226, 1967.
- 15 Г. У. Бэбкок, Звездные атмосферы. под ред. Дж. А. Гринстейна, ИА, М., 1963, стр. 286.
- 16. M. Johnson. Observatory, 74, 124, 1954.