

УДК 524.337.2-75

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ И СПЕКТРАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОЙ КАССИОПЕИ 1995 ГОДА (V723 CAS)

© 2007 В. П. Горанский¹, Н. А. Катышева¹, А. В. Кусакин^{1,2}, Н. В. Метлова¹,
Т. М. Погрошева¹, С. Ю. Шугаров¹, Е. А. Барсукова³, С. Н. Фабрика³,
Н. В. Борисов³, А. Н. Буренков³, А. Г. Прамский³, Е. А. Карицкая⁴, А. Реттер⁵

¹Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, МГУ,
Университетский пр-т, 13, Москва, 119992, Россия

²Астрофизический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, 480068, Казахстан

³Специальная астрофизическая обсерватория, Нижний Архыз, 369167, Россия

⁴Институт астрономии РАН, ул.Пятницкая, 48, Москва, 119017, Россия

⁵Департамент астрономии и астрофизики,
Государственный университет шт. Пенсильвания, 514 Дейви
Лаб, Университи Парк, Пенсильвания, 16802, США

Поступила в редакцию 30 ноября 2006; принята в печать 15 декабря 2006

Представлен 11-летний ряд *UBVRI*-наблюдений и результаты мониторинга классической медленной новой V723 Cas. Исследованы спектры этой звезды, полученные со спектральным разрешением 3.5–8.5Å на 6-м телескопе БТА в небулярной стадии и в фазе сверхмягкого рентгеновского источника (SSS). Система имеет большое наклонение орбиты и орбитальный период 0.693265 дня. Орбитальный период увеличивается. Малоамплитудные изменения блеска с орбитальным периодом обнаружены на ранних стадиях вспышки и даже в предмаксимальной стадии. Орбитальная кривая блеска в небулярной стадии асимметрична и постепенно увеличивает свою амплитуду до $V=2^m$ в 2006 г. Асимметрия кривой блеска V723 Cas объясняется эффектом отражения, затмением протяженного аккреционного диска и высоким темпом переноса массы в системе. На кривой блеска V723 Cas сформировалось плато, связанное с фазой SSS. В спектре V723 Cas переход в фазу SSS выразился в увеличении на порядок величины потока в эмиссии [Fe X] $\lambda 6374\text{Å}$, которая формируется в расширяющейся оболочке. Появились также узкие эмиссионные линии $\lambda 6466.4\text{Å}$ (O V) и $\lambda 6500.5\text{Å}$ (Fe XVII).

1. ВВЕДЕНИЕ

Классическая новая V723 Cas ($1^h05^m 05^s.35$, $+54^\circ00'40''.1$, 2000) была открыта М. Ямамото [1] 24 августа 1995 г., когда ее блеск был $V = 9^m2$. До вспышки новая была слабой звездой, которая по картам паломарского атласа имела блеск $R = 17^m5$ и $B = 19^m0$ [2]. Максимум блеска был достигнут 17 декабря 1995 г. (JD 2450069) в пике кратковременной вспышки: $U = 7^m61$, $B = 7^m59$, $V = 7^m09$, и $R = 6^m59$. На спаде блеска у новой наблюдались вспышки или вспышечные эпизоды продолжительностью до 100 дней, состоящие из серии хаотических вспышек, с амплитудами до 2^m . Если пик самой мощной вспышки формально считать максимумом блеска звезды, времена ослабления блеска новой на 3^m в полосах B и V получаются равными $t_3 = 173 \pm 5$ дня и $t_3 = 189 \pm 5$ дней, соответственно [3]. Время ослабления на 2^m ,

t_2 , определяется очень ненадежно из-за изменений блеска большой амплитуды во вспышках. Величина t_3 не отражает параметры экспоненциального спада блеска и эволюцию спектра. Мы исключили из рассмотрения вспышки и сгладили быстрые изменения кривой блеска. При этом получились следующие параметры для кривой блеска в полосе V : $t_2 = 340^d$ и $t_3 = 515^d$. Неточности определения этих параметров составляют несколько десятков дней. С такими темпами ослабления блеска звезда может рассматриваться как наиболее медленная новая.

Вспышка V723 Cas наблюдалась в широком диапазоне электромагнитного спектра: в радио, оптике и рентгене.

Особенностью V723 Cas является очень продолжительная (3 месяца) предмаксимальная стадия [4]. После Герца [5] эту стадию вспышки

называют “оптически толстым огненным шаром” (fireball). Двойная система оказалась внутри огненного шара и была окружена общей расширяющейся фотосферой. Оптические спектры новой в этой стадии по распределению энергии в континууме напоминали спектр F-сверхгиганта среднего подкласса со слабыми эмиссионными линиями [6]. Наблюдалась эмиссия H_{α} средней силы. Высшие члены бальмеровской серии выглядели как чистые абсорбции. Другие слабые эмиссии принадлежали He I и Fe II, так что V723 Cas отнесли к новому классу Fe II. В течение октября–ноября 1995 г. эмиссионные линии постепенно ослабевали, а абсорбционные компоненты усиливались. Скорость эмиссионных компонентов была довольно стабильной, -57.7 км/с [4]. Отметим, что примерно такую, направленную на наблюдателя, скорость имеет система. Скорость абсорбционных компонентов уменьшалась от -220 км/с на ранней стадии до -150 км/с в начале декабря 1995 г., так что максимальная скорость расширения оболочки в предмаксимальной стадии с учетом системной скорости была всего 160 км/с. Известна только одна новая, RR Pic, которая имела меньшую скорость расширения в предмаксимальной стадии. Фотометрия V723 Cas в предмаксимальной стадии показывала медленное и немонотонное увеличение блеска в пределах 1^m , и это оставляет надежду получить фотометрическими методами информацию о поведении двойной системы внутри общей фотосферы.

В пике большой вспышки 17 декабря 1995 г., которая и определила главный максимум, спектр в синей области был чисто абсорбционным, похожим на спектр звезды класса F0Ia HR 382 [4]. После этой вспышки в результате выброса массы образовалась протяженная разреженная атмосфера, которая излучала в эмиссионных линиях и в бальмеровском континууме [6]. Скорости абсорбционных компонентов увеличились с -600 км/с в феврале до -1600 км/с в июне 1996 г. [7]. Сильные запрещенные линии ионов высокой степени ионизации, таких как [Fe VI], [Fe VII] и [Ca V], появились в период между 30 мая и 1 июля 1997 г. (JD 2450598–2450630), что означало переход новой в небулярную стадию.

В радиодиапазоне новая была впервые обнаружена на длине волны 6 см 13 декабря 1996 г. (JD 2450432), через 362 дня после оптического максимума [8]. Кривая радиопотока и радиокарты, полученные на радиотелескопе MERLIN, опубликованы в [9]. Сначала радиоисточник не разрешался и был непрозрачным в радиолучах. Затем наблюдался переход источника в прозрачную для радиолучей фазу. Впервые он был разрешен 4

марта 1998 г. (JD 2450938). Более поздние наблюдения [9] показали, что оболочка имеет облачную структуру, и что “переменная оптическая толща выброса может значительно сказываться на ее виде”. В диапазоне длин волн $1.87 - 2.37$ мкм на HST/NICMOS оболочка не была обнаружена [10]. Поздние радионаблюдения расширения оболочки подтверждают расстояние 2.4 ± 0.4 кпк [11, 12] и скорость расширения 210 км/с. В [7] скорость расширения выброса оценивается в 305 км/с, а расстояние — в 2.8 кпк.

Несс и др. [13] обнаружили новую V723 Cas в рентгеновском диапазоне 31 января 2006 г. с помощью космической обсерватории (КО) SWIFT XRT. Это оказался сверхмягкий источник (SSS) с максимумом излучения на 0.4 кэВ. Его чернотельная температура, определенная по распределению энергии, составила 340000 К. Поскольку наблюдение проведено на 11-й год после максимума вспышки, столь поздняя рентгеновская фаза V723 Cas является рекордной среди галактических новых (за ней следует GQ Mus, которая “выключилась” в рентгеновском диапазоне через 9 лет после открытия). Возможность наблюдать SSS означает, что термоядерное горение богатого водородом вещества происходит на поверхности белого карлика [14], и излучение такого источника мы видим напрямую без поглощения в оболочке.

Орбитальные изменения блеска с периодом $0^d69325 \pm 0^d00018$ замечены с сентября 1997 г. (JD 2450706), тогда они имели амплитуду $\approx 0^m06R$ [15, 16]. Позднее амплитуда орбитальной кривой блеска постепенно возрастала. Кривая блеска сначала имела пилообразную форму (1998 и 1999 г.), а затем стала похожа на затменную с широким и сильно асимметричным главным минимумом. Эволюция формы орбитальной кривой блеска с 1996 по 2003 г. в фотометрических полосах *UBVRI* исследована в работе [17]. Наблюдения показывают, что в 2003 г. амплитуда орбитальной переменности увеличилась до 1^m3 в полосе *V*, а кривая блеска стала стабильной. Увеличение амплитуды орбитальной переменности связано с рассеянием оболочки и уменьшением ее вклада в фотометрические полосы.

Горанский и др. [18] наблюдали эпизод пульсаций оболочки белого карлика 19 сентября 1999 г. (JD 2451441), на 1373-й день после максимума, с периодом 0.062 дня и с максимальной полной амплитудой 0^m05 в полосе *R*. Ранее возможность радиальных пульсаций в оболочках классических новых обсуждалась Шенкером [19]. На основе линейных и нелинейных расчетов он показал, что во внутренних стабильных частях оболочки появляются нестабильности типа бегущих волн, которые быстро развиваются в ударные волны. В

конечном счете они выглядят как неадиабатические радиальные пульсации. Дрейк и др. [20] наблюдали такие пульсации у новой V1494 Aq1 в рентгеновском диапазоне с периодом $2498^{\circ}8$ (0.028912 дня). Эта новая также была сверхмягким рентгеновским источником.

Термоядерный взрыв богатого водородом вещества, накопившегося на поверхности белого карлика в результате аккреции в двойной системе, — общепризнанный механизм вспышек классических новых звезд, который подтверждается в модельных расчетах (см., например, [21]). Белый карлик в катаклизмической системе окружен газовым аккреционным диском, который поддерживается процессом истечения вещества со спутника, красного карлика. Через аккреционный диск газ (H + He) попадает на поверхность белого карлика и образует там водородную оболочку — “океан”. Этот океан в результате перемешивания пополняется более тяжелым веществом самого белого карлика [22]. Термоядерный взрыв водорода происходит на дне водородного океана при накоплении критической массы водорода, причем наличие элементов C, N, O белого карлика способствует протеканию термоядерной реакции. Содержание химических элементов белых карликов во многом определяет спектральные особенности и развитие вспышек новых.

После взрыва карликовая система оказывается погруженной глубоко внутрь “огненного шара” из выброшенного вещества. Спектроскопия показывает, что у V723 Cas этот “огненный шар” выглядел как F-сверхгигант с медленно расширяющейся квазистабильной фотосферой. Сохранится ли аккреционный диск при таком взрыве? Что случится с холодным спутником в столь горячем окружении? Реттер [23] предположил, что “вспышка новой разрушает аккреционный диск только у промежуточных поляров, так как их диски менее массивны, чем у немагнитных систем, и внутренняя часть дисков не заполнена”. Примерами таких новых являются GK Per и DQ Her. В немагнитных системах при взрыве диск только искажается, а затем снова становится стабильным. В системах с сильным магнитным полем — полярах — нет аккреционного диска вообще, и примером такой новой звезды является V1500 Cyg. Между тем скорости расширения оболочек при взрыве новых достигают 5–7 тысяч км/с, что на порядок превышает скорость движения газа в аккреционном диске, и потому, вероятно, даже в немагнитных системах диск сохраняется не всегда.

У такой медленной новой, как V723 Cas, сохранение диска при взрыве наиболее вероятно из-за малой скорости выброса. К тому же можно предположить, что холодный компонент, который

в течение длительного времени (три месяца) находится внутри “огненного шара”, будет разогрет, оболочка холодного компонента расширится, и темп переноса массы в системе значительно возрастет. А это приведет к образованию массивного аккреционного диска вокруг горящего белого карлика прямо внутри общей фотосферы, окружающей систему [24]. И тогда нестабильность такого массивного диска и повторяющиеся эпизоды падения его вещества на поверхность белого карлика (на котором ядерное горение продолжается) могут быть причиной сильных вспышек, наблюдающихся на нисходящей ветви кривых блеска. Изменения аккреционного диска и компонентов катаклизмической системы, в которой произошел термоядерный взрыв, еще не изучены. V723 Cas — очень хороший экземпляр для изучения таких процессов еще и потому, что здесь система может иметь большое наклонение орбиты. Об этом свидетельствует орбитальная переменность блеска большой амплитуды. Интересно исследовать звезду не только в предмаксимальной стадии, но и в более поздних стадиях, пока звезда остается внутри оптически толстой газовой оболочки, а также в процессе разделения системы и газовой оболочки.

В настоящей работе приводится анализ многоцветных фотометрических *UBVRI*-наблюдений и результатов мониторинга V723 Cas за период 11 лет после вспышки. Кроме того, мы анализируем спектры, полученные на 6-м телескопе БТА на поздних стадиях вспышки, начиная с января 2001 г., которые существенно дополняют данные, опубликованные в других работах.

2. ФОТОМЕТРИЯ

В связи с появлением новых фотометрических стандартов, полученных с ПЗС для слабых звезд в окрестностях V723 Cas, мы провели повторные измерения блеска звезды до вспышки на снимках DSS (точность измерений $0^{\text{m}}10$):

JD hel.	2435016.820	18 ^m 60	<i>B</i>	POSS I
	35016.836	17.36	<i>R_C</i>	POSS I
	47766.879	18.56	<i>B</i>	POSS II
	48180.801	17.14	<i>R_C</i>	POSS II.

Наши наблюдения новой V723 Cas начались 30 августа 1995 г., через 6 дней после ее открытия, и продолжаются до сих пор. В статью включены данные, полученные до 27 октября 2006 г. Информация об обсерваториях, инструментах и приборах, на которых проводились наблюдения, а также о наблюдателях, участвующих в наблюдениях, приведена в табл. 1. Наблюдения, проводившиеся на

Таблица 1. Ряды фотометрических наблюдений

No.	Обсерватория	Телескоп	Прибор	Сезоны	Наблюдатели
1	ГАИШ, Москва (Россия)	70-см	UBV -фотометр ¹	1995-1999	Г,К1,Ш1
2	ГАИШ, Москва (Россия)	70-см	BVR_J -фотометр ²	1998-1999	Г,Ш1
3	ГАИШ, Москва (Россия)	70-см	$WBVR_J$ -фотометр ³	1998	Г,Ш1
4	ГАИШ, Москва (Россия)	70-см	UBV -фотометр ⁴	1995-1996	Г,Ш1
5	ГАИШ, Москва (Россия)	70 и 30-см	CCD SBIG ST-6, ST-7 (BVR_JI_J)	1998-2005	Г,К1,Ш1
6	ИНАСАН, Звенигородская станция (Московская обл., Россия)	60-см	UBV -фотометр ¹	1997-1998	Г,К1,Ш1
7	САО, Карачаево- Черкесия (Россия)	100-см	CCD K-585, EEV 42-40 ($UBVR_CIC$)	2000-2006	Б,Г
8	КрАО (Украина)	38-см	CCD SBIG ST-7 (BVR_JI_J)	1998-2002	Б,Г,К2,Ш1
9	ГАИШ, Крымская станция (Украина)	60-см	UBV -фотометр ⁵	1995-2002	М
10	ГАИШ, Крымская станция (Украина)	60-см	CCD SBIG ST-6, ST-7, ST-8 (BVR_JI_J)	1998-2006	Б,Г,К2,Ш1
	ГАИШ, Крымская станция (Украина)	50-см	CCD Meade Pictor-416 (V)	2005-2006	Г
11	Тянь-Шанская обсерватория (Казахстан)	48-см 100-см	$WBVR_J$ -фотометр ³	1995-1996	Г,К1,К3,П
12	Обсерватория Вайз (Израиль)	100-см	CCD Textronix 1K ($UBVR_CIC$)	1995-1998	Р,Ш2

Примечание к таблице 1.

Фотоэлектрические фотометры: ¹ — одноканальный фотометр конструкции И. М. Волкова и С. Ю. Шугарова с ФЭУ ЕМ1 9789 и фильтрами системы UBV ; ² — тот же фотометр с ФЭУ-79 и фильтрами системы BVR_J ;

³ — четырехканальный фотометр с дихроическими пластинками конструкции В. Г. Корнилова с фильтрами системы $WBVR$;

⁴ — двухканальный фотометр конструкции А. К. Магницкого с двумя ФЭУ-79 и фильтрами системы UBV ; ⁵ —

одноканальный фотометр конструкции В. М. Лютого с фильтрами системы UBV .

Наблюдатели: Б — Барсукова Е.А., Г — Горанский В.П., К1 — Қарицкая Е.А., К2 — Қатышева Н.А., К3 — Кусакин А.В., М — Метлова Н.В., П — Погрошева Т.М., Р — Реттер А., Ш1 — Шугаров С.Ю., Ш2 — Шеммер О.

обсерваториях в России, Казахстане и Украине, включают многоцветные в полосах систем UBV , $WBVR_J$, BVR_JI_J или $UBVR_CIC$ (R и I по Джонсону и по Козинсу), фотоэлектрические и ПЗС, а также мониторинг с одним из фильтров V , R или I . В полосе V имеется, например, 3843 наблюдения за 844 ночи. Израильские наблюдения включают 2106 измерений в полосе V , а также измерения с фильтрами U , B , R и I в течение 27 ночей.

Список имеющихся у нас измерений блеска окрестных звезд дан в табл. 2. Величины стандартных и контрольных звезд для фотоэлектрической фотометрии были определены относительно UBV -стандарта около V592 Cas [25] и относительно близлежащих звезд $WBVR$ -стандартов из каталога [26]. W — ультрафиолетовая фотометрическая полоса, введенная Страйжисом [27]. Полосы системы U , B , V и R , I наших фотоэлектрических или ПЗС-фотометров рассчитаны в соответствии

Таблица 2. Фотометрия звезд в окрестностях V723 Cas

Звезда	R.A.(2000)	Decl.(2000)	$U(W)$	B	V	R_J	I_J	Примечания
BD+53°216	1 ^h 05 ^m 36 ^s .3	54°07'52"	9 ^m .31 (9.361)	9 ^m .69 9.715	9 ^m .59 9.599	- 9.452	- -	зв. сравн., phe
BD+53°222	1 06 10.5	54 09 19	10.35 (10.057)	10.05 10.135	9.95 9.933	- 9.740	- -	контр. зв., phe
BD+53°219	1 05 58.0	54 09 18	12.38	10.78	9.38	-	-	
BD+53°220	1 06 04.6	54 11 59	9.95	9.98	9.51	-	-	
GSC 3668.2051	1 04 55.0	53 58 09	(14.56)	14.07	12.70	11.58		
GSC 3668.0884	1 04 49.8	53 59 44	(14.07)	13.99	13.24	12.56		
	1 04 52.7	54 01 24	(16.4)	16.21	15.11	14.11		
	1 04 53.9	54 02 01	-	18.37	16.88	15.47		
C1	1 05 16.5	54 00 46	15.55	15.44	14.72	14.04	13.66	зв. сравн., CCD
C2	1 05 20.3	54 00 43	17.26	16.12	14.98	13.91	13.24	контр. зв., CCD
GSC 3668.1121	1 05 07.0	53 59 12	11.56	11.78	11.51	11.40	11.24	var, NSV 15236

с кривыми реакции стандартных систем Джонсона и Козинса и имеют малые коэффициенты цветовых уравнений.

V723 Cas — объект, в спектре которого много сильных эмиссионных линий, и поэтому при измерениях с разными приборами возможны сильные систематические отличия в цветах и величинах. Как показывает наш опыт, такие отличия характерны и для других новых, и они не могут быть устранены с помощью цветовых уравнений, которые выводятся из наблюдений нормальных звезд. Эти систематические отличия, как правило, связаны с сильными эмиссионными линиями, которые располагаются вблизи границ кривых пропускания фильтров. Эти границы слегка меняются в разных наборах фильтров, или по-своему зависят от температуры для каждого набора фильтров. Так, сильные эмиссионные линии [O III] 4996 и 5006Å, типичные для новых, расположенные вблизи границ полос B и V , вызывают систематические ошибки до 0^m5 и случайные неточности в обеих полосах, которые не поддаются контролю. В большинстве случаев систематические отклонения между разными рядами наблюдений могут быть устранены или минимизированы внесением постоянных поправок, определяемых по одновременным или близким по времени наблюдениям, полученным с разными приборами. В других случаях такие поправки могут быть непостоянными, но линейно зависимыми от показателей цвета. В некоторых случаях они могут быть постоянными только в ограниченный период времени из-за изменений, происходящих в спектре звезды. Со всеми такими проблемами мы встретились

при наблюдениях V723 Cas. Иногда во время сильных спектральных изменений получались противоположные тренды в цветах, измеренных с разными приборами, и мы так и не нашли способ устранить такие систематические различия в цветах. По одновременным измерениям мы пытались привести наблюдения в полосах UBV и W к самому длительному и однородному ряду, полученному Н.В.Метловой с фотоэлектрическим UBV -фотометром В.М.Лютого. Наблюдения в полосе R были приведены тем же методом к тьянь-шаньской полосе R , которая близка по кривой реакции к полосе R_J Джонсона.

Фотометрические стандарты в полосах BVR_JI_J для ПЗС определены относительно последовательности звезд Мендозы [28] в рассеянном скоплении χ и h Per. Эта редукция в полосах B, V и R_J была проверена по слабым звездам последовательности, измеренным фотоэлектрическим методом (табл. 2), и отклонения оказались малыми. Но для полосы I у нас не оказалось ни достаточного количества привязок к различным стандартам, ни достаточного числа одновременных наблюдений с разными приборами, так что редукции в этом фильтре остаются приблизительными.

Мы привлекли дополнительные опубликованные наблюдения [3, 11], которые также получены с разными приборами. Они приведены, каждый ряд в отдельности, к тому же ряду Н. В. Метловой тем же методом. Кроме того, мы используем ПЗС-наблюдения [29], полученные до открытия звезды, чтобы представить самые ранние стадии вспышки.

Мы обнаружили, что самая яркая звезда на наших кадрах ПЗС, GSC 3668.1121 (известная также как NSV 15236), переменна в пределах $11^m78 - 11^m93$ в B , $11^m49 - 11^m60$ в V , $11^m33 - 11^m46$ в R_J и $11^m12 - 11^m21$ в I_J . Это звезда спектрального класса $B6.5V$ со средними показателями цветов $B - V = 0^m31$, $V - R = 0^m15$ и $R - I = 0^m23$. Ее кривая блеска синусоидальна с периодом 18^d9 . Это может быть эллипсоидальная переменная (тип ELL) с орбитальным периодом, равным удвоенному фотометрическому периоду 37^d8 . В сезон 1997 г. в ПЗС-наблюдениях она была использована в качестве звезды сравнения, а затем исключена из списка звезд сравнения.

3. КРИВЫЕ БЛЕСКА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА ВО ВСПЫШКЕ

Кривые блеска и показателей цвета $V723\text{ Cas}$ представлены на рис. 1. На рисунке используется единая шкала звездных величин, и каждая кривая блеска сдвинута относительно этой шкалы произвольно. Этот сдвиг для каждой кривой можно определить по величинам в максимуме блеска, которые даны во Введении. Кривые блеска и показателей цвета в полосах системы $UBVR$, а также их детали и некоторые ряды мониторинга можно рассмотреть в Интернете [30].

Рис. 2 демонстрирует треки новой $V723\text{ Cas}$ на двухцветных диаграммах $(U - B) - (B - V)$ (а) и $(V - R) - (B - V)$ (б). На рис. 2 каждая точка — средняя величина по всем измерениям за ночь. Показаны также положения последовательностей нормальных звезд. На рис. 2а последовательности звезд V, III и I классов светимости нанесены согласно [27]. На рис. 2б показана одна только главная последовательность звезд V класса светимости согласно [26], звезды-гиганты в этом масштабе располагаются близко к ней. Основные стадии вспышки отмечены на рис. 1 и 2 одними и теми же цифрами.

На кривых блеска $V723\text{ Cas}$ (рис. 1) предмаксимальная стадия в JD 2449960 — 2450058 отмечена как $(0-1)$, она закончилась вспышкой длительностью 5 дней с максимумом около JD 2450069. На первичный спад кривой блеска накладываются 5 вспышечных эпизодов, произошедших во временном диапазоне JD 2450058—2450700, 6-е слабое поярчание видно около JD 2450900. Эти вспышечные эпизоды выглядят либо как отдельные вспышки длительностью несколько дней — десятки дней, либо как многократные вспышки в диапазоне до 100 дней. Они чередуются со спокойными состояниями с пониженным блеском или ослаблениями блеска перед очередной вспышкой. На поздних стадиях спада блеска дисперсия измерений блеска

постепенно увеличивается до 2^m . Это не увеличивающиеся ошибки наблюдений ослабевающей звезды, а проявление периодической орбитальной переменности с постепенно увеличивающейся амплитудой.

В предмаксимальной стадии блеск и показатели цвета изменяются мало и немонотонно. Блеск в полосе V увеличивается на 0^m6 , показатель цвета $B - V$ изменяется между 0^m45 и 0^m65 , а $V - R$ между 0^m5 и 0^m7 . Изменения цвета $U - B$ более четко выражены: он изменяется в пределах -0^m40 и $+0^m25$, то есть ультрафиолетовый (УФ) избыток излучения уменьшается. В середине предмаксимальной фазы звезда переместилась на последовательность нормальных звезд на двухцветных диаграммах. Как известно, в это время она имела непрерывный спектр с абсорбционными линиями и со слабыми эмиссионными компонентами. Обзор оценок межзвездного покраснения содержится в работе [7], где в конечном итоге принимается величина $E(B - V) = 0^m57 \pm 0^m05$. Тогда показатель цвета, исправленный за межзвездное покраснение, в предмаксимальной стадии и в максимуме составлял $(B - V)_0 \approx 0^m0$, что помещает новую в область двухцветной диаграммы, где находятся нормальные звезды позднего подкласса B — раннего A. Это противоречит абсорбционному спектру среднего подкласса F [6] или F0Ia [4]. В действительности *искаженные поглощением* показатели цвета новой соответствуют распределению энергии звезды позднего подкласса F (рис. 2а). Возможно, это означает, что либо избыток цвета в большинстве работ переоценен в 3—4 раза, либо неверна классификация спектров в предмаксимальной стадии.

После максимума блеска в 2450069 ($1-2$) показатели цвета новой в системе $UBVR$ резко изменились. На диаграмме $(U - B) - (B - V)$ (рис. 2) новая прошла и через точку, в которой ее показатели цвета, исправленные за межзвездное покраснение, сравнялись с показателями цвета нормальной звезды класса F0Ia. Но затем у нее появились УФ и красный избытки цвета, и звезда ушла далеко от последовательностей нормальных звезд. Хохол и Прибула [3] объяснили этот феномен выбросом плотной оболочки после первой вспышки. Те же авторы наблюдали выброс новой оболочки меньшей массы во второй вспышке ($\text{Max} = \text{JD } 2450135$), после чего индекс $V - R$ достиг рекордной величины $+2^m8$.

Такое увеличение показателя цвета $V - R$ наблюдалось и у других новых с одиночным максимумом, как одиночная деталь на кривых показателя цвета. Но у $V723\text{ Cas}$ это увеличение неоднократное, оно имеет два или более максимума ($2-3-4$ на рис. 1). Эту особенность кривых блеска и цвета новых звезд мы объясняем переходом расширяющейся оболочки в оптически тонкое состояние по

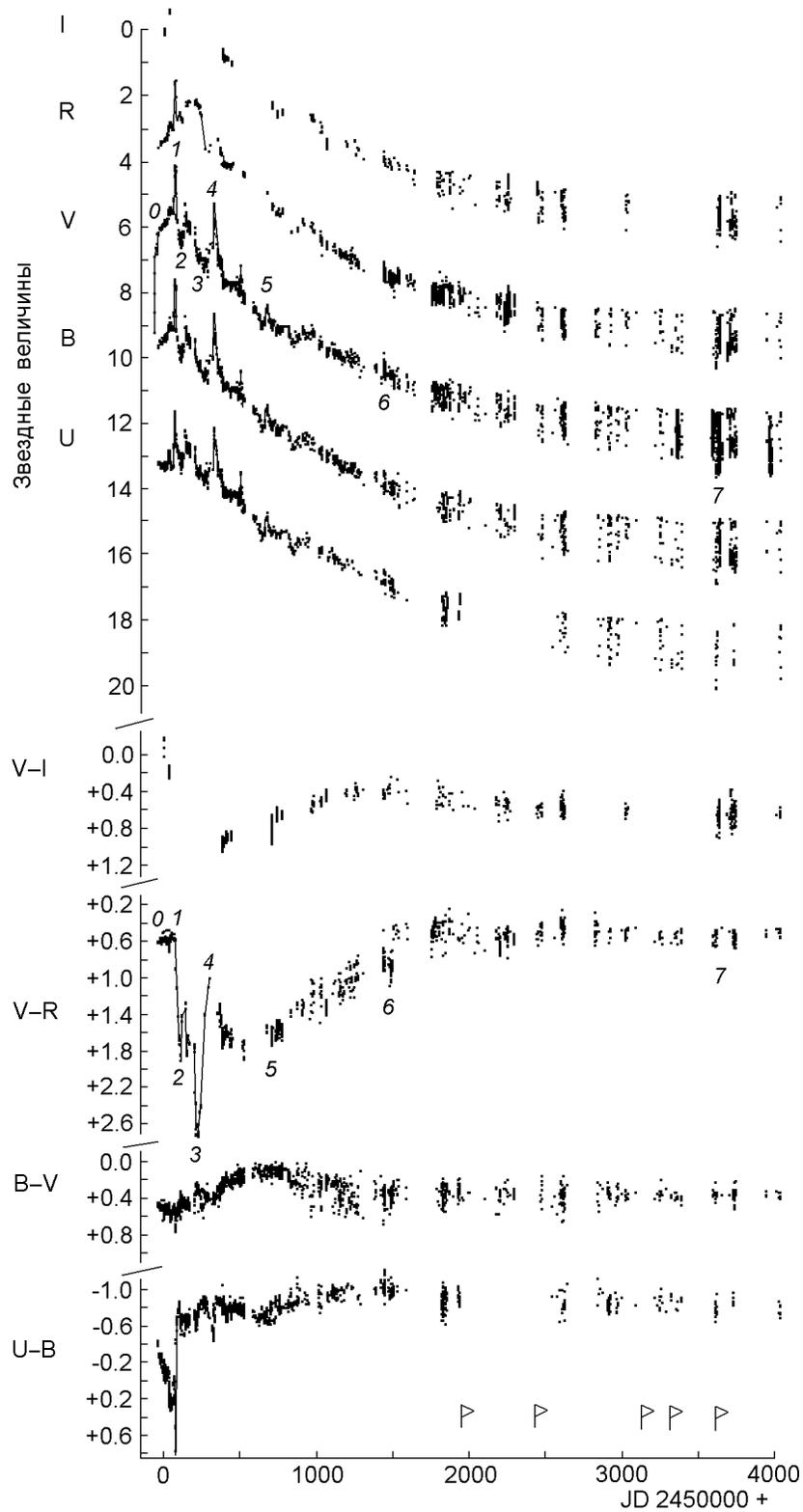


Рис. 1. Кривые блеска и показателей цвета V723 Cas. Блеск дается в произвольной шкале звездных величин (величины в максимуме специально приведены в тексте, во введении). Флажками отмечены моменты получения спектров на БТА. Цифрами отмечены примечательные эпизоды развития вспышки, описанные в тексте.

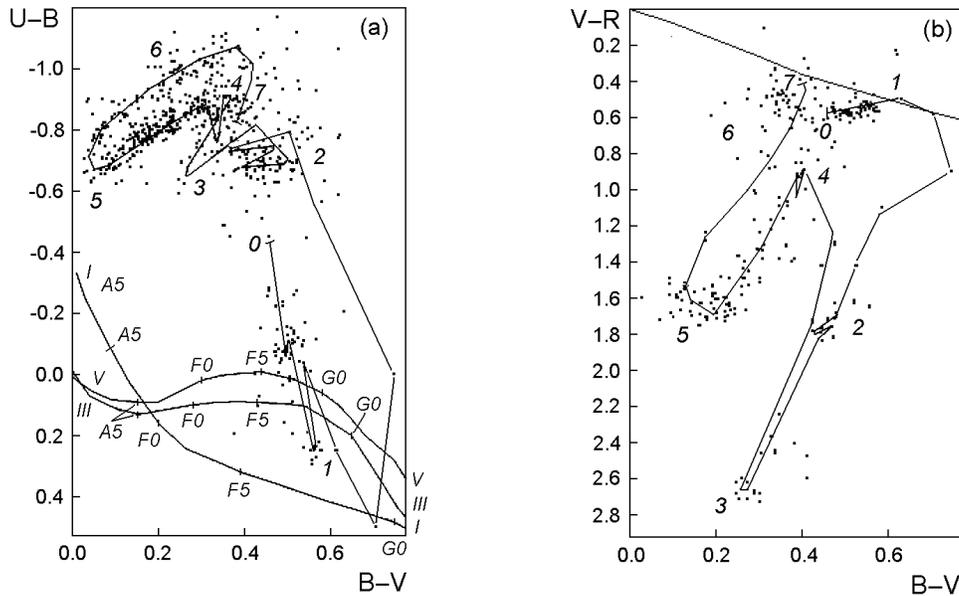


Рис. 2. Двухцветные диаграммы $(U - B) - (B - V)$ (a) и $(B - V) - (V - R)$ (b) по наблюдениям новой V723 Cas. Нанесены треки новой, на которых цифрами отмечены эпизоды развития вспышки, — те же, что и на рис. 1. Показаны также последовательности нормальных звезд классов светимости I, III и V (a) и положение последовательности нормальных звезд V класса светимости (b).

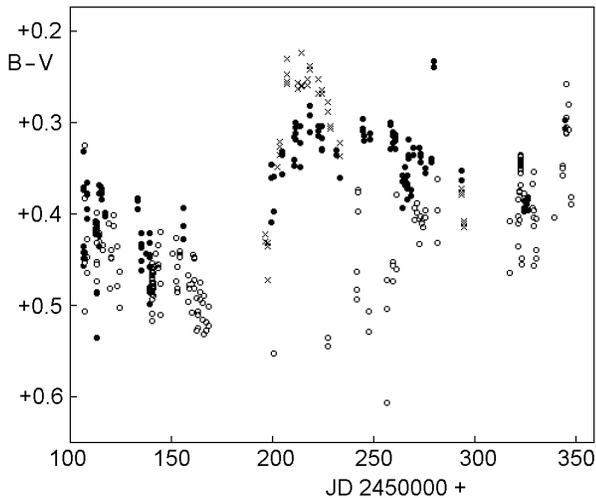


Рис. 3. Цветовые различия при измерении показателя цвета $B - V$ разными приборами в мае–августе 1996 г., вызванные быстрыми спектральными изменениями. Наблюдения с фотометром Лютого нанесены темными кружками, с фотометром Шугарова-Волкова — светлыми кружками, а с фотометром Корнилова — крестиками.

частям, а не всей оболочки одновременно, причем каждый раз радиус фотосферы резко уменьшался. В результате в большом объеме газа над общей фотосферой происходит рекомбинация атомов водорода, усиливаются бальмеровские эмиссии, и усиление эмиссии H_{α} приводит к увеличению пока-

зателя цвета $V - R$. В это время газовая оболочка еще остается пока достаточно плотной, так что запрещенные линии не формируются (см. [4, 12]). У V723 Cas этот переход к оптически тонкому состоянию был инициирован ударной волной и выбросом вещества в первой вспышке, но затем процесс рекомбинации был приостановлен выбросом вещества при второй вспышке (радиус фотосферы на короткое время увеличился, и объем газа в оптически тонком состоянии уменьшился). После второй вспышки новая имела наиболее красный цвет ($V - R = 2^m 8$), что было прекрасно видно в окуляр телескопа. УФ-избыток наиболее вероятно связан с усилением бальмеровского континуума из-за рекомбинации водорода.

Покраснение показателя цвета $V - R$ сопровождалось в этот период (май — август 1996 г.) быстрыми спектральными изменениями, которые привели к большим различиям в измерениях показателя цвета $B - V$ с разными приборами (рис. 3). Инструментальные полосы B и V имеют очень малые цветовые уравнения. Но измеренные показатели цвета $B - V$ меняются с противоположными трендами, скорости изменений разные, что не дает возможности редуцировать цвет в стандартную систему или хотя бы привести показатели цвета в систему одного из приборов. Эти отклонения достигают $0^m 3$ в показателе цвета.

После 3-й вспышки УФ-избыток еще увеличился, и на обеих диаграммах звезда прошла четко выраженную петлю (4–5–6) сначала сместившись

в синюю сторону (5), а затем возвратившись в исходную точку. На диаграмме $(V - R) - (B - V)$ звезда даже возвратилась к Главной последовательности в область нормальных звезд. Двигаясь по этой петле, новая достигла экстремальных величин $B - V = 0^m05$ и $U - B = -1^m1$. В верхней части петли становятся заметными уже быстрые орбитальные изменения показателей цвета, из-за чего рассеяние точек увеличивается. На диаграмме $(U - B) - (B - V)$ размер этой петли не столь велик, как у других новых. Самые большие петли проходят ONeMg-новые из-за появления сильных запрещенных линий неона в УФ-диапазоне. У V723 Cas размер петли был ограничен только величиной бальмеровского скачка.

Для вспышечных эпизодов, которые наблюдались на начальном спаде кривой блеска, выявлено такое характерное поведение:

- вспышечные эпизоды появлялись на всех стадиях новой. Первая вспышка привела к окончанию предмаксимальной стадии, последняя была уже в небулярной стадии;

- при увеличении яркости звезды показатели цвета становились более красными, а УФ и красный избытки уменьшались;

- блеск звезды ослабевал ниже среднего уровня спада перед 2-й, 3-й и 5-й вспышками. Хохол и Прибула [3] описывают это явление как эффект перекрытия (obscuration effect): “интересно, что стадии активности всегда следуют после перекрытия горячего компонента перетекающим веществом”;

- средний интервал между вспышками 180 дней [3], что следует из частотного анализа. Но этот интервал увеличивается со временем. Хохол и Прибула [3] объясняют 180-дневную периодичность и эффект перекрытия либо 1) всплесками переноса массы от красного к белому карлику из-за собственной переменности холодного компонента, либо 2) присутствием третьего тела — холодного гиганта, и всплесками переноса массы с него при прохождении периастра.

Можно предположить также, что наличие вспышечных эпизодов согласуется с формированием и эволюцией массивного аккреционного диска внутри выброшенной оболочки новой. Диск питается за счет потери массы подогретого вторичного компонента. В предмаксимальной стадии диск у V723 Cas сохранился из-за малой скорости истечения вещества при взрыве у этой новой. Его внешний край закрывает внутреннюю точку Лагранжа L1 от “звездного ветра” (состоящего из частиц — продуктов термоядерного горения) и давления излучения, исходящего из поверхности белого карлика, и препятствия истечению вещества со вторичного компонента отсутствуют. Перед каждым вспышечным эпизодом толщина аккреционного диска

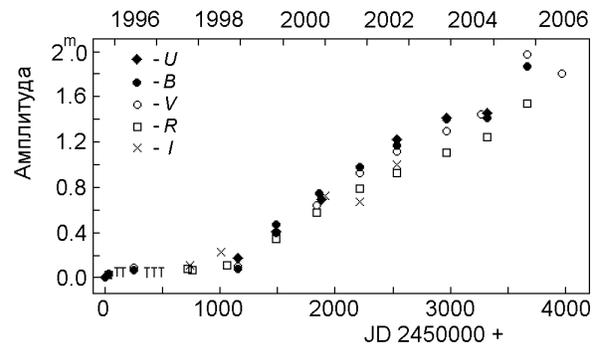


Рис. 4. Изменение амплитуды орбитальных периодических изменений блеска со временем в разных фильтрах. Отмечены также верхние пределы на периодическую составляющую, если такие изменения не наблюдались.

увеличивается, он экранирует все больше ветра и излучения около своей плоскости, и при большом наклонении орбиты мы увидим эффект перекрытия. При увеличении массы диска наступает момент, когда он теряет стабильность и обрушивается (возможно, частью своей массы) на поверхность белого карлика, что дает начало очередной вспышке, появлению ударных волн и выбросу новой газовой оболочки.

4. ОРБИТАЛЬНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ БЛЕСКА И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЦВЕТА

Во вспышечных эпизодах и между ними наблюдалась хаотическая переменность блеска на временах от нескольких часов до нескольких дней с амплитудами до 0^m5 . В этих изменениях мы не нашли какой-либо устойчивой периодичности. Наиболее значимые периоды, упоминавшиеся в [3], найдены в интервалах спокойствия между вспышками: 0^d6350 , и более близкий к орбитальному, 0^d6818 . Второй период подтвержден впоследствии нашими независимыми наблюдениями.

Орбитальный период $0^d69325 \pm 0^d00018$ был определен в работах [15, 16]. Ранние стадии эволюции орбитальной кривой блеска прослежены в [16]. По этим данным орбитальная периодическая переменность с амплитудой 0^m04 обнаружена уже в декабре 1996 г. Характерное время изменений блеска в этот период было близко к орбитальному периоду, но эти изменения не совпадали по фазе с орбитальными. Совпадение по фазе одного из фрагментов кривых блеска в декабре 1996 г. могло быть случайным, в то время как другие локальные минимумы хаотично распределены по орбитальным фазам (рис. 1 в [16]). Регулярная орбитальная переменность появилась в конце 1997 г. Интенсивное слежение с 14 сентября по 15 ноября 1997 г. (JD

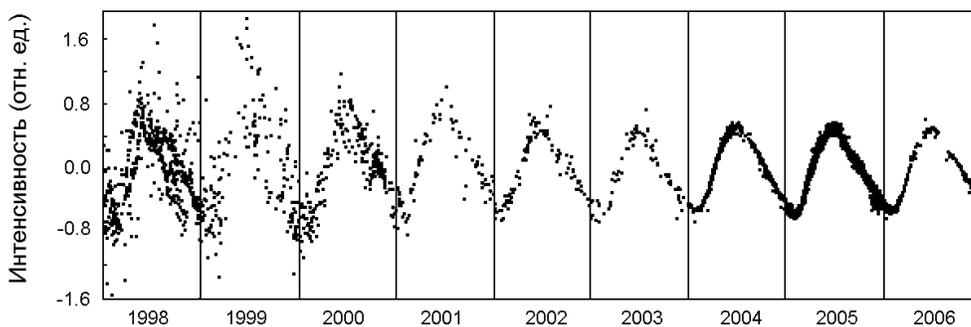


Рис. 5. Изменение орбитальной фазовой кривой интенсивности в полосе V с периодом $0^d.693265$ в разные годы в зависимости от времени. Тренд постепенного ослабления блеска в шкале интенсивности учтен.

2450706–2450768) позволило выявить синусоидальные изменения блеска с амплитудой $0^m.07$ с минимумом блеска, уже совпадающим по фазе с будущим четко выраженным главным минимумом. На кривой блеска видны как медленные тренды ослабления блеска, так и быстрая переменность. Наблюдения осени 1997 г. наводят на мысль, что вся система еще остается под общей фотосферой, в то время как внешние части оболочки уже достигли небулярного состояния.

В сентябре–декабре 1997 г. кривая блеска не имеет форму двойной волны, так что общая фотосфера не является вытянутой поверхностью, совпадающей с эквипотенциальной, как у слившихся двойных звезд, и не вращается вместе с компонентами. При этом кривая блеска с орбитальным блеском представляет собой одиночную волну за орбитальный период. Причина такой переменности вероятнее всего в неравномерном распределении яркости по фотосфере. Минимальная яркость совпадает с фазой нижнего соединения холодного карлика с горячим компонентом, и этот минимум может быть обусловлен экранированием потока излучения от горячего центрального источника холодным компонентом.

Как показал мониторинг V723 Cas, проведенный на обсерватории Вайз 3–7 сентября 1998 г. (JD 2451060–2451064) [16], в это время кривая блеска имела уже пилообразную форму. Если принять фазу минимума за нуль, фаза максимума будет около 0.3–0.4, а в фазе 0.6 иногда намечается некоторый спад блеска, который может быть вторичным минимумом. Возможно, это особенности затменной кривой блеска. Последующие наблюдения показывают, что форма кривой блеска остается в целом стабильной (хотя меняется ее уровень и уменьшается хаотическая переменность), и амплитуда во всех фотометрических полосах постепенно увеличивается (рис. 4). На рис. 5 показаны наблюдения в фильтре V в шкале интенсивности за последние 9 лет, начиная с 1998 г. Тренд интенсивно-

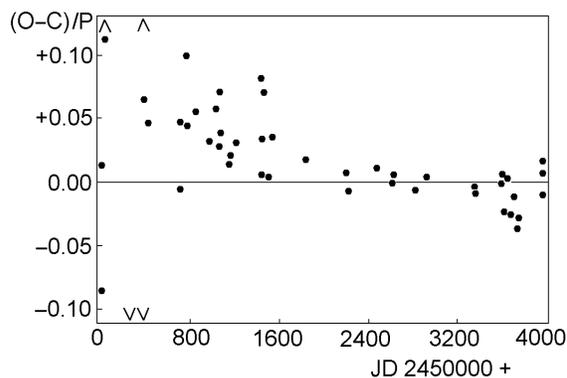


Рис. 6. O–C диаграмма (в долях периода), построенная относительно линейных элементов (3). Часть локальных минимумов кривых блеска не попадает в заданный диапазон, и отмечены специальными значками на краях рисунка.

сти на кривых блеска был учтен. Использовались элементы [24]:

$$Min = JD Hel. 2451842.666 + 0^d.693265 \times E. \quad (1)$$

На рис. 5 видно, что в шкале интенсивности и амплитуда орбитальной переменности, и форма кривой блеска в основном сохраняются до настоящего времени (2006 г.). Таким образом, можно сказать, что двойная система выделилась из общей оболочки в 1998 г., но вклад газовой туманности — остатка взрыва в суммарном блеске ослабевает значительно быстрее, чем вклад двойной системы. После выделения системы из общей фотосферы вспышки на нисходящей ветви кривой блеска уже не наблюдались.

Орбитальный период V723 Cas — один из самых больших среди классических новых. В списке Уорнера [31] орбитальных периодов новых это самый большой период. Повторные новые в системах с красными гигантами, однако, имеют еще большие орбитальные периоды. Например, T CgV имеет

Таблица 3. Моменты минимумов блеска V723 Cas

JD hel.24...	Прим.	JD hel.24...	Прим.	JD hel.24...	Прим.	JD hel.24...	Прим.
50009.569	V(n)	50767.45	WO	51467.64	SAI	53610.516	SAI
50009.638	B(n)	50849.226	SAI	51486.312	SAI(n)	53612.5950	SAI
50031.199	V WO	50968.454	SAI	51538.33	SAI	53628.5200	SAI
50031.234	B WO	51031.56	SAI	51842.666	SAI(n)	53633.3921	SAI
50260.392	B(n)	51061.35	WO	52200.390	SAI	53656.2497	SAI
50260.443	V(n)	51061.350	SAI(n)	52227.418	SAI	53701.3220	SAI
50381.46	WO	51063.46	WO	52473.544	SAI	53737.3555	SAI
50382.36	WO	51072.45	SAI	52611.498	SAI	53744.2944	SAI
50387.51	WO	51152.16	SAI	52623.288	SAI	53963.3941	SAI
50388.56	WO	51170.19	SAI	52819.4773	SAI	53965.4807	SAI
50428.401	SL/SP	51213.18	SAI	52914.4624	SAI	53972.3953	SAI
50706.369	WO	51438.53	SAI	53355.3824	SAI		
50720.964	WO	51441.27	SAI	53358.1570	SAI		
50757.706	WO	51445.41	SAI	53594.5650	SAI		

(n) – нормальный минимум, остальные – индивидуальные; WO – получен на обсерватории Вайз; SL/SP – получен на обсерваториях Стара Лесна/Скалнате Плесо; SAI – получен в ГАИШ.

орбитальный период 227.53 дня [32], а RS Oph — 455.72 дня [33]. Некоторые исследователи даже относят две эти системы к симбиотическим новым. Форма орбитальной кривой блеска V723 Cas напоминает форму кривой блеска повторной новой CI Aql в ее вспышке 2000 г. [34]. Эта новая тоже имеет большой и близкий к периоду V723 Cas орбитальный период 0^d.618355. По наблюдениям в спокойном состоянии CI Aql является затменной системой, поэтому подобная форма кривой блеска с широким асимметричным минимумом авторами трактуется как затменная. Широкое крыло на спаде главного затмения предполагает наличие аккреционного диска значительной яркости.

Стабильная кривая блеска в шкале интенсивности в течение 9-летнего периода наблюдений позволяет получить наиболее точное значение орбитального периода методом Лафлера-Кинмана [35] минимизации дисперсии кривой блеска. Однако, применение этого метода корректно только в предположении, что период не меняется в течение всего времени наблюдений. Этот метод дает элементы с несколько большим значением периода:

$$Min = JD Hel. 2453972.4151(\pm 35) + 0^d.6932757(\pm 3) \times E. \quad (2)$$

С 2001 г. приняты новые элементы:

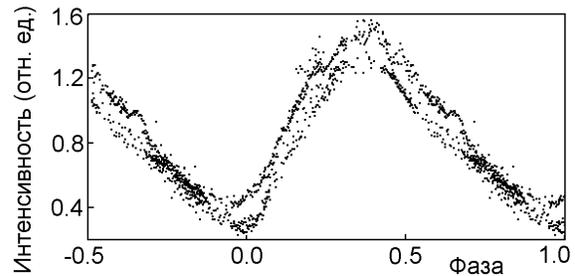


Рис. 7. Изменение уровня кривой блеска во второй половине 2005 г. Звезда стала слабее в интервале JD 2453608–2453634. При ослаблении суммарного блеска произошел сдвиг главного минимума (его фаза увеличилась) и на восходящей ветви появилась ступенька).

$$Min = JD Hel. 2452611.498 + 0^d.6932773 \times E. \quad (3)$$

Элементы (3) получены методом О–С. Использовались индивидуальные и нормальные (т.е. снятые со средней кривой блеска) моменты минимумов, приведенные в табл. 3. График изменения О–С со временем представлен на рис. 6. Видно, что орбитальный период увеличивается. Если до 2001 г. действительны элементы (1), то позднее действительны элементы (3). Причем около JD 2453600–2453700 некоторые минимумы блеска не удовлетворяют и элементам (3). Эти минимумы

относятся к сезону 2005 г. (на общей кривой блеска на рис. 1 этот сезон отмечен цифрой (7)). На рис. 7 показана кривая блеска в полосе V (в шкале интенсивности) в этот сезон. Видно, что уровень кривой блеска “раздвоился”. Оказывается, в узком диапазоне юлианских дат 2453608–2453634 уровень кривой блеска опустился вниз на 20%, а затем вернулся назад. При таком общем ослаблении блеска системы значительно, на 0.05 по фазе, сместилось положение главного минимума. Произошли изменения формы минимума: на выходе из минимума около фазы 0.10 появилась ступенька. Из анализа кривой блеска (рис. 7) очевидно, что источник света, который ответственен за такую переменность, расположен в системе таким образом, что виден в момент главного минимума и почти во всех орбитальных фазах, кроме диапазона 0.70–0.85, когда кривые блеска сливаются. Значительные сдвиги фазы главного минимума наблюдались и в августе 2006 г. Природа этих изменений формы кривой блеска пока не ясна.

Форма главного минимума также переменна. В некоторых затмениях наблюдалось “плоское дно”. У классических затменных звезд плоское дно в затмении появляется в тех случаях, когда компоненты системы имеют разные размеры, причем возможны два случая: полное затмение (покрытие большим компонентом меньшего) и частное затмение (прохождение меньшего компонента по диску большего компонента). Судя по малости цветовых изменений в затмениях у V723 Cas, это плоское дно образуется в результате прохождения вторичного компонента на фоне протяженного аккреционного диска, размер которого превышает диаметр вторичного компонента. В этих затмениях видны изломы кривой блеска, которые можно объяснить внутренними контактами — соединением лимба звезды с краями аккреционного диска при частном затмении. Продолжительность плоского дна (d) не постоянна, что видно в следующих 3-х затмениях:

JD hel. 24...	d (сут.)
53355.382	0.0403
53656.250	0.0597
53744.294	0.0494

А, значит, размер диска меняется. В некоторых затмениях плоское дно не наблюдается, падение блеска сразу сменяется подъемом. Иногда наблюдается изменение блеска между внутренними контактами, или “ступенька” на кривой блеска в середине затмения. Однако мы не заметили ступенек на нисходящей или восходящей ветвях главного

минимума, которые бы стабильно воспроизводились по фазе. То есть покрытия или открытия фотосферы белого карлика или его поверхности, на которой происходит термоядерное горение, в оптическом диапазоне не видны. Поэтому мы не смогли определить длительность затмения белого карлика. Наличие такого затмения можно установить только наблюдениями в далеком УФ или в рентгеновском диапазоне.

Локальные минимумы блеска в конце 1996 г. (JD 2450379–2450440) не удовлетворяют никаким элементам и хаотически разбросаны по фазам орбитального периода, хотя характерное время изменений блеска и тогда было близко ко времени орбитальных изменений. В это время карликовая система еще не выделилась из общей фотосферы, и изменения блеска не были связаны с орбитальным вращением системы и окружающего вещества.

Исследование орбитальных периодических изменений блеска в предмаксимальной стадии и далее в стадиях с общей фотосферой представляет особый интерес, так как может дать информацию о процессах, происходящих внутри “огненного шара”, т.е. оболочки, выброшенной при взрыве. Ранее, до декабря 1995 г. (JD < 2450057), никакой устойчивой кратковременной периодичности не было обнаружено [3, 16], но в более поздних стадиях в спокойном состоянии (JD 2450421–2450794) были выявлены два возможных периода 0.6350 и 0.6818 дня [3]. Наш периодограммный анализ с использованием всех накопившихся наблюдений подтверждает только второй период 0.6818 дня в тот же временной интервал. Другие значимые периоды отсутствуют, даже если удалить медленные тренды кривой блеска и вспышки. Хаотическая составляющая переменности в это время была очень большой.

Теперь, имея хорошо известный орбитальный период, мы можем относить события на кривой блеска к орбитальным фазам (ϕ), изучать фазовые зависимости разных типов хаотической переменности. Для этого мы проделали несколько цифровых экспериментов с нашими наблюдениями.

Сначала для наблюдений в стадии общей фотосферы (JD 2449960–2450700) мы удалили общий тренд кривой блеска и для остатков построили фазовые зависимости с элементами (1). Эти зависимости показали, что вспышки, поярчания и ослабления блеска независимы от орбитальной фазы и потому относятся ко всей фотосфере в целом. А затем мы исключили самые яркие вспышки из этого ряда и вычистили ряд от низкочастотных шумов. Для такой чистки использовался метод Фурье. Последовательно мы “отбеливали” данные от периодических составляющих частотного спектра в области $P \gtrsim 10$ дней, пока верхний уровень шума спектра не опустился ниже 0^m03 . “Отбеливание”

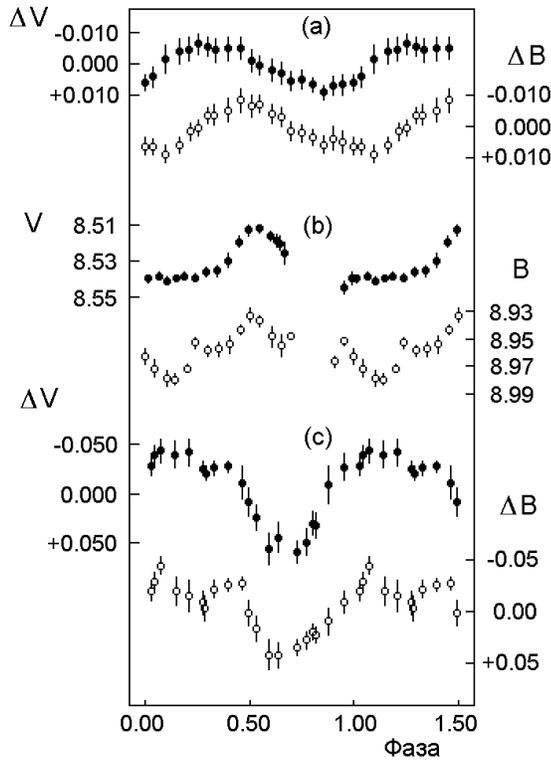


Рис. 8. (а) Орбитальные средние кривые блеска в полосах B и V , построенные по всем фотоэлектрическим наблюдениям в предмаксимальной стадии. (б) Орбитальные средние кривые блеска в полосах B и V , построенные в результате ПЗС-мониторинга 9 и 11 декабря 1995 г. (с) Орбитальные средние кривые в полосах B и V , полученные с 16 мая по 25 июля 1996 (JD 2450220–2450290) – в спокойном состоянии между 2-й и 3-й вспышками. При построении средних кривых долгопериодические тренды были удалены.

(prewhitening) — это часто используемая процедура, при которой вычитается средняя сглаженная кривая блеска данного периода из наблюдений. Затем мы осреднили и сгладили остаточную фазовую кривую с орбитальным периодом методом скользящего среднего. В остатках обнаруживается малоамплитудная ($\sim 0^m 04$) орбитальная волна с минимумом блеска в фазе $\phi \approx 0.75$.

Затем мы проделали такое исследование отдельно для предмаксимальной стадии и для интервалов спокойного блеска между вспышками. Результаты такие.

В предмаксимальной стадии (JD 2449960–2450058) слабая фазовая зависимость блеска от орбитального периода имеется. Средние кривые блеска в фильтрах B и V показаны на рис. 8а. В обоих фильтрах это кривые блеска с одиночной волной за период орбиты с амплитудой $0^m 014$. Данные включают по 592 наблюдения в каждом фильтре. Положение минимума волны по фазе немного зависит от фильтра и набора данных.

Минимум блеска попадает в диапазон фаз $\phi = 0.8 - 1.2$. В предмаксимальной стадии имеются две ночи интенсивного мониторинга новой на обсерватории Вайз (рис. 8б). Слежение проводилось в течение двух близких ночей JD 2450031 и JD 2450033 и подтверждает этот результат даже без чистки этих данных, но со сглаживанием методом скользящего среднего. Амплитуда изменений около $0^m 02$, а фаза минимума близка к нулю. Так что гипотеза “огненного шара” с неоднородной поверхностной яркостью подтверждается малоамплитудной переменностью в предмаксимальной стадии, причем меньшая яркость наблюдается в тех фазах, когда вторичный холодный компонент находится около нижнего соединения с белым карликом.

Изменения блеска с орбитальной фазой были обнаружены также в интервале времени JD 2450220–2450290, в спокойном состоянии после 2-й вспышки (рис. 8с). Использовалось 106 наблюдений. Ранее мы интерпретировали эту стадию как переход внешних частей расширяющейся оболочки в оптически тонкое состояние, для которого характерен сильный красный избыток из-за рекомбинации водорода. Снова видна одиночная волна на кривой блеска с амплитудами $0^m 10$ в полосе V и $0^m 08$ в B . Новая была систематически слабее около орбитальной фазы $\phi \approx 0.65$. Предполагается, что в это время из-за усиленного темпа переноса массы аккреционный диск (внутри “огненного шара”) имел утолщенный край со стороны аккреционного потока. Общая толщина диска также привела к ослаблению блеска ниже среднего уровня спада блеска перед 3-й вспышкой.

Орбитальные фазовые изменения блеска не были обнаружены в следующие временные интервалы:

- JD 2450090–2450125, 152 набл. V , в спокойном состоянии после 1-й вспышки;
- JD 2450150–2450170, 41 набл. V , колебания блеска во 2-й вспышке;
- JD 2450347–2450384, 489 набл. V , на спаде после 3-й вспышки;
- JD 2450382–2450470, 710 набл. V , в спокойном состоянии после 4-й вспышки;
- JD 2450470–2450515, 94 набл. V , колебания блеска в 5-й вспышке.

На рис. 9 показаны орбитальные кривые блеска в V и показатели цвета, полученные в 2002 г. в небулярной стадии. Использовались элементы (1). Фотоэлектрические UBV -наблюдения нанесены заполненными кружками, а ПЗС $BVRI$ -наблюдения – крестиками. Слабые орбитальные изменения видны почти во всех цветах за исключением $U - B$ (как мы считаем, из-за более низкой точности измерений в фильтре U). Амплитуды цветовых изменений составляют приблизительно $0^m 15$

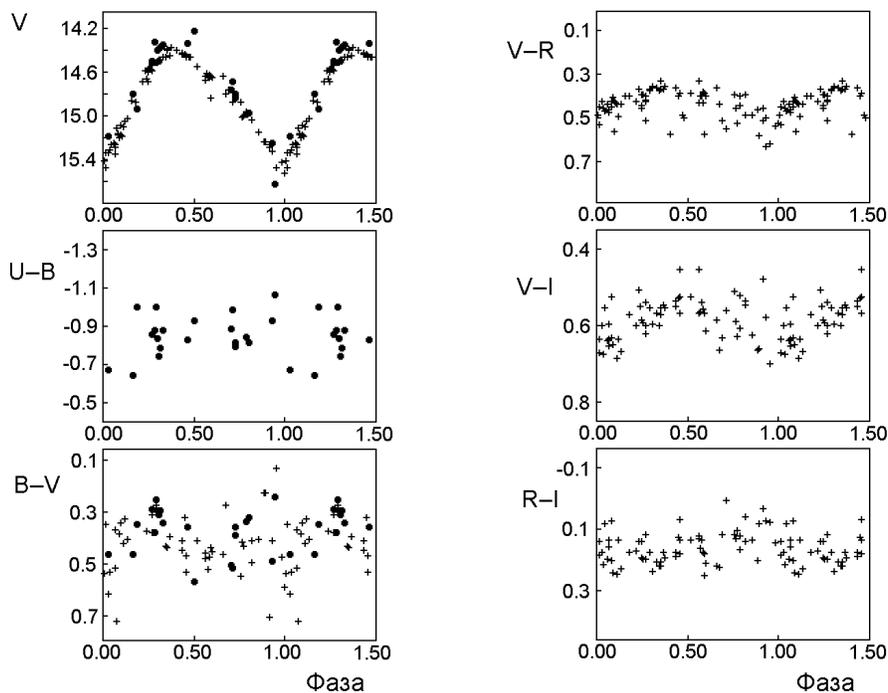


Рис. 9. Орбитальные изменения показателей цвета по наблюдениям 2002 г. Черные кружки — фотоэлектрические UBV -наблюдения, крестики — ПЗС $BVRI$ -наблюдения.

в $B - V$ и $V - R$, 0^m20 в $V - I$. В минимуме блеска звезда становится краснее в цветах $B - V$, $V - R$ и $V - I$, но в цвете $R - I$ становится более голубой. Тот факт, что кривые цветов $V - R$ и $R - I$ находятся в противофазе, несомненно объясняется присутствием в фильтре R сильной эмиссионной линии H_{α} . Спектроскопия позволяет сделать вывод, что орбитальные изменения показателей цвета зависят от относительного вклада ярких эмиссионных линий оболочки в полосы пропускания фильтров (H_{β} и H_{γ} в фильтре B , и H_{α} в фильтре R). При этом вклад эмиссионных линий практически не меняется, но спектральный континуум показывает изменения значительной амплитуды в зависимости от орбитальной фазы. Так как линия H_{α} — самая сильная в оптическом спектре новой, амплитуда кривой блеска в полосе R — самая малая в сравнении с другими фильтрами (см. рис. 4). Вклад этой эмиссионной линии в полосу R составлял в январе 2001 г. 65%.

Орбитальная кривая блеска $V723\ Cas$ имеет несимметричную пилообразную форму с более пологой нисходящей ветвью и крутой восходящей, причем максимум блеска наступает в фазах $0^p.35 - 0^p.40$. Амплитуда орбитального изменения достигает 1^m9 в полосе V . Основными источниками света в системе является аккреционный диск и обращенная к нему часть поверхности холодного компонента. Горячее пятно на поверхности холодного компонента образуется из-за переизлучения

потоков коротковолновой радиации, приходящих с поверхности горячего белого карлика в УФ-диапазоне и в мягком рентгене, а также из-за высокоскоростного звездного ветра, формирующегося при термоядерном горении водорода на поверхности белого карлика. Это так называемый “эффект отражения”. Оба источника света могут объяснить столь большую амплитуду орбитальной переменности лишь в случае большого наклона орбиты. Механизмы этой переменности — орбитальное вращение холодного компонента с горячим пятном и частное затмение аккреционного диска холодным компонентом. Действие этих двух механизмов в известной рентгеновской системе $HZ\ Her$ ($Her\ X-1$) обуславливает симметричную кривую блеска такой же амплитуды, как у $V723\ Cas$. Асимметрия кривой блеска у $V723\ Cas$ может быть связана только с более высоким темпом аккреции в сравнении с $HZ\ Her$, из-за чего аккреционный диск $V723\ Cas$ более толстый. Его внешний край более широкий в области столкновения газового потока на краю диска с потоком, падающим с холодного компонента через точку Лагранжа $L1$. Поэтому при большом наклоне орбиты наиболее горячая центральная часть аккреционного диска видна лучше сразу после затмения и около первой элонгации, когда аккреционный поток расположен на противоположной стороне от наблюдателя.

Таблица 4. Спектральные наблюдения V723 Cas на БТА

JD hel.24...	Дата	Время UT	Фаза	Диапазон (Å)	Разрешение (Å)	Прибор
51933.450	2001.01.23	22:48:30	0.952	4320–6740	8.5	UAGS
52853.519	2003.08.02	0:28:00	0.105	6020–7250	3.5	UAGS
53209.495	2004.07.22	23:51:31	0.582	3980–5740	4.5	SCORPIO
53328.181	2004.11.18	16:14:35	0.780	3970–5740	4.5	SCORPIO
53621.496	2005.09.07	23:51:11	0.874	3960–5740	4.5	SCORPIO

5. СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Спектры V723 Cas были получены на 6-м телескопе БТА со спектрографами UAGS и SCORPIO в 2001–2005 гг. Спектральное разрешение 3.5–8.5 Å. V723 Cas была резервным объектом в заявках на время на БТА, и наблюдения проводились, как правило, при ухудшении погодных условий: в прорывах облаков, сквозь циррусы или при плохих изображениях до 5". Все спектры получены с длинной щелью, что дает возможность корректно вычитать фон неба. Отношение сигнал/шум для всех спектров не менее 20–30 для континуума в районе 5100Å. Спектры обработаны с использованием программного пакета MIDAS в контексте LONG. В каждую ночь было получено, как правило, по 2 спектра, которые были суммированы. Затем все спектры были нормализованы путем деления на сглаженный континуум. На графиках мы приводим относительные интенсивности в долях континуума. Для определения потоков в линиях использовались наши многоцветные наблюдения, полученные в период проведения спектральных наблюдений с учетом фазы орбитального периода. В табл. 4 приведены даты, время (UT) середины экспозиции, орбитальная фаза, рассчитанная по элементам (1), спектральный диапазон и разрешение. Наши спектральные наблюдения выполнены в небулярной стадии позднее наблюдений [7, 12].

Новая имеет типичный небулярный спектр с сильными запрещенными линиями высокоионизованных элементов. Горячий звездный континуум также силен. Вклад эмиссионных линий в фотометрическую полосу *B* менялся в 2001–2005 гг. в пределах от 37 до 8%, в полосу *V* от 29 до 7%. Наклон континуума согласуется с межзвездным покраснением $E(B - V) = 0^m6$. Показатели цвета звездного континуума за вычетом вклада эмиссионных линий составили $B - V = 0^m38 \pm 0^m10$ ($(B - V)_0 = -0^m2$) и $V - R = 0^m15 \pm 0^m10$.

Спектр, полученный в январе 2001 г. (рис. 10 и 11, верхний спектр на каждом рисунке), напоминает наиболее поздние спектры 1997–1998 гг.,

Таблица 5. Идентификация линий в спектрах V723 Cas 2001–2003 гг.

Line	$\lambda(\text{Å})$	EW(Å)	Line	$\lambda(\text{Å})$	EW(Å)
H ϵ	3970	-0.6	[Ca V]	5309	-17.1
He II	4025	-1.8	[Fe VI]	5336	-3.4
C III	4069	-1.6	He II	5411	-26.0
H δ	4101	-6.1	[Ca VII]	5619	-38.4
He II	4199	-1.9	[Fe VI]	5678	-5.8
H γ	4340	-38.5	[Fe VII]	5720	-97
O II	4415	-2.5	[N II]	5755	-19.9
He I	4471	-2.5	C IV	5802	-5.7
He II	4541	-9.2	He I	5876	-10.3
[Fe IX]	4585	-3.0	[Fe VII]+[Ca V]	6086	-183
[Fe III]	4607	-1.6	He II	6120	-0.5
N III	4640	бленда	He II	6234	-2.4
C III	4650	бленда	He II+[S III]?	6311	-8.4
C IV+[Fe III]	4660	-1.9	[Fe X]	6374	var.
He II	4686	-146	He II	6406	-1.7
H β	4861	-120	[Ar V]	6435	-6.3
[Fe VII]	4894	-13.0	O V	6466	-0.4
[Fe VII]	4942	-38	Fe XVII	6501	-1.6
[Fe VI]	4971	бленда	He II	6527	-1.8
[Fe VII]	4989	-11	N II	6583	-4.2
[O III]	5007	-20	H α	6563	-660
[Fe VII]	5158	-25	He II + He I	6683	-7.5
[Fe VI]	5177	-12.9	He II	6890	-4
[Fe IV]	5234	-1.7	[Ar V]	7006	-4.6
[Fe VII]	5276	-38	He I	7065	-2.9
He отожд.	5293	-5	[Ar III]	7135	-2.7

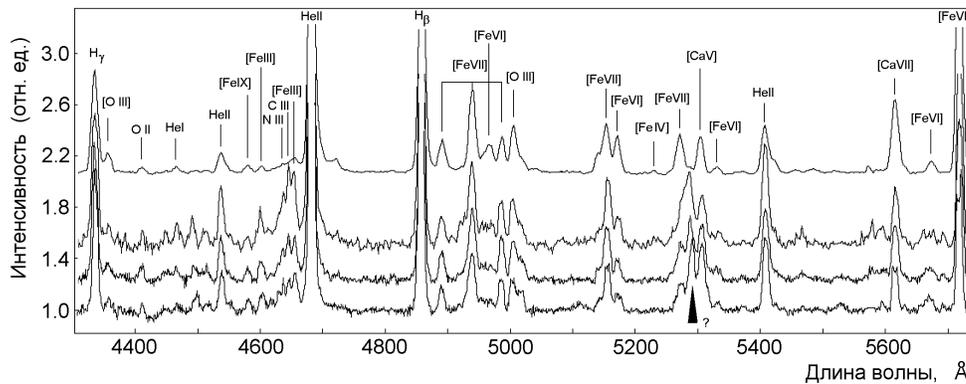


Рис. 10. Спектры V723 Cas в диапазоне $\lambda 4300\text{--}5730\text{\AA}$, полученные 23.01.2001; 22.07.2004; 18.11.2004 и 07.09.2005 (сверху вниз). Отождествлены основные эмиссионные линии. Знаком "?" отмечена неотжествленная линия, появившаяся в фазе SSS.

описанные в работах [7, 12]. Мы проверили идентификацию линий по атомным базам данных Колуцци [36] и NIST [37]. Результаты отождествлений и эквивалентные ширины линий даны в табл. 5. Точность определения эквивалентных ширин около 5% в большинстве случаев. Относительные интенсивности эмиссионных линий заметно изменились по сравнению с 1997–1998 гг. Самые сильные линии в оптическом спектре H_α , бленда [Fe VII]+[Ca V] $\lambda 6086\text{\AA}$, He II $\lambda 4686\text{\AA}$, H_β , [Fe VII] $\lambda 5720\text{\AA}$, H_γ . Присутствие [Ca V] в бленде $\lambda 6086\text{\AA}$ подтверждается наличием еще одной линии [Ca V] на $\lambda 5309\text{\AA}$.

В спектре, полученном в январе 2001 г., линия He II $\lambda 4686\text{\AA}$ сильнее линии H_β . Отношение интенсивностей этих линий обратное по сравнению с декабрем 1997 г. [12]. В дальнейшем линия He II $\lambda 4686\text{\AA}$ еще больше усиливалась относительно H_β . Потoki в этих линиях приведены в табл. 6. При вычислении потоков межзвездное покраснение $E(B - V) = 0^m57$ учтено.

Известно, что отношение потоков в линиях H_β и He II $\lambda 4686\text{\AA}$ в туманности отражает температуру источника ионизирующего излучения. Потoki в эмиссиях H I и He II зависят от излучения центральной звезды за пределами серии Лаймана и основной серии He II. Амбарцумян [38] предложил метод оценки температуры центральной звезды туманности в предположении, что распределение энергии звезды планковское. Считалось, что этот метод дает завышенные значения (верхние пределы) температуры звезд (см., например, [39]). Билс [40] предположил, что количество излученных квантов He II $\lambda 4686\text{\AA}$ равно только половине от полного количества квантов, поглощенных ионами He II в далеком ультрафиолете в околзвездной туманности. Мы использовали формулу Амбарцумяна и

поправку Билса для оценки температуры V723 Cas и сравнили полученные значения с температурой, определенной на КО Swift в [13] путем представления распределения энергии в мягком рентгеновском диапазоне планковским распределением. Как оказалось, наилучшее согласие получается без учета поправки Билса. Полученные температуры также приведены в табл. 6, а на рис. 12 на фоне оптической (V) и радиокривой блеска показано изменение температуры источника SSS у V723 Cas. Нужно отметить, что форма профилей линий He II заметно не отличается от водородных линий (см., например, рис. 24 в [7]. Температура центральной звезды системы V723 Cas в 2005–2006 гг., определенная этим методом, в 3–4 раза выше, чем температура белых карликов и центральных звезд планетарных туманностей. Очевидно также (см. табл. 6), что фотосфера белого карлика не охлаждается после вспышки, как предполагалось в [18], наоборот, ее температура увеличивается со временем. Такая высокая температура и есть причина сильного эффекта отражения, который наблюдается у V723 Cas.

В спектре с наиболее высоким спектральным разрешением, полученном на БТА в августе 2003 г. (рис. 13), самые сильные линии имеют двугорбую структуру. Спектры Иидзимы ([7], рис. 23 и 24) в небулярной стадии, полученные в 1998 г. с более высоким разрешением, демонстрируют более сложную структуру профилей с множеством мелких пиков, которая не видна в наших профилях. Это свидетельствует об облачной структуре выброса. Тем не менее в спектрах высокого разрешения также видна общая тенденция усиления эмиссии от центра к краю профиля, которая при низком разрешении выглядит как двугорбая структура. Это означает, что сброшенная оболочка новой в грубом приближении представляет собой полую сферу —

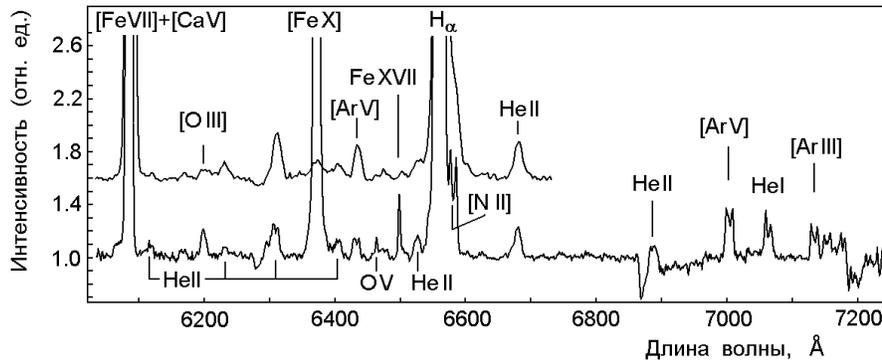


Рис. 11. Спектры V723 Cas в диапазоне $\lambda 6020\text{--}7250\text{\AA}$. Даты получения спектров на БТА (сверху вниз) следующие: 23.01.2001 и 02.08.2003. Отождествлены основные эмиссионные линии.

оболочку, которая состоит из крупных фрагментов — облаков. Поэтому двугорбую структуру мы называем “оболочечной структурой”. Центр линии H_{α} соответствует скорости -65 км/с . Скорость расширения оболочки, измеренная как половина разности скоростей в максимумах интенсивности этих горбов, составляет 170 км/с . Полуширина линии H_{α} $\text{FWHM} = 580\text{ км/с}$, полная ширина, измеренная на уровне континуума, $\text{FWZI} = 1200\text{ км/с}$. Измерения скорости расширения оболочки по 5-ти другим эмиссионным линиям в нашем спектре попадают в диапазон $153\text{--}177\text{ км/с}$, и, вероятно, этот разброс отчасти вызван ошибками измерений.

При столь высокой температуре ионизирующего источника в спектре V723 Cas представлен почти полный набор слабых линий He II. Повышенная яркость линии He II $\lambda 6311\text{\AA}$ может быть связана с блендированием дублетом [S III] [12] или дублетом S II [4]. Запрещенные линии серы видны также в ближнем ИК-диапазоне [41, 42]. Линия на $\lambda 6683\text{\AA}$ может быть блендой He II и He I $\lambda 6678\text{\AA}$. Линии He I у V723 Cas относительно слабы (см. табл. 5). Слаба также боуэновская бленда C III/N III на $\lambda 4634\text{--}4651\text{\AA}$. В то же время линия [N II] $\lambda 5755\text{\AA}$ относительно сильна, что характерно для новых в небулярной стадии. Линии железа в разных стадиях ионизации очень хорошо представлены в наших спектрах. Запрещенные линии ионов низкой степени ионизации [Fe III]–[Fe V] наблюдались в ИК-диапазоне [42] и подтверждаются в оптическом диапазоне [7]. В наших спектрах отождествлены две линии [Fe III] $\lambda 4607\text{\AA}$ и 4658\AA . Линия [Fe IV] $\lambda 5234\text{\AA}$ видна только в первом спектре 23 января 2001 г., но в более поздних спектрах не превышает уровень шума. Эмиссионную линию на $\lambda 4072\text{\AA}$, отождествленную в [7] с [Fe V], мы относим к триpletу C III (4067.87 , 4068.97 , 4070.30\AA), так как в нашем спектре ви-

ден еще один столь же сильный триплет C III в составе боуэновской бленды (4647.40 , 4651.35 , 4652.16\AA). Корональные линии [Fe VI] и [Fe VII] находятся в числе самых ярких линий оптического спектра. Их поведение описывалось в [7, 12]. В [7] была обнаружена слабая эмиссия [Fe X], которая наблюдается и в солнечной короне. Корональные линии, как и линии водорода, имеют стандартные двугорбые профили (рис. 13), и это означает, что они формируются в оболочке. Согласно [7], линия [Fe X] была не видна до сентября 1999 г., впервые замечена в конце ноября 1999 г. ($\text{JD} \sim 2451510$) и усилилась после 15 октября 2001 г. ($\text{JD} \sim 2452197$). Мы наблюдали усиление потока от линии [Fe X] на порядок величины, от 3×10^{-14} до $3 \times 10^{-13}\text{ эрг/см}^2\text{с}$ (межзвездное покраснение $E(B - V) = 0^{m}57$ учтено) между январем 2001 г. и августом 2003 г. ($\text{JD} 2451933\text{--}2452853$). Это усиление линии наблюдалось на фоне постепенного спада блеска новой и ослабления других небулярных линий.

Излучение [O III] представлено двумя слабыми линиями $\lambda 4363\text{\AA}$ и 5007\AA . Есть линии [Ar V] на $\lambda 6435\text{\AA}$ и на $\lambda 7006\text{\AA}$, а также [Ar III] на $\lambda 7135\text{\AA}$.

В более поздних спектрах 2003–2005 гг. не заметно существенных изменений в сильных линиях, но появилось несколько слабых и узких эмиссий, профили которых не имеют “оболочечную” структуру. Это $\lambda 5293.2$, 6466.4 и 6500.5\AA . Эти линии не упоминаются в ранее опубликованных работах. Линию $\lambda 6466.4\text{\AA}$ мы отождествили с O V, а $\lambda 6500.5\text{\AA}$ с Fe XVII. Профили этих двух линий показаны на рис. 13 справа. Появление этих линий, очевидно, связано с усилением рентгеновского излучения SSS. Линия $\lambda 5293.2\text{\AA}$ еще не наблюдалась в астрофизических объектах и отсутствует в списке Мейнела и др. [43]. Она близка по положению к [Fe XIV] 5303\AA , которая наблюдается в

Таблица 6. Потоки в линиях H β и He II λ 4686 Å и оценки температуры ионизирующего источника

JD hel.	F(H β) эрг/см ² с	F(HeII 4686) эрг/см ² с	τ F(H β)/F(HeII)	T* (K)	Источник
2400000+					
50800			1.86	195000	Жу и Ханг (1999)
51933.450	$3.53 \cdot 10^{-12}$	$4.35 \cdot 10^{-12}$	0.81	280000	наст. работа
53209.495	$4.84 \cdot 10^{-13}$	$8.90 \cdot 10^{-13}$	0.54	340000	—//—
53328.181	$4.02 \cdot 10^{-13}$	$6.03 \cdot 10^{-13}$	0.67	306000	—//—
53621.496	$3.16 \cdot 10^{-13}$	$4.80 \cdot 10^{-13}$	0.66	310000	—//—

солнечной короне и у других объектов класса SSS. Однако различие в 10Å не позволяет отождествить эту линию с [Fe XIV]. Источником излучения в этих линиях может быть аккреционный диск или подогретая рентгеновским излучением сторона вторичного компонента.

В наших спектрах видны также межзвездные линии Na I D₂ и D₁. Их суммарная эквивалентная ширина 1.8Å, что хорошо согласуется с величиной 1.96Å в [12]. Еще видна диффузная межзвездная полоса около λ 6280Å (EW = 2.2Å).

6. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

V723 Cas — очень медленная новая с большим наклоном орбиты. Это обстоятельство позволило нам изучать взаимодействие выброшенной при взрыве оболочки с компонентами двойной системы. В первые месяцы после взрыва скорость расширения выброса составила 160 км/с, что недостаточно, чтобы разрушить первоначальный аккреционный диск около белого карлика в двойной системе. Поэтому аккреционный диск, вероятно, сохранился внутри “огненного шара”, состоящего из продуктов взрыва. По нашему мнению, вторичный компонент системы — холодная звезда, оказавшаяся в период с 1995 по 1997 г. внутри общей фотосферы, — разогревается и расширяется в результате взрыва, переполняет полость Роша, и темп истечения массы через точку Лагранжа L1 значительно увеличивается. Этот процесс еще не изучен методами моделирования. Холодные карлики имеют конвективные оболочки, и поэтому механизмы такого подогрева могут существовать.

Наши наблюдения новой в предмаксимальной стадии показали, что поверхность окружающей систему расширяющейся фотосферы оказалась неоднородной по яркости из-за экранирования излучения и ветра, исходящего от центрального источника, аккреционным диском и вторичным компонентом. Аккреционный диск быстро пополнялся в результате повышенного темпа переноса массы. Временами из-за неустойчивости часть его вещества

обрушивалась на поверхность белого карлика, на которой продолжалось термоядерное горение водорода, и это вызывало повторяющиеся вспышки звезды на спаде блеска и выброс новых расширяющихся газовых оболочек. Такой сценарий первых стадий вспышки может быть построен на основе имеющихся наблюдательных фактов. Эти факты — малоамплитудная орбитальная периодическая переменность в предмаксимальной стадии с минимумом блеска около фазы нижнего соединения холодного компонента, а также ослабление блеска перед вспышками, которое можно объяснить увеличением толщины диска при увеличении его массы в результате повышенного темпа переноса вещества со вторичного компонента.

Повторяющиеся вспышечные эпизоды на спаде блеска — частое явление у классических новых. У V723 Cas этот феномен изучен недостаточно методами спектроскопии, кроме первой вспышки в декабре 1995 г. DK Lac (N Lac 1950) — другая новая с повторяющимися вспышками на спаде блеска, которые наблюдались и в небулярной стадии. Звезда исследована в [44, 45]. При каждой вспышке небулярный спектр DK Lac эволюционировал в сторону уменьшения степени ионизации, как только блеск звезды увеличивался. Относительные интенсивности эмиссий He II и [O III] ослабевали, а He I и [N II] усиливались, появлялись абсорбционные линии N III. На спаде вспышек происходили противоположные изменения: степень ионизации увеличивалась. Горбацкий и Минин [45] объясняют это выбросом новой, более плотной оболочки при каждой вспышке. Эта оболочка перекрывает коротковолновое ионизирующее излучение от центральной звезды, что сказывается на уменьшении степени ионизации. Какова же природа такой оболочки?

Декабрьская 1995 г. вспышка V723 Cas сопровождалась покраснением показателей цветных индексов (рис. 2) и появлением позднего абсорбционного спектра (F0Ia). При других сильных вспышках заметно покраснение в показателе цвета B – V, несмотря даже на то, что спектр звезды

эмиссионный. Так что во время вспышек в фотосфере появляется плотный и холодный газ. Термоядерное горение на поверхности белого карлика не может быть причиной таких выбросов. Остается предположить, что этот холодный газ обрушивается на белый карлик из массивного аккреционного диска, а затем ускоряется ветром и лучевым давлением, образуя новую расширяющуюся оболочку. Природа неустойчивости массивного диска пока не ясна. Поиск сверхгорбов на кривой блеска — другой путь для обнаружения аккреционного диска внутри общей фотосферы. У новой V1974 Cyg такие сверхгорбы наблюдались долгое время одновременно с орбитальными изменениями блеска [46]. Сверхгорбы на кривой блеска появляются из-за прецессии эксцентричного аккреционного диска под влиянием сильного аккреционного потока. Так как орбитальный период V723 Cas очень длительный, это предполагает большое отношение масс ($q = M_{donor}/M_{compact} \sim 1$). Теоретический предел для сверхгорбов $q \lesssim 0.33$, теория не предсказывает сверхгорбы для этой системы. Однако результаты Реттера и др. [47] по TV Col, вероятно, показывают, что этот предел отношения масс может быть больше, до 0.92. Мы исследовали наблюдения V723 Cas на предмет вторичных периодов, но не нашли следов сверхгорбов. Период 0^d.6818, близкий к орбитальному, найденный в [3] во временном интервале JD 2450421–2450794, то есть в фазе с общей фотосферой, вряд ли можно трактовать как период сверхгорбов, так как он меньше орбитального периода.

С июля 1997 г. новая уже была в небулярной стадии, но позднее, в сентябре — ноябре 1997 г. система находилась еще под общей фотосферой. Пилообразная орбитальная кривая блеска впервые замечена 3–7 сентября 1998 г. (JD 2451060–2451064). Впоследствии эта асимметричная форма кривой блеска сохраняется, изменяется только ее амплитуда. Асимметрию можно объяснить высоким темпом аккреции, затмениями аккреционного диска и горячим пятном на поверхности спутника, обращенной к белому карлику. С появлением пилообразной кривой блеска температура фотосферы белого карлика превысила 200000 К. В это время белый карлик еще сохранял оболочку, которая препятствовала выходу на поверхность радиации термоядерного горения, и в этой оболочке были возможны пульсации.

Усиление потока в линии [Fe X] на порядок произошло между январем 2001 г. и августом 2003 г. (JD 2451933 – 2452853) на фоне ослабления блеска и потоков в сильных небулярных эмиссионных линиях. Именно с этим событием мы связываем появление источника сверхмягкого рентгеновского излучения SSS. Происхождение корональной линии [Fe X] в спектре V723 Cas, по-видимому,

иное, чем в солнечной короне. В солнечной короне присутствует плазма с температурой в несколько миллионов градусов, которая формируется МГД-волнами. Источником ионизации [Fe X] у V723 Cas является рентгеновское излучение и потоки частиц, образующиеся в результате термоядерного горения на поверхности белого карлика.

Иидзима [7], анализируя спектры новых, задает вопрос: “Почему очень быстрые и экстремально медленные новые показывают линию [Fe X], а нормальные медленные новые не показывают?” Ответ очевиден: линия [Fe X] появляется у тех новых и в тех стадиях, когда мы видим напрямую термоядерное горение на поверхности белого карлика, то есть SSS. Вспышка новой начинается термоядерным взрывом на дне водородной оболочки белого карлика, которая образовалась в результате аккреции, и рентгеновское излучение термоядерного горения задерживается и перерабатывается этой выброшенной оболочкой. Если горение прекращается еще до того, как оболочка рассеется и станет прозрачной для рентгеновского излучения, то у такой новой звезды мы не увидим источник класса SSS и линию [Fe X] в небулярной стадии. У новой V723 Cas, вероятно, существует механизм пополнения термоядерного горячего через аккреционный диск за счет повышенного темпа аккреции. Поэтому мы можем наблюдать длительный процесс термоядерного горения и линию [Fe X] долгое время. У V723 Cas источник мягкого рентгеновского излучения наблюдается в рекордно поздней стадии — на 11-й год после вспышки.

Ранее у некоторых новых было открыто рентгеновское излучение на поздних стадиях вспышки. Первое открытие источника класса SSS относится к GQ Mus на КО EXOSAT [48]. Фаза SSS у этой звезды сопровождалась остановкой падения визуального блеска на один год (плато) после первичного спада блеска на 4^m. Причем в далеком УФ-диапазоне на КО IUE с появлением SSS была зарегистрирована повторная вспышка, которая в оптическом блеске никак не проявилась. В оптическом спектре звезды тогда появились корональные линии высокой ионизации [Fe X] $\lambda 6374 \text{ \AA}$ и [Fe XIV] $\lambda 5303 \text{ \AA}$. Такое явление было необычным для быстрых новых.

Такое же плато наблюдалось на кривых блеска двух повторных новых CI Aql и RS Oph в их вспышках, соответственно в 2000 и 2006 гг. [34, 49]. Появление этих плато связывают с фазой SSS. У RS Oph источник класса SSS наблюдался на КО SWIFT и “выключился” на 80-й день после вспышки. А плато наблюдалось с 40-го по 75-й день на уровне $y \sim 10^{m-2}$ ($\lambda \sim 5470 \text{ \AA}$, $\Delta\lambda = 230 \text{ \AA}$). В широких полосах системы *UBV* во время плато наблюдается медленный спад, который, вероятно,

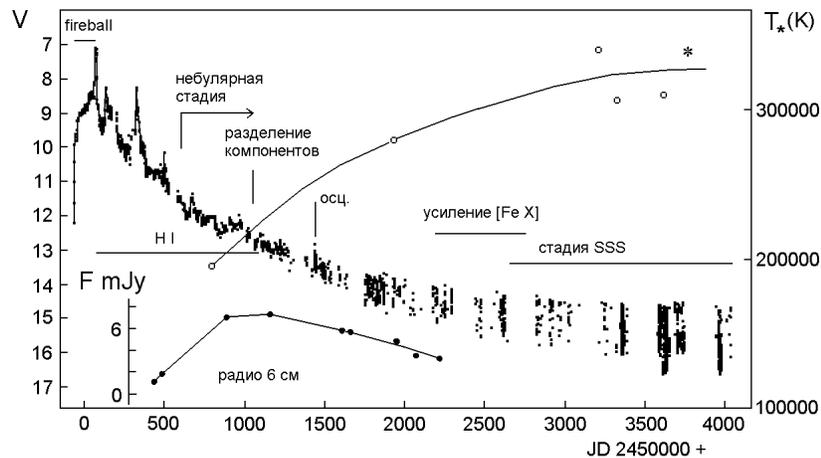


Рис. 12. Сравнение кривой блеска V723 Cas в полосе V с кривой потока в радиодиапазоне на длине волны 6 см и с кривой температуры фотосферы белого карлика. Выделены фазы “оптически толстого огненного шара” (fireball), перехода в оптически тонкое состояние и водородной рекомбинации (H I), небулярной стадии, стадии SSS. На кривой блеска также показаны моменты выделения компонентов из общей фотосферы и разделения компонентов, наблюдения осцилляций (осц.) и усиления эмиссии [Fe X]. Звездочкой нанесена температура белого карлика, измеренная в рентгеновском диапазоне на КО Swift.

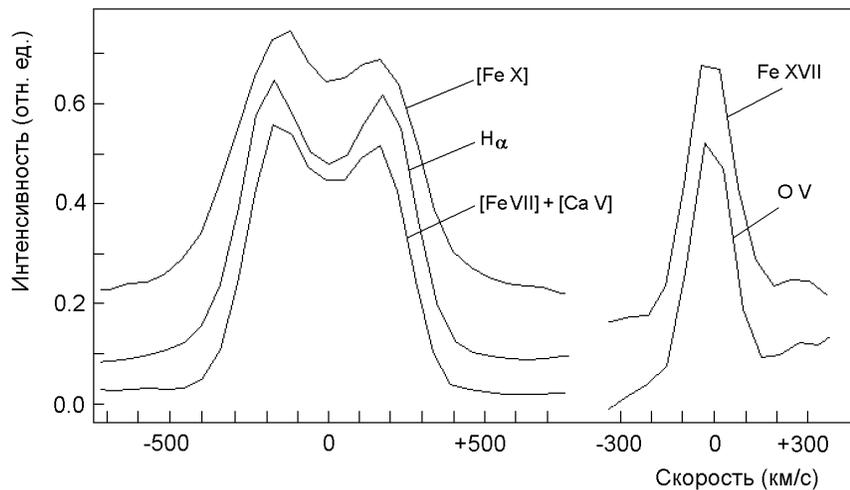


Рис. 13. Профили эмиссионных линий в спектре V723 Cas 2 августа 2003 г. Слева — профили линий, формирующихся в оболочке. Справа — профили линий очень высокой степени ионизации, появившиеся в фазе SSS.

связан с эволюцией эмиссионной составляющей спектра оболочки. В полосе y системы Стремгrena вклад эмиссий минимален, и потому авторы предлагают следить за новыми именно в этом фильтре. Модельные расчеты [49] показали, что появление плато у новых с фазой SSS обязано аккреционному диску вокруг белого карлика. Поверхность диска поглощает УФ и мягкие рентгеновские кванты от горящего белого карлика и переизлучает часть энергии в виде эмиссии с более низкой температурой, чем поверхность белого карлика. Без аккреционного диска плато в модели не получается.

У V723 Cas, как видно на рис. 12, падение блес-

ка существенно замедлилось, и в последние 4 года (JD 2452600–2454100) средний блеск уменьшился всего лишь на 0^m3-0^m4 в полосах B , V и R , оставаясь на 3^m0 в B и на 2^m7 в R выше уровня блеска системы до вспышки. Медленное падение блеска можно объяснить ослаблением вклада расширяющейся эмиссионной оболочки. Очевидно, V723 Cas последние 4 года (2003–2006 г.) находится в фазе плато и SSS.

7. ВЫВОДЫ

В статье сообщается о результатах фотометрических и спектральных наблюдений V723 Cas,

обсуждаются кривые блеска и показателей цвета новой в фотометрической системе *UBVRI*, построенные по нашим наблюдениям и по опубликованным данным других авторов. Они представляют все стадии типичной классической медленной новой от предмаксимальной до небулярной стадии.

Наши наблюдения обнаруживают следующие особенности этой медленной новой.

1. Предмаксимальная стадия продолжительностью 3 месяца, в которой карликовая система находилась внутри общей расширяющейся фотосферы. В предмаксимальной стадии обнаружена малоамплитудная модуляция с орбитальным периодом 0^d.693265.

2. Переход оболочки в оптически тонкое состояние, который сопровождался рекомбинацией водорода в большом объеме газа, при котором наблюдались сильные красный и ультрафиолетовый избытки.

3. Повторяющиеся вспышечные эпизоды. Мы объясняем этот феномен образованием внутри выброшенной оболочки массивного нестабильного аккреционного диска. Часть вещества диска периодически обрушивалась на белый карлик, на поверхности которого горит водород. Такой диск мог образоваться внутри расширяющейся оболочки новой из-за прогрева вторичного компонента и усиления темпа аккреции с этого компонента.

4. Выделение тесной двойной системы из общей фотосферы, которое произошло в конце 1998 г. уже в небулярной стадии. При этом вспышечные эпизоды прекратились, и перенос массы через аккреционный диск стал стационарным.

5. Орбитальные периодические изменения увеличивающейся амплитуды. Их полная амплитуда в 2006 г. составляла около 2^m. Форма орбитальной кривой блеска асимметрична. Амплитуда и форма этой кривой блеска в различных фильтрах почти постоянна в шкале интенсивности с сентября 1998 г. Мы объясняем асимметричную форму кривой блеска большой амплитуды затмениями аккреционного диска вторичным компонентом, ярким горячим пятном на поверхности вторичного компонента, обращенной к белому карлику. Это пятно обусловлено переизлучением потока коротковолновых квантов, приходящих с поверхности горящего белого карлика, в фотосфере вторичного компонента. Асимметрия кривой блеска связана с перекрытием света центральной части аккреционного диска его краем. В области столкновения с аккреционным потоком край диска расширяется. Система вероятнее всего имеет большое наклонение орбиты и является затменной.

Мы проанализировали спектры новой V723 Cas, полученные на БТА в 2001–2005 гг., которые относятся к началу и продолжению фазы сверхмягкого

рентгеновского источника SSS. Спектроскопия показывает 10-кратное усиление потока в эмиссии [Fe X], связанное с появлением SSS, и увеличение температуры поверхности белого карлика на 10⁵ К. Линия [Fe X] имеет оболочечную структуру. После включения источника SSS в спектре появились узкие линии O V и Fe XVII, которые не имеют оболочечной структуры и, вероятно, формируются в аккреционном диске или на прогретой стороне вторичного компонента. Высокая температура поверхности белого карлика 3.2×10⁵ К может объяснить сильный эффект отражения (горячее пятно) на поверхности холодного спутника в этой системе.

В заключение нужно подчеркнуть важность проведения наблюдения затмения звезды в фазе SSS в рентгеновских лучах, что даст возможность определить физические параметры системы.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны О.Шеммеру за разрешение воспользоваться его наблюдениями V723 Cas, выполненными в обсерватории Вайз (Израиль). Исследование со стороны российских участников поддержано грантами научно-технической программы “Астрономия” и бюджетной статьей “Мониторинг уникальных астрофизических объектов”, а позднее грантами РФФИ No.02-02-16462, 03-02-16133, 04-02-16349, 06-02-16865. В.П.Г. благодарен также Американскому астрономическому обществу за финансовую поддержку грантом в 1994 г. В.П.Г., Т.М.П., А.В.К. и Е.А.К. благодарят коллектив и руководство Тянь-Шаньской обсерватории (Казахстан) за гостеприимство. А.Р. благодарит за поддержку Австралийский исследовательский совет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. Hirose, IAU Circ. No. 6213 (1995).
2. V. P. Goranskij, E. A. Karitskaya, A. V. Kusakin, et al., *Astron. Astrophys. Trans.* **15**, 101 (1998).
3. D. Chochol and T. Pribulla, *Scalate Pleso Contrib.* **28**, 121 (1998).
4. T. Iijima, L. Rosino and M. Della Valle, *Astronom. and Astrophys.* **338**, 1006 (1998).
5. R. D. Gehrz, *Annu. Rev. Astronom. Astrophys.* **26**, 377 (1988).
6. U. Munari, V. P. Goranskij, A. A. Popova, et al., *Astronom. and Astrophys.* **315**, 166 (1996).
7. T. Iijima, *Astronom. and Astrophys.* **451**, 563 (2006).
8. S. P. S. Eyres, R. J. Davis, S. K. Watson and M. F. Bode, IAU Circ. No. 6594 (1997).
9. I. Heywood, T. J. O'Brien, S. P. S. Eyres, et al., in *Classical Nova Explosions*, Eds. M. Hernanz and J. Jose, American Inst. of Phys. Conf. Proc. **637**, p. 242 (2002)

10. J. Krautter, C. E. Woodward, M. T. Schuster, et al., *Astronom. J.* **124**, 2888 (2002).
11. D. Chochol and T. Pribulla, *Skalnate Pleso Contrib.* **27**, 53 (1997).
12. Zheng-Xi Zhu and Heng-Rong Hang, *Acta Astron. Sinica* **40**, 247 (1999).
13. J.-U. Ness, S. Starrfield, G. Schwarz, et al., *IAU Circ. No.8676* (2006).
14. P. Kahabka and E. P. J. van den Heuvel, *Annu. Rev. Astronom. Astrophys.* **35**, 69 (1997).
15. D. Chochol, T. Pribulla, O. Shemmer, et al., *IAU Circ. No. 7351* (2000).
16. V. P. Goranskij, S. Yu. Shugarov, N. A. Katysheva, et al., *Inform. Bul. Var. Stars No. 4852* (2000).
17. S. Yu. Shugarov, V. P. Goranskij, N. A. Katysheva, et al., *Astrophys. and Space Sci.* **296**, 431 (2005).
18. V. P. Goranskij, N. V. Metlova and S. Yu. Shugarov, in *Classical Nova Explosions*, Eds. M. Hernanz and J. Jose, American Inst. of Phys. Conf. Proc. **637**, p. 311 (2002).
19. K. Schenker, in *Radial and Nonradial Pulsations as Probes of Stellar Physics*, IAU Coll. 185, Eds. C. Aerts, T.R. Bedding and J. Christensen-Dalsgaard, *Astron. Soc. of the Pacific Conf. Series* **259**, p. 580 (2002).
20. J. J. Drake, R. M. Wagner, S. Starrfield, et al., *Astrophys. J.* **584**, 448 (2003).
21. A. Glasner and E. Livne, in *Classical Nova Explosions*, Eds. M. Hernanz and J. Jose, American Inst. of Phys. Conf. Proc. **637**, p. 124 (2002).
22. L. J. Dursi, A. C. Calder, A. Alexakis, et al., in *Classical Nova Explosions*, Eds. M. Hernanz and J. Jose, American Inst. of Phys. Conf. Proc. **637**, p. 139 (2002).
23. A. Retter, in *The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects*, Eds. B.T. Gaensicke, K. Beuermann and K. Reinsch, *Astron. Soc. of the Pacific Conf. Series* **261**, p. 655 (2002).
24. V. P. Goranskij, N. A. Katysheva, A. V. Kusakin, et al., in *The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects*, Eds. B.T. Gaensicke, K. Beuermann and K. Reinsch, *Astron. Soc. of the Pacific Conf. Series* **261**, p. 625 (2002).
25. С.Ю. Шугаров, частн. сообщ. (1995).
26. В.Г. Корнилов, И.М. Волков, А.И. Захаров, И.М. Волков и др., *Труды ГАИШ* **63** (1991).
27. В. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд* (Вильнюс, Мокслас, 1977) (V. Straizys, *Multicolour Stellar Photometry* (Tucson, Pachart Publ. House, 1992)).
28. E.E. Mendoza V, *Bol. Obs. Tonanzintla y Tocabaya* **4**, No.29, 149 (1967).
29. O. Ohshima and K. Kosaka, *IAU Circ. No. 6214* (1995).
30. <http://jet.sao.ru/~goray/v723cas.htm>
31. B. Warner, in *Classical Nova Explosions*, Eds. M. Hernanz and J. Jose, American Inst. of Phys. Conf. Proc. **637**, 3 (2002).
32. R. F. Webbink, M. Livio, J. W. Truran and M. Orio, *Astrophys. J.* **314**, 653 (1987).
33. F. C. Fekel, R. R. Joyce, K. H. Hinkle and M. F. Skrutskie, *Astronom. J.* **119**, 1375 (2000).
34. K. Matsumoto, M. Uemura, T. Kato, et al., *Astronom. and Astrophys.* **378**, 487 (2001).
35. J. Lafler and T. D. Kinman, *Astrophys. J. Suppl.* **11**, 216 (1965).
36. R. Coluzzi, *Bull. Inform. CDS* **43**, 7 (1993).
37. http://physics.nist.gov/PhysRefData/ASD/lines_form.html
38. В. А. Амбарцумян, *Цирк. Пулковской обсерв.* No.4, 8 (1932).
39. В.В. Соболев, *Курс теоретической астрофизики* (Москва, Наука, 1967), с. 296.
40. C. Beals, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **92**, 677 (1932).
41. R. J. Rudy, D. K. Lynch, S. Mazuk, et al., *IAU Circ.* 7259 (1999).
42. R. J. Rudy, C. C. Venturini, D. K. Lynch, et al., *Astrophys. J.* **573**, 794 (2002).
43. A. B. Meinel, A. F. Aveni and M. W. Stockton, *Catalog of emission lines in astrophysical objects*, Ed.II. (Tucson, Univ. of Arizona, USA, 1969).
44. G. Larsson-Leander, *Stockholm Obs. Ann.* **18**, No. 4 (1954).
45. В. Г. Горбацкий и И. Н. Минин, в кн. *Нестационарные звезды* (Москва, Физматгиз, 1963), с. 38.
46. A. Retter, E. M. Leibowitz and E. O. Ofek, *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **286**, 745 (1997).
47. A. Retter, C. Hellier, T. Augusteijn, et al., *Monthly Notices Roy. Astronom. Soc.* **340**, 679 (2003).
48. H. Oegelman, K. Bauermann and J. Krautter, *Astrophys. J.* **287**, L31 (1984).
49. I. Hachisu, M. Kato, S. Kiyota, et al., *Astrophys. J.* **651**, L141 (2006).

PHOTOMETRIC AND SPECTROSCOPIC STUDY OF NOVA CASSIOPEIAE 1995 (V723 CAS)

**V. P. Goranskij, N. A. Katysheva, A. V. Kusakin, N. V. Metlova, T. M. Pogrosheva,
S. Yu. Shugarov, E. A. Barsukova, S. N. Fabrika, N. V. Borisov, A. N. Burenkov,
A. G. Pramskij, E. A. Karitskaya, A. Retter**

We report an 11-year long series of *UBVRI* observations and the results of our monitoring of the classical slow nova V723 Cas. We analyze the spectra of this star taken using the 6-m telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences with a spectral resolution of 3.5–8.5Å during the nebular stage and at the supersoft X-ray source phase (SSS). This system has a large orbital

inclination and its orbital period is equal to 0.693265 days. The orbital period increases. We found low-amplitude light variations with the orbital period during the early stages of the outburst and even at the pre-maximum stage. The orbital light curve at the nebular stage is asymmetric and gradually increases its amplitude up to $V=2^m$ in 2006. The asymmetry of the light curve of V723 Cas can be explained by the reflection effect, eclipse of the extended accretion disk, and high rate of mass transfer in the system. The light curve of V723 Cas has developed a plateau due to the SSS phase. In the spectrum of V723 Cas the transition to the SSS phase shows up in an order-of-magnitude increase of the flux of the [Fe X] $\lambda 6374\text{\AA}$ emission, which forms in the expanding envelope. In addition, narrow emission lines $\lambda 6466.4\text{\AA}$ (O V) and $\lambda 6500.5\text{\AA}$ (Fe XVII) also emerged in the spectrum.