

МНОГОЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ КАРЛИКОВОЙ
НОВОЙ HS 0218+3229П.Ю.ГОЛЫШЕВА¹, С.В.АНТИПИН¹, А.В.ЖАРОВА¹,
Н.А.КАТЫШЕВА¹, Д.ХОХОЛ², С.Ю.ШУГАРОВ^{1,2}

Поступила 13 января 2012

Принята к печати 4 апреля 2012

Статья посвящена изучению катаклизмической переменной HS 0218+3229. Анализ 2000 ПЗС и 200 фотографических наблюдений тесной двойной системы HS 0218+3229 в интервале 1963-2010гг. показал наличие двух вспышек (в 1980 и 2007гг.) с амплитудой около 4^m в полосах pg и V . Переменная классифицирована как карликовая новая типа UGSS с редкими вспышками симметричной формы, что является характеристикой вспышек типа "inside-out". Уточнен орбитальный период, $0^d.2973559$, в течение которого наблюдается двойная волна, вызванная эффектом эллипсоидальности вторичного компонента - звезды класса K5V. Приводятся и объясняются фазовые кривые блеска и показатели цвета, интерпретируется положение объекта на двухцветных диаграммах. Обнаружено различие орбитальных кривых блеска до и после вспышки, определены некоторые физические характеристики тесной двойной системы.

Ключевые слова: *Фотометрия:звезды:тесные двойные системы:
карликовые новые*

1. *Введение.* Катаклизмические звезды - это тесные двойные системы на поздней стадии эволюции. Они состоят из звезды донора (красного карлика Главной последовательности) и белого карлика (БК). Из-за аккреции вещества донора на БК вокруг него образуется аккреционный диск, который вносит значительный вклад в излучение от системы. При определенных условиях диск может резко увеличить светимость, и мы наблюдаем вспышку карликовой новой.

HS 0218+3229 ($RA = 2^h21^m33^s.49$, $Del = +32^\circ43'24''.0$, J2000, 2MASS) была впервые заподозрена как катаклизмическая переменная (КП) в работе [1]. Родригес-Гиль и др. [2] с 2000 по 2005гг. провели фотометрические и спектральные наблюдения переменной на разных телескопах. Изучение фотометрических рядов системы не показало наличия вспышек, и авторы классифицировали HS 0218+3229 как катаклизмическую переменную без уточнения типа. Наличие сильных эмиссионных линий серии водорода в спектре объекта свидетельствует о том, что в системе присутствует слабый аккреционный диск. Абсорбционные линии в красной области спектра характеризуют преобладание холодного компонента класса K5V. В статье были определены орбитальный период, равный $0^d.297229661 \pm 0^d.000000001$,

угол наклона орбиты ТДС - $i = 59^\circ \pm 3^\circ$, отношение масс - $0.52 < q < 0.65$, оценены массы белого карлика a - $0.44 < M_1/M_\odot < 0.65$ и вторичного компонента - $0.23 < M_2/M_\odot < 0.44$ и расстояние до системы 0.87-1.0 кпк.

Независимо от [2] звезда была открыта С.В.Антипиным в 2006г. по негативам фототеки ГАИШ как вспыхивающая переменная - вероятная карликовая новая. По фотографическим наблюдениям была обнаружена лишь одна вспышка в сентябре 1980г. с амплитудой около $4^m.5$ в полосе B_{pg} .

HS 0218+3229 была отождествлена с источником рентгеновского излучения 1RXS J022133.6+324343 и инфракрасным источником 2MASS J02213348+3243239.

2. Наблюдения. После сообщения Антипина [3] было решено начать систематические наблюдения этого объекта с целью более подробного изучения вспышечной переменности и более точной классификации новой переменной звезды. Наши первые фотометрические исследования проводились с помощью ПЗС камеры Pictor-416 в Крымской лаборатории ГАИШ на 50-см максутовском телескопе АЗТ-5. Позднее наблюдения были продолжены с помощью матрицы Aropree-47p, расположенной в касегреновском фокусе телескопа Цейсс-600, а в ноябре 2010г. мы использовали 125-см рефлектор ЗТЭ с матрицей VersArray 512. Наблюдения проводились в системе $UBV(RI)_c$ Джонсона-Кузинса, но небольшая часть наблюдений была получена в полосах $(RI)_f$. В дальнейшем значительная часть данных была получена при помощи матрицы SBIG-10XME, установленной в фокусе Ньютона 50-см телескопа Астрономического Института Словацкой Академии Наук (Стара Лесна).

Карта окрестностей переменной и использованные нами звезды сравнения показаны на рис.1. Для определения звездных величин окрестных звезд были использованы звезды сравнения вокруг звезды CT Tgi из статьи [4]; найденные нами звездные величины приведены в табл.1. Величины в

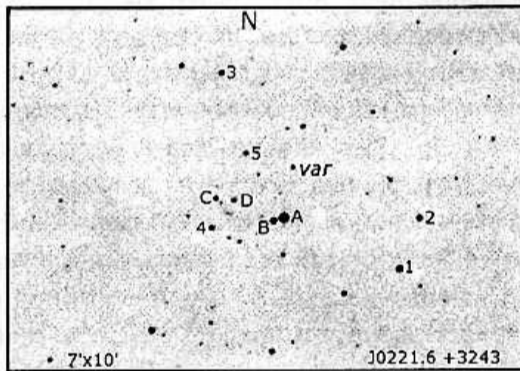


Рис.1. Карта окрестностей переменной и звезды сравнения (см. табл.1). "Var" - переменная.

Таблица 1

ЗВЕЗДЫ СРАВНЕНИЯ

N	U	B	V	R_j	R_c	I_j	I_c
A	12.30	12.22	11.72	11.24	11.42	11.00	11.15
B	14.86	14.64	13.98	13.37	13.58	13.08	13.27
C	16.45	16.29	15.59	15.00	15.21	14.71	14.90
D	16.21	16.14	15.61	15.09	15.28	14.94	15.09
1	14.64	14.48	13.84	13.24	13.48	12.98	13.16
2	15.49	15.15	14.37	13.77	13.98	13.43	13.63
3	16.04	15.81	15.16	14.61	14.81	14.31	14.49
4	15.85	15.70	15.05	14.48	14.68	14.16	14.35
5	16.77	16.40	15.61	14.90	15.14	14.50	14.73

N - звезда сравнения.

полосах $(RI)_J$ были пересчитаны из системы Кузинса в систему Джонсона по формулам перехода из работы [5].

В табл.2 представлен журнал наблюдений: юлианская дата, календарная дата наблюдений, средние за ночь звездные величины в полосах B , V , R_c , I_c , число полученных кадров в данную ночь и комментарии, показывающие, на каком инструменте проводились наблюдения. Отдельно приведена аналогичная таблица для полос U , R_j , I_j . Ошибка наблюдения составляет, в среднем, $0^m.02-0^m.05$ в полосах V , R_c , I_c и $0^m.03-0^m.08$ в полосах U , B .

Таблица 2

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

JD	Дата	B	n	V	n	R_c	n	I_c	n	Примеч.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
54066	26.11.2006	-	-	16.40	57	15.62	57	-	-	ZTE, VA
54067	27.11.2006	-	-	16.35	66	-	-	-	-	M, Pi;
54069	29.11.2006	-	-	16.36	44	-	-	-	-	M, Pi
54074	04.12.2006	-	-	16.32	11	-	-	-	-	M, Pi
54076	06.12.2006	-	-	16.33	67	-	-	-	-	M, Pi
54096	26.12.2006	-	-	16.14	1	15.75	1	15.09	1	SL, X-10
54115	14.01.2007	-	-	16.31	1	15.59	1	-	-	SL, X-10
54117	16.01.2007	-	-	16.30	12	15.66	16	-	-	SL, X-10
54122	21.01.2007	-	-	16.33	19	15.65	17	-	-	SL, X-10
54141	09.02.2007	-	-	16.31	17	-	-	-	-	SL, X-10
54378	04.10.2007	-	-	16.33	24	-	-	-	-	Z, Ap47
54379	05.10.2007	-	-	16.35	178	-	-	-	-	Z, Ap47
54382	08.10.2007	-	-	13.72	575	-	-	-	-	Z, Ap47
54385	11.10.2007	-	-	12.34	87	-	-	-	-	Z, Ap47
54386	12.10.2007	-	-	12.44	5	-	-	-	-	Z, Ap47
54389	15.10.2007	-	-	12.68	3	-	-	-	-	Z, Ap47
54390	16.10.2007	-	-	12.82	4	-	-	-	-	Z, Ap47

Таблица 2 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
54391	17.10.2007	-	-	13.11	3	-	-	-	-	Z, Ap47
54392	18.10.2007	13.70	5	13.43	175	-	-	-	-	Z, Ap47
54393	19.10.2007	14.18	6	13.92	505	-	-	-	-	Z, Ap47
54707	28.08.2008	-	-	16.37	1	15.71	4	15.10	3	SL, X-10
54708	29.08.2008	-	-	16.37	1	-	-	-	-	SL, X-10
54709	30.08.2008	17.21	7	16.40	22	15.66	7	15.08	25	SL, X-10
54710	31.08.2008	17.36	5	16.41	14	15.78	5	15.11	10	SL, X-10
54751	11.10.2008	-	-	16.38	20	15.71	16	15.07	24	SL, X-10
54757	17.10.2008	-	-	16.24	1	15.66	6	14.94	4	SL, X-10
54758	18.10.2008	-	-	16.37	12	15.62	36	14.92	4	SL, X-10
54759	19.10.2008	-	-	16.41	3	15.69	79	15.12	5	SL, X-10
54828	27.12.2008	17.12	1	16.37	43	15.69	52	14.99	2	SL, X-10
54829	28.12.2008	17.3	15	16.35	10	15.68	27	15.06	15	SL, X-10
54830	29.12.2008	-	-	-	-	15.72	145	-	-	SL, X-10
54843	11.01.2009	-	-	16.29	22	15.65	44	-	-	SL, X-10
54845	13.01.2009	17.26	14	16.35	19	15.68	22	-	-	SL, X-10
55051	07.08.2009	-	-	16.20	3	15.60	15	14.97	17	SL, X-10
55052	08.08.2009	-	-	-	-	15.70	40	-	-	SL, X-10
55060	16.08.2009	17.17	3	16.37	3	15.69	3	15.02	3	SL, X-10
55069	25.08.2009	-	-	16.21	17	15.55	14	14.94	17	SL, X-10
55071	27.08.2009	16.97	2	16.26	21	15.61	27	15.00	25	SL, X-10
55075	31.08.2009	-	-	-	-	15.57	1	-	-	SL, X-10
55076	01.09.2009	-	1	16.27	27	15.57	29	14.96	34	SL, X-10
55080	05.09.2009	16.96	1	16.19	12	15.48	13	14.89	11	SL, X-10
55082	07.09.2009	16.99	1	-	-	15.53	16	14.93	13	SL, X-10
55130	25.10.2009	-	-	-	-	15.53	25	-	-	SL, X-10
55152	16.11.2009	-	-	-	-	16.01	1	-	-	SL, X-10
55159	23.11.2009	-	-	-	-	15.48	25	-	-	SL, X-10
55211	14.01.2010	-	-	16.26	5	15.52	29	15.05	3	SL, X-10
55223	26.01.2010	-	-	16.38	4	15.61	8	-	-	SL, X-10
55224	27.01.2010	-	-	16.31	12	15.61	18	-	-	SL, X-10
55246	18.02.2010	-	-	-	-	15.22	1	-	-	SL, X-10
55462	22.09.2010	-	-	16.09	4	15.49	2	14.90	11	SL, X-10
55463	23.09.2010	-	-	-	-	15.54	40	14.94	56	SL, X-10
55464	24.09.2010	-	-	-	-	15.55	15	14.99	17	SL, X-10
55473	03.10.2010	16.97	36	16.25	61	15.59	6	14.99	6	SL, X-10
55476	06.10.2010	16.98	48	16.21	21	15.59	75	14.95	15	SL, X-10
55480	10.10.2010	16.92	5	16.25	80	15.60	77	14.97	31	SL, X-10
55481	11.10.2010	16.93	16	16.20	49	15.57	55	14.94	40	SL, X-10
55482	12.10.2010	16.92	16	16.19	30	15.55	41	15.00	5	SL, X-10
55483	13.10.2010	16.96	12	16.18	37	15.54	21	14.91	21	SL, X-10
55484	14.10.2010	-	-	16.23	29	15.61	34	14.89	8	SL, X-10
55490	20.10.2010	-	-	16.15	1	15.52	4	14.89	3	SL, X-10
55497	27.10.2010	16.82	2	16.22	3	15.57	2	14.93	2	SL, X-10
55499	29.10.2010	16.96	2	16.19	3	15.56	2	14.91	2	SL, X-10
55514	13.11.2010	-	-	-	-	15.47	27	-	-	ZTE, VA
55515	14.11.2010	16.97	45	16.13	64	15.48	46	-	-	ZTE, VA
55516	15.11.2010	16.99	40	16.17	69	15.52	43	-	-	ZTE, VA
55517	16.11.2010	16.95	37	16.18	44	15.55	39	-	-	ZTE, VA

Таблица 2 (окончание)

JD	Дата	U	n	R_j	n	I_j	n	Примеч.
55392	18.10.2007	12.81	5	13.16	5	13.04	5	Z, Ap47
55393	19.10.2007	13.23	3	13.58	6	13.38	6	Z, Ap47
55483	13.10.2010	16.40	1	-	-	-	-	SL, X-10
55484	14.10.2010	-	-	-	-	-	-	SL, X-10
55497	27.10.2010	16.25	1	-	-	-	-	SL, X-10
55514	13.11.2010	-	-	15.19	5	-	-	ZTE, VA
55515	14.11.2010	16.22	35	15.20	2	14.69	46	ZTE, VA
55516	15.11.2010	16.25	83	15.19	2	14.70	42	ZTE, VA
55517	16.11.2010	16.22	55	-	-	14.70	38	ZTE, VA

Примечания к таблицам.

$JD_{\text{rel}} = JD + 2400000$ - Юлианская дата; U, B, V, R_{CF}, I_{CF} - средние за ночь звездные величины, n - число осреднений. SL - 50/2500 см телескоп Астрономического института Словацкой Академии Наук; X-10 - матрица SBIG-10XME. Z - 60/7500 см телескоп Цейсс-600 Крымской Лаборатории ГАИШ; Ap47 - матрица Apogee-47p, VA - матрица VersArray 512. M - 50/70/200 см телескоп системы Максутова АЗТ-5 Крымской лаборатории ГАИШ; Pi - матрица Pictor-416. ZTE - 125/2000 см телескоп ЗТЭ Крымской лаборатории ГАИШ.

3. Общий характер кривой блеска HS 0218+3229.

3.1. *Вспышки переменной.* С.В.Антипин исследовал около 200 фотопластинок из фототеки ГАИШ в интервале 1963-1997гг. В минимуме блеск объекта был около $16^m.5$, а во время вспышки, зарегистрированной на четырех негативах из фототеки ГАИШ (сентябрь 1980г.), достигал двенадцатой звездной величины в полосе B_{PR} .

Еще одна вспышка была найдена П. Уиллсом в базе наблюдений проекта NEAT (NEAT - Near-Earth Asteroid Tracking: <http://neat.jpl.nasa.gov>) в декабре 2002г.

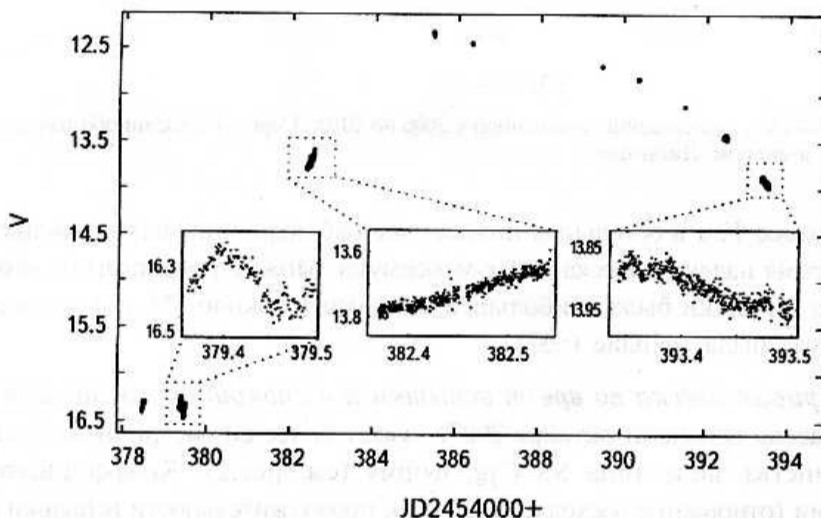


Рис.2. Вспышка звезды с 8 по 19 октября 2007г.

Третья вспышка (рис.2) произошла в октябре 2007г. и была детально исследована нами. Вспышка продолжалась около двух недель, блеск во время вспышки достиг 12^m в полосе V . Других вспышек зарегистрировано не было.

Заметим, что такие редкие вспышки с вероятным интервалом между ними в несколько лет (или реже) не совсем характерны для большинства карликовых новых, у которых вспышки происходят более часто (через десятки дней).

Кривые блеска в полосах U , B , V , R_{CJ} , I_{CJ} , полученные по нашим наблюдениям, показаны на рис.3. В полосе U звезда наблюдалась всего 8 ночей. К сожалению, вспышка октября 2007г. полностью прописана

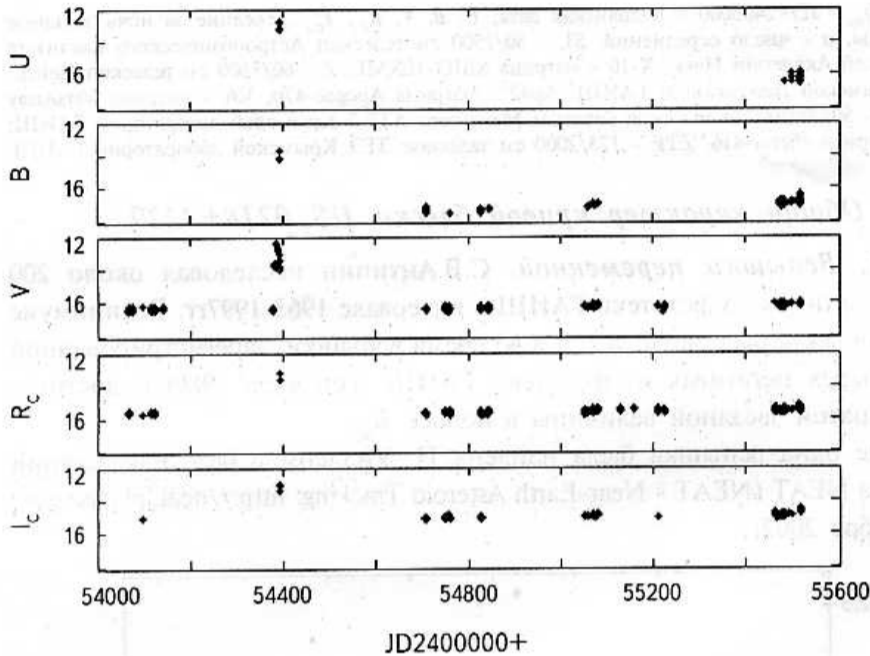


Рис.3. $UBV(RI)_{CJ}$ наблюдения переменной с 2006 по 2010г. Серыми точками обозначены наблюдения в системе Джонсона.

лишь в полосе V , а в остальных полосах мы наблюдали объект лишь две ночи во время падения блеска после максимума. Можно предполагать, что амплитуда вспышки была наибольшей в полосе U (около 5^m), а в полосе R амплитуда была меньше ($\sim 3^m$).

3.2. Кривые блеска во время вспышки и в спокойном состоянии.

Кривая блеска вспышки октября 2007г. имеет более симметричную, чем у большинства звезд типа SS Cyg, форму (см. рис.2). Коэффициент асимметрии (отношение восходящей ветви к продолжительности вспышки) для нашего объекта составляет ~ 0.22 . Максимум вспышки произошел в

интервале JD 2454384-385. Асимметрию мы оценивали относительно двух уровней блеска: 14^m и 16^m . 2. Поскольку конца вспышки мы не наблюдали, вторая оценка получилась менее уверенной, однако в обоих случаях эти значения оказались близкими. Начало вспышки произошло в интервале JD 2454380-381, а закончилась она, вероятно, в интервале JD 2454396-

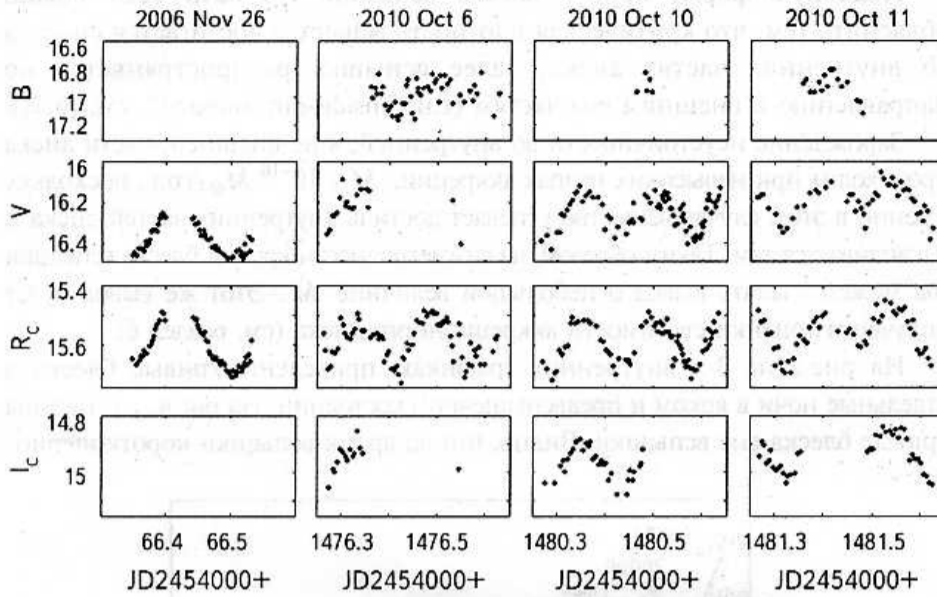


Рис.4. $BV(RI)_c$ наблюдения переменной в отдельные ночи вне вспышки.

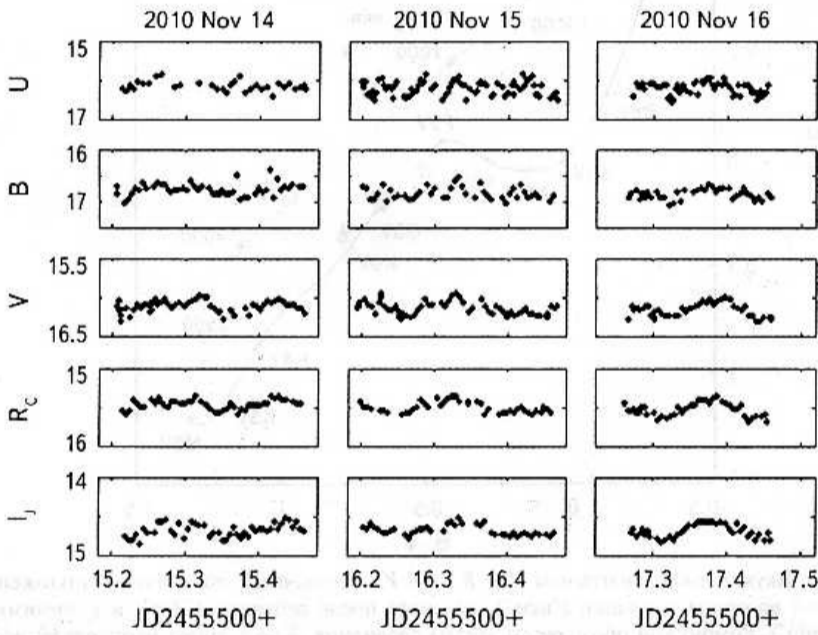


Рис.5. $UBVR_cI_j$ наблюдения переменной вне вспышки.

398 (см. рис.2). Продолжительность вспышки мы оцениваем в 15-16 дней.

Отметим, что для самой звезды SS Cyg коэффициент асимметрии заключен в пределах 0.10-0.13 (определен по кривым блеска, взятых из архива AAVSO http://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/xte/Greatest_Hits/sscyg.ps.gif). Общая продолжительность вспышки составляла $\sim 15^d$, подъем длился менее 2^d .

Подобную форму кривой блеска вспышки HS 0218+3229 можно объяснить тем, что критическая плотность вещества достигается сначала во внутренних частях диска, далее вспышка распространяется по направлению к внешним его частям (т.н. "inside-out outburst", см. [6,7]).

Зарождение неустойчивости во внутренней, а не внешней, части диска происходит при невысоких темпах аккреции, $\dot{M} < 10^{-10} M_{\odot}/\text{год}$, поскольку именно в этом случае вещество успевает достичь внутренних частей диска и накапливается там. Таким образом, из симметричности кривой блеска вспышки мы можем сделать вывод о небольшой величине \dot{M} . Этот же вывод будет получен из оценки светимости аккреционного диска (см. раздел б).

На рис.2 на 3-х внутренних графиках, приведены кривые блеска в отдельные ночи в ярком и предвспышечном состоянии. На рис.4, 5 показаны кривые блеска вне вспышки. Видно, что во время вспышки короткоперио-

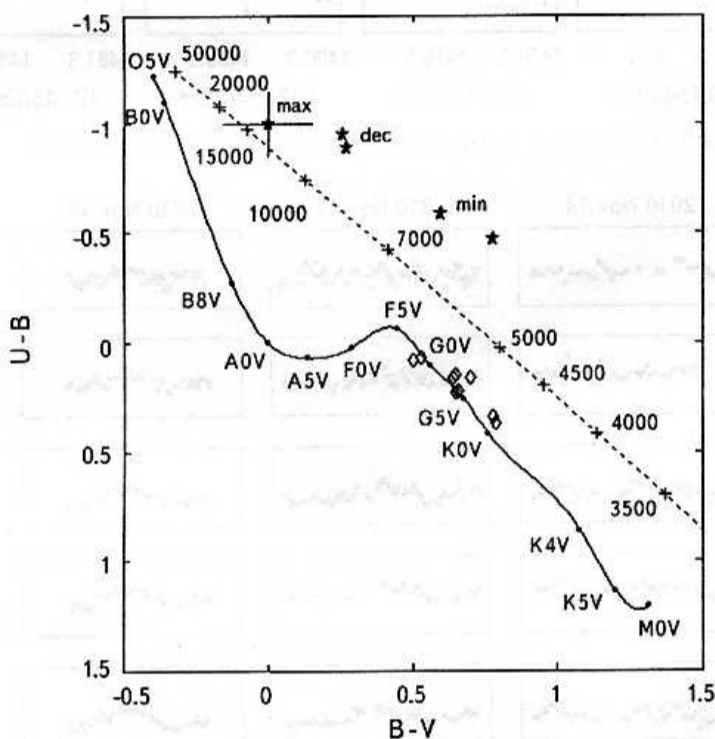


Рис.6. Двухцветная диаграмма $U - B$, $B - V$. Звездочкой обозначены положения переменной во время вспышки ("max"), на спаде после вспышки ("dec") и в минимуме блеска ("min"). Ромбиками обозначены звезды сравнения. Крест задает неопределенность оценки показателей цвета во время максимума (см. текст).

лических изменений блеска не наблюдается, а в спокойном состоянии периодические колебания видны отчетливо. Эта переменность объясняется орбитальным движением системы. Двойная волна за период связана с искаженной формой (эллипсоидальной поверхностью полости Роша) холодного компонента.

В полосах U, B на рис.5 видна быстрая переменность блеска, не связанная с орбитальной волной. Характерное время переменности $\sim 40-50$ мин, в полосе U наблюдается максимальная амплитуда быстрой переменности до $0^m.7$. В полосе B амплитуда несколько меньше - $0^m.4$. Мы предполагаем, что эта переменность связана с наиболее горячими компонентами системы - т.е. с мерцанием горячей области взаимодействия струи и аккреционного диска. Рис.6 и 7 подтверждают, что сильный УФ-избыток наблюдается только в

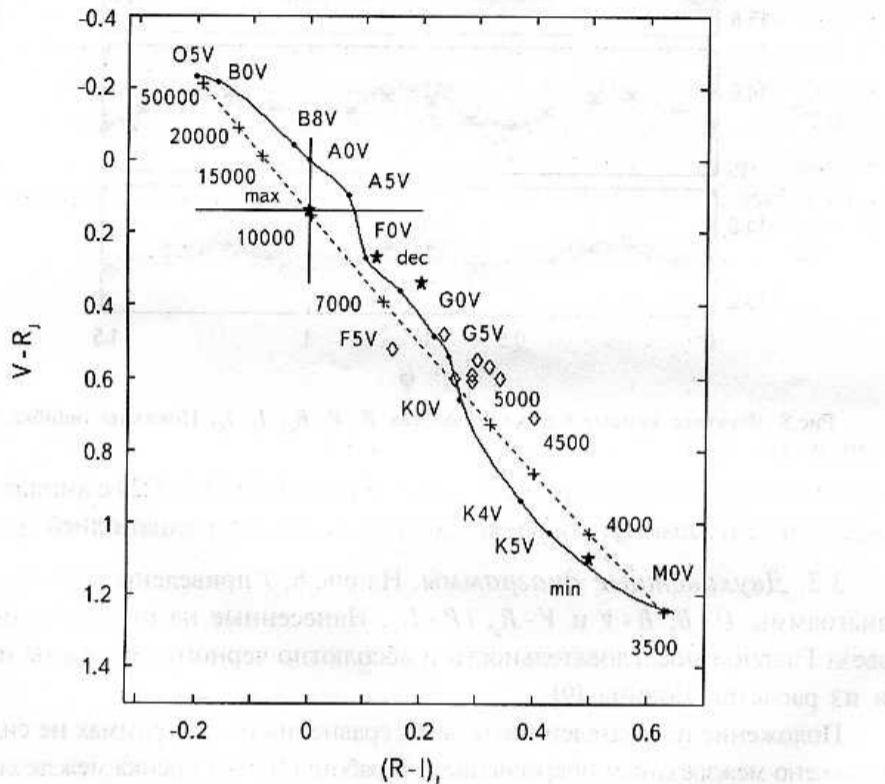


Рис.7. Двухцветная диаграмма $V-R_j, (R-I)_j$. Обозначения те же, что на предыдущем рисунке.

полосах U, B , в то время как в полосах VRI доминирует излучение только от красного карлика.

В полосах V, R, I (рис.8) видна орбитальная волна с амплитудой $0^m.13-0^m.19$ в зависимости от полосы. Подобное изменение блеска системы наблюдалось также Родригес-Гилем и др. [2]. Следует отметить, что их

наблюдения проводились без фильтра.

Кроме упомянутых ранее колебаний блеска, вне вспышек наблюдается

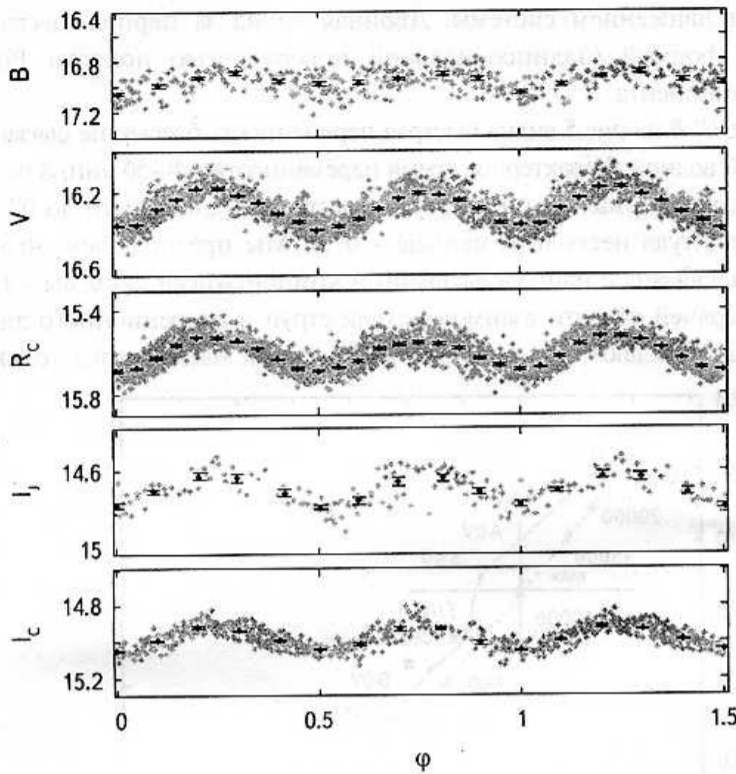


Рис.8. Фазовые кривые блеска в полосах B , V , R_c , I_j , I_c . Показана ошибка, соответствующая 1σ .

медленная переменность среднего блеска объекта HS 0218+3229 с амплитудой около $\sim 0^m.2$ и характерным временем порядка десяти-двадцати дней (рис.3).

3.3. *Двухцветные диаграммы.* На рис.6, 7 приведены двухцветные диаграммы $U-B$, $B-V$ и $V-R_j$, $(R-I)_j$. Нанесенные на рисунках линии звезд Главной последовательности и абсолютно черного тела взяты из [8] и из расчетов Додина [9].

Положение показателей цвета звезд сравнения на диаграммах не сильно искажено межзвездным покраснением. В работе [2] дана оценка межзвездного покраснения $E(B-V) = 0^m.07$. Поэтому в большинстве случаев (кроме раздела [6]) для интерпретации результатов межзвездное поглощение нами не учитывалось.

Как уже упоминалось выше, во время вспышки звезда наблюдалась только в полосе V , а на спаде блеска через неделю после максимума - в полосах $(UBVRI)_j$. Путем экстраполяции мы оценили звездную величину в максимуме: $U \approx 11^m.3 \pm 0^m.2$, $B \approx V \approx 12^m.3 \pm 0^m.2$, $R_j \approx I_j \approx 12^m.2 \pm 0^m.2$.

Во время вспышки октября 2007г. УФ-избыток достиг -1^m , вне вспышки

он составлял $-0^m.8$. Показатель цвета $B-V$ изменился, соответственно, от 0^m до $+0^m.7$ (см. рис.6). Эти изменения можно объяснить тем, что вспыхнувший аккреционный диск светит, в основном, в синей области спектра. В это время положение звезды на двухцветной диаграмме находится недалеко от положения абсолютно черного тела с температурой около 15000 K (см. рис.7). В минимуме блеска положение переменной соответствует звезде спектрального класса K5V-K6V (см. тот же рисунок).

4. Поиск периодических колебаний блеска HS 0218+3229.

Полученные фотометрические ряды были использованы для нахождения периода изменения блеска. Временной анализ проводился методами Диминга и Лафлера-Кинмана, реализованных в программе В.П.Горанского "ЭФФЕКТ" (<http://vgoray.front.ru/goray-r.htm>). Для каждой спектральной полосы был найден орбитальный период. В полосах V , R_c , I_c получены, как и следовало ожидать, практически одинаковые значения периодов. В полосах U , B наблюдается иное фотометрическое поведение переменной (см. раздел (4.1)), и для нахождения орбитального периода эти наблюдения не использовались. Анализ данных в полосах V , R_c , I_c показал, что период не изменялся в течение всех наших наблюдений до и после вспышки 2007г. Точные элементы изменения блеска, определенные нами, следующие: $JD_{hel}^{min} = 2453653.0286 + 0.2973559 \cdot E$.

Мы искали период у объекта, используя как наши наблюдения (2006-2010гг.), так и наблюдения из работы [2], полученные в интервале 2001-2005гг. В итоге получился 10-летний ряд наблюдений, ошибка определения периода не превышает $\pm 0^d.0000010$. Эпоха минимума блеска JD_{hel}^{min} , соответствующая прохождению вторичного компонента перед белым карликом, взята из [2].

Эта эфемерида была использована для построения фазовых кривых блеска (см. рис.8) и всех остальных расчетов. Родригес-Гиль и др. [2] нашли несколько другое значение орбитального периода: $0^d.29722966$. Отметим, что это значение периода не удовлетворяет всем наблюдениям.

4.1. *Исследование изменения показателей цвета в течение орбитального периода.* Для изучения переменности цвета системы были построены орбитальные фазовые кривые блеска для всех полос, показанных на рис.8, 9. В полосах V , R_c , I_c , I , хорошо видна двойная волна с несколько различной амплитудой минимумов и максимумов. Двойная волна вызвана эллиптичностью красного компонента, поскольку в спокойном состоянии он вносит до 80-85% вклада в общий блеск системы в полосе R (см. [2]) и доминирует в суммарном излучении системы. Кривая показателей цвета также показывает двойную волну за период.

В полосах U , B двойная волна либо видна не так отчетливо, либо совсем не видна, поскольку в этих лучах основной вклад в излучение

системы вносит аккреционный диск, а не эллипсоидальный красный компонент. Однако в полосе U , возможно, наблюдается небольшое ослабление блеска

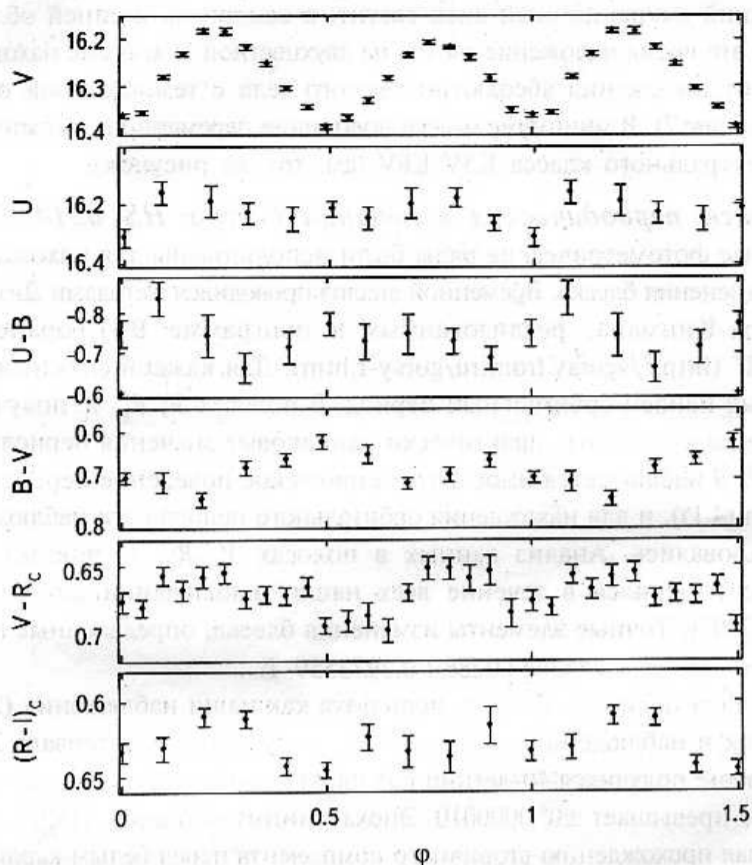


Рис.9. Орбитальные кривые блеска в полосах U , V и показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-R_c$, $(R-I)_c$. Показана ошибка, соответствующая 1σ .

вблизи нулевой фазы, когда белый карлик и аккреционный диск расположены за красным компонентом, и происходит их частичное затмение (рис.9).

На рис.10 показаны зависимости изменений различных показателей цвета и блеска системы в полосе V , эти корреляции были построены по наблюдениям вне вспышки и отражают изменения блеска в течение орбитального периода.

Отметим, что чем слабее блеск звезды, тем цвет системы $B-V$ становится более голубым. Эта зависимость следует из того, что в моменты минимального блеска на фазах 0 и 0.5 видимая площадь холодного компонента минимальна, и в это время относительный вклад в суммарное излучение от горячего белого карлика и аккреционного диска в полосе B увеличивается.

В более длинноволновых полосах (R , I) зависимость иная. В этой области вклад от диска ничтожно мал, и излучает, в основном, только

красный компонент, что также следует из положения системы на рис.7. Из графиков зависимости показателей цвета $V-R$ и $R-I$ от величины V (рис.10) следует, чем слабее блеск системы, тем больше ее покраснение.

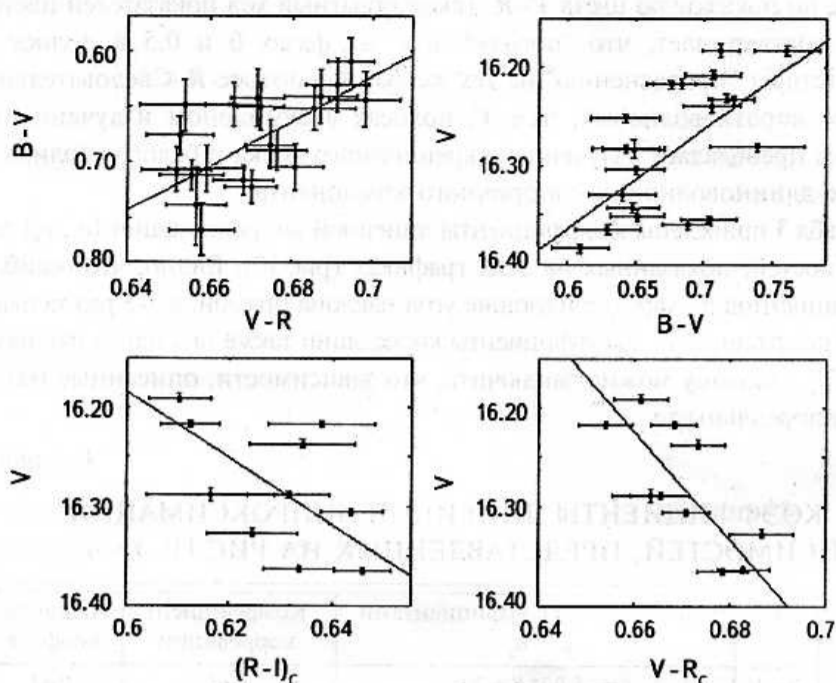


Рис.10. Зависимости, показывающие поведение показателей цвета в минимуме блеска в течение орбитального периода.

Видно, что на орбитальных кривых минимумы блеска (и покраснения) наступают в моменты времени, когда вторичный компонент виден со стороны "носика" ($\varphi = 0.5$), или с тыльной стороны ($\varphi = 0.0$) (см. рис.8, 9).

Наблюдаемое покраснение можно объяснить эффектом гравитационного потемнения. Поскольку красный компонент заполняет свою полость Роша и имеет грушевидную форму, ускорение свободного падения на "носике" и на тыльной стороне вторичного компонента меньше, чем на долготах, отстоящих на 90° от указанных точек, поэтому температура этих наиболее удаленных от центра участков поверхности красного карлика немного ниже. Частично эта проблема была рассмотрена в [10]. Наилучшее согласие теоретических кривых блеска (рис.3, [10]) и наших наблюдений получается при угле наклона около 45° , полном заполнении полости Роша (и то и другое примерно соответствует нашим данным), коэффициенте гравитационного потемнения около 0.25 и потемнении к краю около 0.2. Поэтому можно предположить, что у нашей звезды коэффициент гравитационного потемнения небольшой, около 0.25, что не противоречит спектральному классу звезды K5V.

На двухцветной диаграмме $B-V$, $V-R$, построенной только для орбитальной волны во вневысвещечном состоянии в крупном масштабе (см. рис.10), видно, что чем краснее звезда по показателю цвета $B-V$, тем она голубее по показателю цвета $V-R$. Такой обратный ход показателей цветов также подтверждает, что "поголубение" на фазах 0 и 0.5 в полосе B соответствует "покраснению" на тех же фазах в полосе R . Следовательно, в более коротковолновых, чем V , полосах в суммарном излучении от системы преобладает излучение аккреционного диска и белого карлика, а в более длинноволновых - вторичного компонента.

В табл.3 приведены коэффициенты линейной аппроксимации (a_1, a_0) для зависимостей, показанных на этих графиках (рис.10). Видно, что ошибки коэффициентов a_1 , характеризующие угол наклона прямой, в 3-5 раз меньше самого коэффициента. Коэффициенты корреляции также оказались равными 0.63-0.78. Поэтому можно заключить, что зависимости, описанные нами, являются реальными.

Таблица 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ ЛИНЕЙНОЙ АППРОКСИМАЦИИ
ЗАВИСИМОСТЕЙ, ПРЕДСТАВЛЕННЫХ НА РИС.11: $Y = a_1 * X + a_0$

X	Y	Уравнение с коэффициентами a_1, a_0	Коэффициент корреляции	Ошибка коэф. a_1
$V-R$	$B-V$	$Y = -1.00 * X + 2.02$	0.65	0.42
$B-V$	V	$Y = -1.02 * X + 16.98$	0.63	0.23
$R-I_c$	V	$Y = 3.39 * X + 14.15$	0.69	0.94
$V-R_c$	V	$Y = 5.47 * X + 12.61$	0.78	1.17

4.2. *Фазовая кривая блеска до и после вспышки.* На рис.11 приведены фазовые кривые блеска до и после вспышки. Если до вспышки наблюдаются разные высоты максимумов и глубин минимумов, то после вспышки видна двойная волна за орбитальный период с почти одинаковой амплитудой горбов. Это можно объяснить тем, что насыщенный аккреционный диск непосредственно перед вспышкой вносит больший вклад в светимость системы, чем после вспышки, когда он уже истощен. Различие высот максимумов в предвспышечном состоянии связано с тем, что мы видим область взаимодействия струи и внешних частей диска с разных углов. А различие глубин минимумов происходит из-за того, что "носик" красной звезды, обращенной к белому карлику, прогреет излучением диска. После вспышки светимость диска и пятна на нем уменьшается, и эти эффекты становятся плохо выраженными. Эти же особенности кривой блеска видны на рис.3 в работе [2]. В январе-феврале 2001г. высоты обоих максимумов и глубин минимумов практически одинаковы, а в октябре 2005г. видны различия между ними. Эти кривые очень похожи на наши

кривые, построенные по данным, полученным перед вспышкой 2007г. Можно предположить, что в конце октября 2005г. или чуть позже произошла вспышка звезды, которая была пропущена.

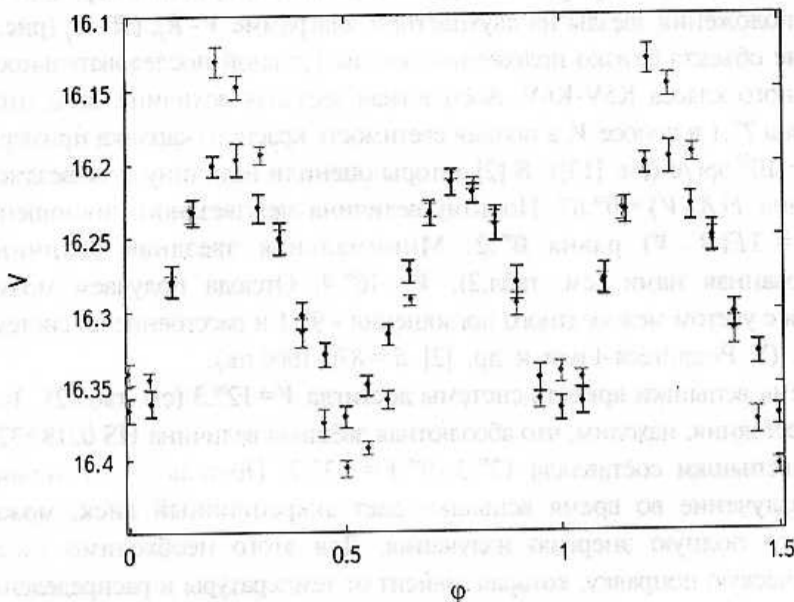


Рис.11. Фазовые кривые блеска в полосе V до и после вспышки. Серыми точками помечены наблюдения до вспышки, черными - после вспышки. Показана ошибка, соответствующая 1σ .

5. *Классификация переменной звезды.* Родригес-Гиль и др. [2] не наблюдали ни одной вспышки и классифицировали звезду как катаклизмическую переменную. К настоящему времени известно уже о трех вспышках переменной (см. раздел 3.1), поэтому мы с уверенностью можем отнести HS 0218+3229 к карликовым новым. К звездам типа SU UMa наша переменная не относится, так как во время вспышки не наблюдаются сверхгорбы, и ее период $\sim 0^d.3$ не характерен для звезд этого типа. Согласно классификации "Общего каталога переменных звезд", (см., например, [11]), к карликовым новым типа UGSS относят звезды, которые "увеличивают свой блеск за 1-2^d на 2-6^m... Значения циклов заключены в пределах от 10^d до нескольких тысяч дней".

Классификация катаклизмических переменных и карликовых новых, которые обычно подразделяют на несколько подклассов, в частности (см., например, каталог Черепашука и др. [12]), является иногда сложной задачей, т.к. в процессе изучения их поведения исследователи могут изменить их первоначальную классификацию. Мы классифицируем звезду как редкий подкласс систем типа UGSS (карликовые новые звезды типа U Gem или SS Cyg) с низким темпом перетекания вещества и редкими, более

симметричными ("inside-out"), чем у обычных звезд типа UGSS, вспышками.

6. *Оценка некоторых параметров системы.* В спокойном состоянии в полосах V, R, I доминирует излучение от красного карлика, что видно из положения звезды на двухцветной диаграмме $V-R, (R-I)$, (рис.7). Положение объекта близко положению звезды Главной последовательности спектрального класса K5V-K6V. Абсолютная звездная величина звезд этого класса равна $7^m.1$ в полосе V , а полная светимость красного карлика примерно равна $L_{bol} \sim 10^{32}$ эрг/с (см. [13]). В [2] авторы оценили величину межзвездного покраснения $E(B-V) = 0^m.07$. Поэтому величина межзвездного поглощения света $A_V = 3E(B-V)$ равна $0^m.2$. Минимальная звездная величина, зафиксированная нами (см. табл.2), $V = 16^m.4$. Отсюда получаем модуль расстояния с учетом межзвездного поглощения - $9^m.1$ и расстояние до системы $d \sim 660$ пк. (У Родригеса-Гиля и др. [2] $d = 870-1000$ пк).

Во время вспышки яркость системы достигла $V = 12^m.3$ (см. табл.2). Зная модуль расстояния, находим, что абсолютная звездная величина HS 0218+3229 во время вспышки составляла $12^m.3 - 9^m.1 = +3^m.2$. Полагая, что основной вклад в излучение во время вспышки дает аккреционный диск, можно оценить его полную энергию излучения. Для этого необходимо учесть болометрическую поправку, которая зависит от температуры и распределения энергии вспыхнувшего диска. Из цветовых диаграмм $U-B, B-V$ и $B-V, V-R$ видно, что показатели цвета диска во время вспышки находятся вблизи линии абсолютно черного тела с цветовой температурой около 15000 К.

Из таблиц, взятых из работ [13 и 14], можно найти, что звезда спектрального класса B5 также имеет цветовую температуру 15000 К и болометрическую поправку $-1^m.5$. Додин [9] рассчитал болометрические поправки для абсолютно черного тела. Для температуры 15000 К поправка оказалась немного меньше: $-1^m.0$. Если принять болометрический поток от звезды 0-й величины равным $F = 2.48 \cdot 10^{-5}$ эрг см²/с, см. [11], видимую болометрическую величину диска $11^m.3$ и расстояние до системы в 660 пк, то получаем полную светимость диска во вспышке $L_{bol} = 4 \cdot 10^{34}$ эрг/с.

Средняя масса красного карлика спектрального класса K5V составляет $\sim 0.6 M_{\odot}$, см. [11]. Однако, Родригес-Гиль и др. [2] оценили массу красного карлика в $0.23-0.44 M_{\odot}$, а массу белого карлика в $0.44-0.65 M_{\odot}$. Зная период системы, по III закону Кеплера оцениваем, что расстояние между компонентами находится в пределах $1.5 < a < 1.9 R_{\odot}$.

Как мы уже писали, в минимуме блеска в полосах VRI доминирует излучение от красного карлика. Следовательно, светимость аккреционного диска в это время $< 10^{32}$ эрг/с (см. оценку в начале этого раздела), в то время как у большинства карликовых новых эта величина на один-два порядка больше. Отсюда, используя соотношение $L \sim GMM/R$ (G - гравитационная постоянная, M - масса белого карлика, R - внутренний

радиус аккреционного диска), можно сделать вывод о низком темпе аккреции в нашей системе. Этот же вывод следует из более симметричной, чем у большинства звезд типа SS Cyg, формы вспышки (см. раздел 3.2).

Хотя результаты наших расчетов и оценок некоторых физических параметров несколько отличаются от аналогичных величин, приведенных в [2], в целом, эти расхождения не принципиальны и не меняют модель системы.

7. Основные результаты. Всего нами получено свыше 2000 ПЗС-кадров и около 200 фотографических оценок блеска HS 0218+3229 за период с 1963 по 2010г. Анализ полученных наблюдений показал:

1) За все время наблюдалось три вспышки, две из которых зарегистрированы нами (1980г. - по фотопластинкам ГАИШ и 2007г. - по нашим ПЗС наблюдениям). Продолжительность вспышки в октябре 2007г. составила примерно 15 дней, а амплитуда - 4^m в полосе *V*.

2) Из двухцветных диаграмм видно, что во время вспышки звезда становится более голубой, чем в спокойном состоянии, что связано с большим вкладом в светимость системы поярчавшего аккреционного диска. Цветовая температура горячего компонента во время вспышки составляла около 15000 К.

3) Был уточнен орбитальный период системы ($P_{orb} = 7^h 8^m 11^s.5$) и найдены следующие элементы изменения блеска:

$$JD_{hel}^{min} = 2453653.0286 + (0.2973559 \pm 0.0000010) \cdot E.$$

Вследствие эллипсоидальности холодного красного компонента, на кривой блеска наблюдаются две волны за период. Разницы высот максимумов на фазовых кривых изменения показателей цвета объясняются различными условиями видимости горячего пятна на диске, а различия глубин минимумов - эффектом гравитационного потемнения и эффектом отражения. Во время вспышки изменения блеска, вызванные эллипсоидальностью красного компонента, не заметны на фоне яркого вспыхнувшего диска.

4) В полосах *U*, *B* преобладает излучение от аккреционного диска. Эллипсоидальная волна выражена слабо, либо вообще не наблюдается, однако в полосе *U*, вероятно, наблюдается небольшое частичное затмение аккреционного диска. Также заметна короткопериодическая переменность, связанная с мерцанием горячей области на аккреционном диске. В минимуме блеска в полосах *V*, *R*, *I* преобладает излучение от холодного компонента. Найденные нами показатели цвета соответствуют звезде спектрального класса K5V. Форма орбитальной кривой блеска до и после вспышки несколько различна. Перед вспышкой орбитальная кривая блеска, обусловленная эллипсоидальностью вторичного компонента, искажена дополнительным излучением насыщенного аккреционного диска.

5) На основании полученных данных о характере вспышек, звезда

классифицирована нами, как карликовая новая типа UGSS. Для большинства звезд этого типа форма кривой блеска вспышки более асимметричная, чем у нашего объекта. Такое поведение HS 0218+3229 можно объяснить низким темпом перетекания вещества в системе. В этом случае вспышка зарождается во внутренних частях диска и распространяется во внешние его части - т.н. "inside-out" вспышка.

6) Средний блеск системы вне вспышки изменяется с характерным временем в несколько десятков дней и амплитудой $\sim 0^m.2$.

7) Мы оценили размер орбиты системы $a = (1.5 - 1.9)R_{\odot}$ и расстояние до нее $d = 0.66$ кпк. При светимости аккреционного диска во время вспышки в полосе V , равной $1.6 \cdot 10^{34}$ эрг/с, можно получить оценку болометрической светимости диска во время вспышки - $L_{bol} \sim 4 \cdot 10^{34}$ эрг/с.

Авторы выражают глубокую благодарность доктору ф.м.н. Н.И.Шакуре за обсуждение полученных результатов, аспиранту астрономического отделения физ. ф-та МГУ А.В.Додину за проведенные численные расчеты и Д.Божику (Словакия) за наблюдения переменной. Работа была проведена при поддержке грантов РФФИ 11-02-00258, 11-02-00495, 09-02-00225, 09-02-00032, НШ-2374.2012.2, VEGA grant 2/0038/10 Словацкой Академии наук и гранта SAIA Народной стипендиальной программы Словакии (Н.К.).

¹ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Россия, e-mail: polina-golysheva@yandex.ru

² Астрономический институт Словацкой академии наук, Словакия

MULTICOLOUR PHOTOMETRY OF DWARF NOVA STAR HS 0218+3229

P.Yu.GOLYSHEVA¹, S.V.ANTIPIN¹, A.V.ZHAROVA¹, N.A.KATYSHEVA¹,
D.CHOCHOL², S.Yu.SHUGAROV^{1,2}

Our analysis of 200 photographic and 2000 CCD observations of the cataclysmic variable HS 0218+3229, taken from 1963 till 2011, showed the existence of two outbursts in 1980 and 2007 with the amplitude of about 4 magnitude in V and pg bands. We classified the object as an UGSS type dwarf nova with rare outbursts of symmetrical shape, which characterize the "inside-out" outbursts. We improved the orbital period of the underlying close binary to be 0.2973559 days. Orbital light curves showed a double-wave modulation caused by an ellipticity effect of the secondary K5 V star. We found the

difference of the orbital light curves before and after the last outburst and explained the position of the object in two-color diagrams. Some parameters of the close binary system are determined.

Key words: *photometry:stars:close binary systems:dwarf novae*

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.T.Gänsicke, H.J.Hagen, D.Engels*, in "The Physics of Cataclysmic Variables and Related Objects", ed. B.T.Gänsicke, K.Beuermann & K.Reinsch, ASP Conf. Ser., **261**, 190, 2002.
2. *P.Rodriguez-Gil, M.A.P.Torres, B.T.Gänsicke et al.*, *Astron. Astrophys.*, **496**, 805, 2009.
3. *С.В.Антунин*, частное сообщение, 2006.
4. *D.Chochol, N.A.Katysheva, S.Yu.Shugarov, I.M.Volkov*, *Contrib. Astron. Obs. Skalnaté Pleso*, **39**, 43, 2009.
5. *A.W.J.Cousins*, *Mem. R. Astr. Soc.*, **81**, 25, 1976.
6. *J.Smak*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **96**, 575, 1984.
7. *J.K.Cannizzo, J.C.Wheeler, R.S.Polidan*, *Astrophys. J.*, **301**, 634, 1986.
8. *В.Страйжис*, "Многоцветная фотометрия звезд", издательство "Мокслас", Вильнюс, 1977.
9. *А.В.Додин*, частное сообщение, 2010.
10. *Н.Г.Бочкарев, Н.И.Шакура, Е.А.Карицкая*, *Астрон. ж.*, **56**, 16, 1979.
11. *П.Н.Холопов*, "Классификация переменных звезд в свете современных представлений об их эволюции", *Итоги науки и техники*, М., ВИНТИ, с.112, под. ред. Р.А.Сюняева, 1983.
12. *A.M.Cherepashchuk, N.A.Katysheva, T.S.Khruzina, S.Yu.Shugarov*, "Highly Evolved Close Binary Systems: Catalogue", Gordon&Breach, Brussels, 1996.
13. *К.У.Аллен*, "Астрофизические величины", М., "МИР", 1977.
14. *P.J.Flower*, *Astrophys. J.*, **469**, 355, 1996.