

УДК 524.338-735

АНАЛИЗ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ПЕРЕМЕННОЙ AM Her-ТИПА VV Pup ПО РЕНТГЕНОВСКИМ ДАННЫМ ROSAT

© 2015 Э. Эльхоли¹, М. И. Нух^{2*}

¹Университет северной границы, Аръар, 1321 Саудовская Аравия

²Национальный исследовательский институт астрономии и геофизики, Каир, 11421 Египет

Поступила в редакцию 31 марта 2015 года; принята в печать 04 июня 2015 года

VV Pup является типичной системой звезд типа AM Her, где основной вращающийся аккрецирующий полюс попеременно попадает и выпадает из поля зрения в течение орбитального цикла. Представлен анализ данных спутника ROSAT для магнитной катаклизмической переменной VV Pup, получены рентгеновские кривые блеска системы в состоянии высокой светимости. Рассчитан наилучшим образом аппроксимирующийся средний PSPC-спектр, охватывающий все фазовые интервалы. Форма кривой блеска хорошо согласуется как с оптической кривой, так и с кривой в диапазоне экстремального ультрафиолета. Также исследованы спектральные параметры, показатели жесткости, скорость счета и полный интегральный чернотельный поток. Результаты показывают, что поток обычно бывает мягче, когда источник пребывает в яркой фазе, и становится жестче, когда он близок к горизонту белого карлика. Найдена сильная корреляция между чернотельной температурой и плотностью водородного столба на разных уровнях значимости.

Ключевые слова: *новые, катаклизмические переменные — рентгеновское излучение: двойные — звёзды: индивидуальные: VV Pup*

1. ВВЕДЕНИЕ

Катаклизмические переменные — это двойные системы, где присутствует обмен масс, состоящие из обычной звезды (вторичный компонент) и белого карлика (главный компонент), с орбитальным периодом в диапазоне 1–10 часов. Белый карлик аккрецирует вещество со звезды позднего типа, находящейся на главной последовательности, при переполнении полости Роша. Катаклизмические переменные с сильными магнитными полями могут быть как синхронными, так и асинхронными ротаторами.

Звезды типа AM Геркулеса (полярны) являются классом синхронизованных магнитных катаклизмических переменных. Сильное магнитное поле белого карлика полностью контролирует аккрецию, препятствуя формированию аккреционного диска и направляя аккрецируемое вещество вдоль силовых линий. Аккрецируемое вещество достигает сверхзвуковых скоростей и сталкивается с ударными волнами вблизи поверхности белого карлика. Ударные волны повышают температуру падающего вещества до высоких значений. После ударной волны горячая плазма остывает по мере падения на

белый карлик, излучая жесткие рентгеновские волны посредством механизма теплового тормозного излучения [1].

VV Pup определяют как третий пример системы типа AM Her [2] с орбитальным периодом 100.4 минут [3] и двумя магнитными полюсами 31.5 MG и 54.6 MG [4]. Рэмзи и др. [5] нашли существенную спектральную переменность в мягкой рентгеновской компоненте (чернотельная модель).

В настоящей работе проведен анализ кривой блеска и спектра VV Pup. Получены скорости счета для разных фаз. Мы аппроксимировали спектры различными моделями с целью изучения спектральной переменности системы. Работа структурирована следующим образом: раздел 2 посвящен наблюдениям и анализу данных. В разделе 3 обсуждаются рентгеновские кривые блеска. В разделе 4 мы проводим спектральный анализ объекта. Наконец, в разделе 5 приведены полученные выводы.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И АНАЛИЗ ДАННЫХ

VV Pup наблюдалась 17 октября 1991 г. рентгеновским спутником ROSAT с помощью позиционно-чувствительных пропорциональных счетчиков (Position-Sensitive Proportional Counter,

*E-mail: abdo_nouh@hotmail.com

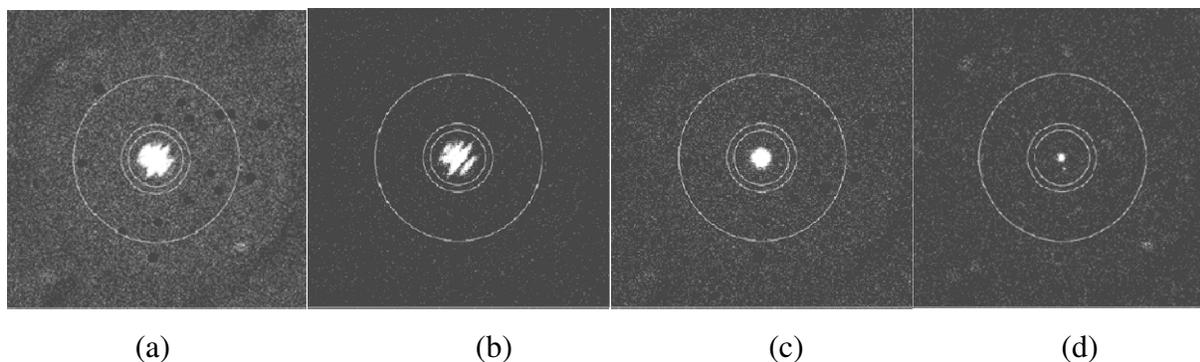


Рис. 1. PSPC-изображения состояния высокой светимости VV Pup с вычтенными фоновыми источниками, полученные в октябре 1991 г.

Таблица 1. Наблюдения VV Pup спутником ROSAT

Дата наблюдений, UT	Название прибора	Средняя скорость счета для всех энергий, отсч. с ⁻¹	Экспозиция, с	Идентификатор наблюдений	RA/Dec (2000)
17 октября 1991 г., 07:57:29	PSPC B	10.33	17 038.29	WG300140p	8 ^h 15 ^m 06 ^s .8s 19°03'18"0

PSPC), работающих в спектральном диапазоне 0.1–2.4 keV с полным временем экспозиции 17 037 с. Средняя скорость счета для всех каналов (энергий) составляет 10.33 отсч. с⁻¹. PSPC-спектр анализировался с помощью матрицы отклика детектора DRMPSPC_B01C [6]. Данные о наблюдениях VV Pup спутником ROSAT приведены в таблице 1.

На рис. 1 показаны PSPC-изображения VV Pup в состоянии высокой светимости, полученные в октябре 1991 г. Размер изображений составляет 42' × 42', размер пикселя — 5"; фоновые источники удалены; внутреннее кольцо для источника $r_s = 4 \text{ FWHM} = 4'$, фон — между вторым кольцом (внутренние радиусы $r_i = 5 \text{ FWHM} = 5'$) и внешним кольцом ($r_o = 12 \text{ FWHM} = 12'$). На рис. 1a показано изображение для всех каналов между 0.05 и 2.4 keV. На рис. 1b показано изображение с преобладающим мягким рентгеном с энергией фотонов между 0.05 и 0.12 keV от каналов с 5 по 12. Рисунок 1c показывает изображение для энергий рентгеновских фотонов в диапазоне 0.20–0.50 keV от каналов с 20 по 50. На рис. 1d представлен жесткий рентген от каналов с 50 по 200 с энергиями фотонов в диапазоне 0.5–2.0 keV. На изображении с жестким рентгеном, ниже центра можно заметить светлое пятно, похожее на другой источник; однако, после тщательного отбора энергий фотонов, оно исчезло.

Рентгеновская кривая блеска VV Pup в состоянии высокой светимости показана на рис. 2, где приводятся скорости счета PSPC в каналах 10–200 (0.10–2.0 keV) в зависимости от времени с разбиением на 10-секундные интервалы. Она представляет собой данные PSPC от 17 октября 1991 г., с полным временем экспозиции (17 037 с) разбитым на 16 наблюдательных периодов (далее НП). Средняя скорость счета составляет 10.33 отсч. с⁻¹. НП 4, 7, 15 и частично НП 8 охватывают самозатмение, когда точка аккреции исчезает за краем диска белого карлика. Рисунок 2 также показывает наличие существенных вариаций между отдельными НП во время наблюдений в состоянии высокой светимости.

Скорость счета для НП 4, 7 и 15 с временами экспозиций 1291, 1089 и 814 с очень мала и близка к уровню фона; для НП 8, 10, 11 и 12 с экспозициями 1564, 1643 и 636 с она сравнительно мала (около 12 отсч. с⁻¹). Скорость счета велика для НП 2, 3 и 1, она достигает 100 отсч. с⁻¹ на 10-секундный интервал.

3. РЕНТГЕНОВСКИЕ КРИВЫЕ БЛЕСКА

Орбитальная рентгеновская кривая блеска VV Pup в состоянии высокой светимости, полученная из октябрьских наблюдений 1991 г.,

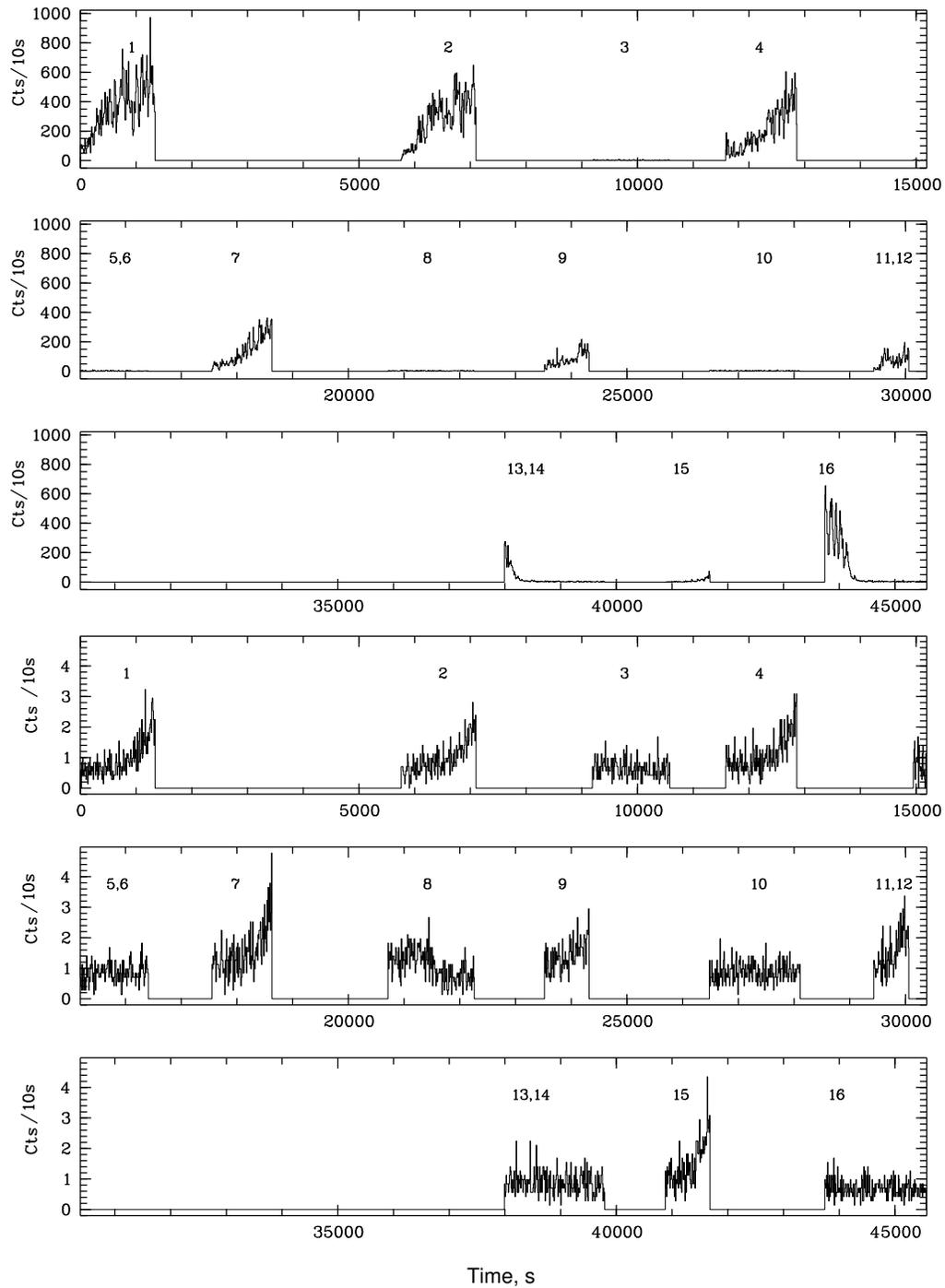


Рис. 2. Рентгеновская кривая блеска VV Psc в состоянии высокой светимости по данным PSPC от 17 октября 1991 г., в 10-секундных интервалах, с полным временем экспозиции 17 037 с. Три верхних панели — скорость счета для источника в зависимости от времени наблюдения, разбитого на 16 наблюдательных периодов (ОП). На трех нижних панелях представлен соответствующий фон.

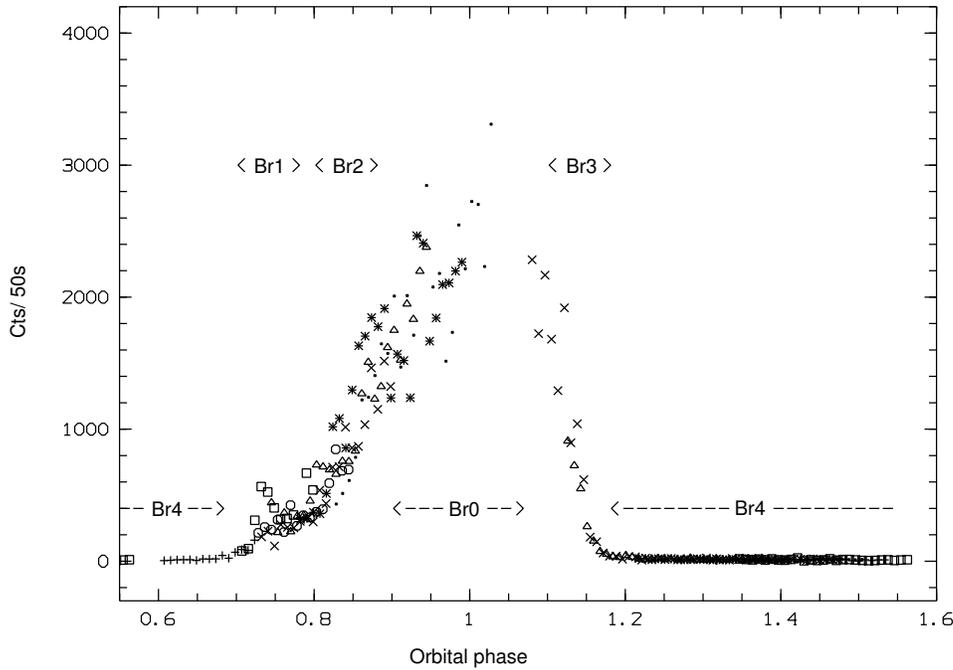


Рис. 3. Скорости счета PSPC в каналах 1–240 (0.01–2.4 keV), построенные с орбитальным периодом 100.4 мин; размер интервала составляет 10 с.

Таблица 2. Результаты для различных фазовых интервалов ($\phi = 0.0–1.0$ для полного интервала T0)

Фазовый интервал	ϕ_{orb}	НП	Число фотонов	Полное время, с	Скорость счета
T0	0.0–1.0	1–16	176 083	17 038.29	10.33
Br0	0.9–1.1	1, 2, 4, 7, 16	81 424	1911.7	92.59
Br1	0.7–0.8	2, 4, 7, 9, 11, 12, 15	16 426	2297.83	7.15
Br2	0.8–0.9	1, 2, 4, 7, 9, 12	56 017	2659.24	21.07
Br3	0.1–0.18	13, 16	11 858	857.08	13.84
Br4	0.18–0.7	3, 5, 6, 8, 10–16	10 358	9312.43	11

показана на рис. 3. Полное время экспозиции — 17 037 с, величины скорости счета построены с орбитальным периодом 100.4 мин в 10-секундных интервалах; использовалась эфемериды [7]:

$$HJD = 2427889.6474 + 0.0697468256 E,$$

где начальная фаза соответствует максимуму блеска.

На рис. 3 яркая фаза (Br0) охватывает фазовый интервал $\phi_{orb} \simeq 0.9–1.1$ и включает НП 1, 2, 4, 7 и 16. Средняя скорость счета в яркой фазе (Br0) составляет 92.59 отсч. s^{-1} с полным временем экспозиции 1911.7 с. Провал (Br4) лежит в фазовом интервале $\phi_{orb} = 0.18–0.70$ и имеет очень низкую скорость счета (1.112 отсч. s^{-1}). Фазовый интервал провала включает НП 3, 5, 6, 8 и 10–16 с полным

временем экспозиции 9312.43 с. Пятно аккреции лучше всего наблюдается в интервале ярких фаз Br0 ($\phi_{orb} = 0.9–1.1$). НП 2, 4, 7, 9, 11, 12 и 15 покрывают интервал фаз $\phi_{orb} = 0.7–0.8$ и представляют собой выход из провала (Br1) с промежуточной скоростью счета 7.148 отсч. s^{-1} и полным временем экспозиции 2297 с. НП 1 и 2 содержат большую вспышку (аккреционное событие) и достигают пиковой скорости счета, примерно 100 отсч. s^{-1} при разрешении в 10 с. Фазовые интервалы Br2 ($\phi_{orb} = 0.8–0.9$) и Br3 ($\phi_{orb} = 0.1–0.18$), где отсчеты составляют 21.07 отсч. s^{-1} and 13.84 отсч. s^{-1} соответственно, находятся перед яркой фазой и после нее. Результаты для фазовых интервалов представлены в таблице 2.

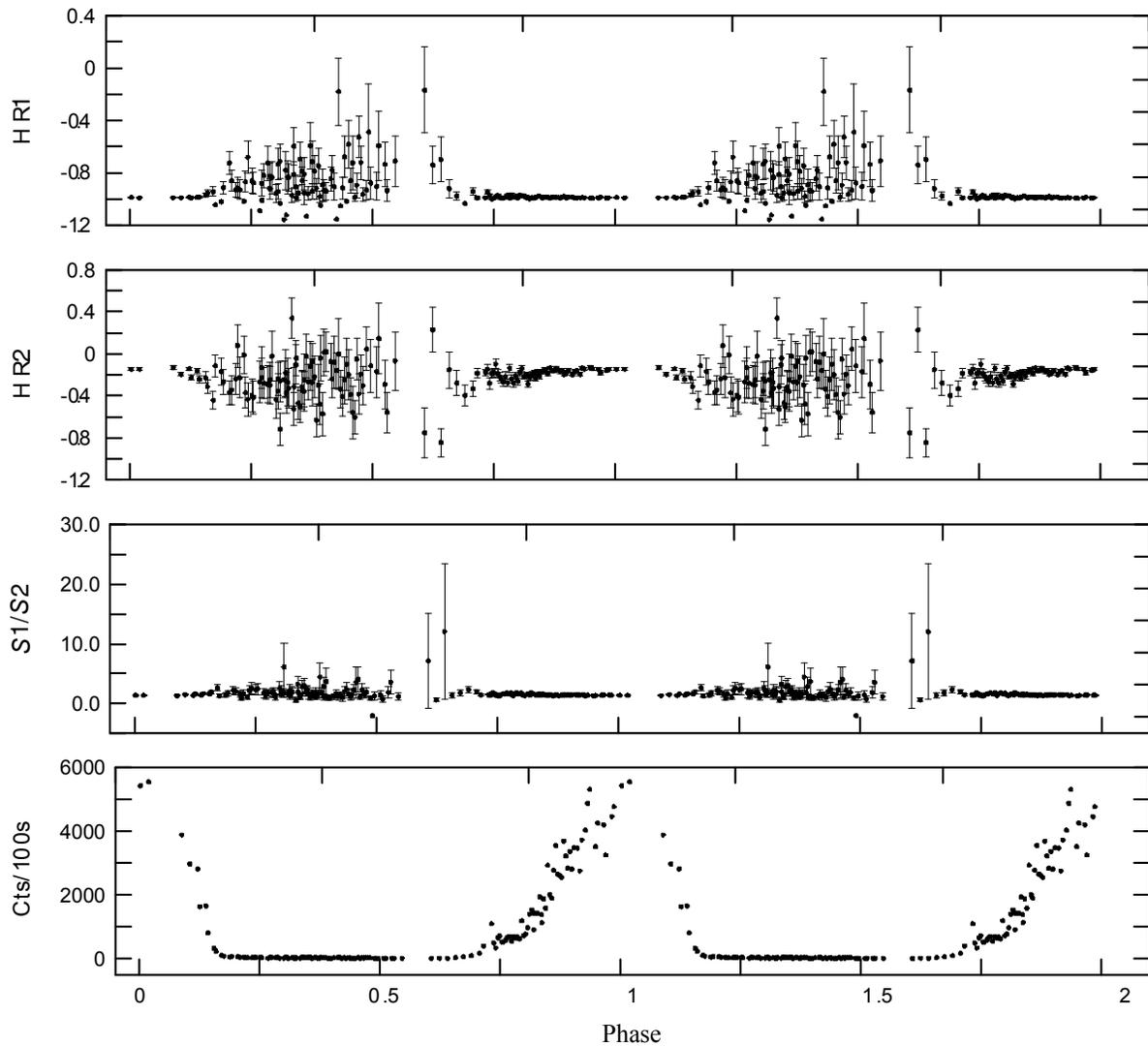


Рис. 4. Орбитальная кривая блеска VV Pup в состоянии высокой светимости по наблюдениям в октябре 1991 г. Отдельные панели показывают (сверху вниз): показатели жесткости HR1 и HR2, отношение скоростей счета $S1/S2$ и полную скорость счета, построенные с орбитальным периодом 100.4 мин в интервалах по 100 с.

Показатели жесткости HR1, HR2 и отношение скоростей счета $S1/S2$ двух энергетических интервалов в мягком диапазоне вычисляются согласно следующим уравнениям:

$$HR1 = (HARD - SOFT) / (HARD + SOFT),$$

$$HR2 = (SOFT2 - SOFT1) / (SOFT2 + SOFT1),$$

$$S1/S2 = SOFT1/SOFT2,$$

где SOFT и HARD — скорости счета в стандартных интервалах 0.11–0.41 keV и 0.52–2.01 keV соответственно. Значения SOFT1 и SOFT2 составляют 0.10–0.20 keV и 0.20–0.40 keV соответственно.

На рис. 4 показаны показатели жесткости HR1

и HR2 и отношение скоростей счета $S1/S2$ двух энергетических интервалов в мягком диапазоне.

Мы нашли несколько корреляций между этими показателями жесткости и скоростью счета. Среднее значение HR1 увеличивается в провале (интервал Br4, $\phi_{orb} = 0.18-0.7$), откуда следует, что источник становится жестче, когда он близок к горизонту белого карлика. Поток становится мягче в ярком фазовом интервале $\phi_{orb} = 0.9-1.1$. Также, мы обнаружили, что источник становится жестче на $\phi = 0.7$, затем становится мягче на $\phi = 0.75$ при возрастающей скорости счета. После этого, источник снова становится жестче по мере того, как возрастает скорость счета.

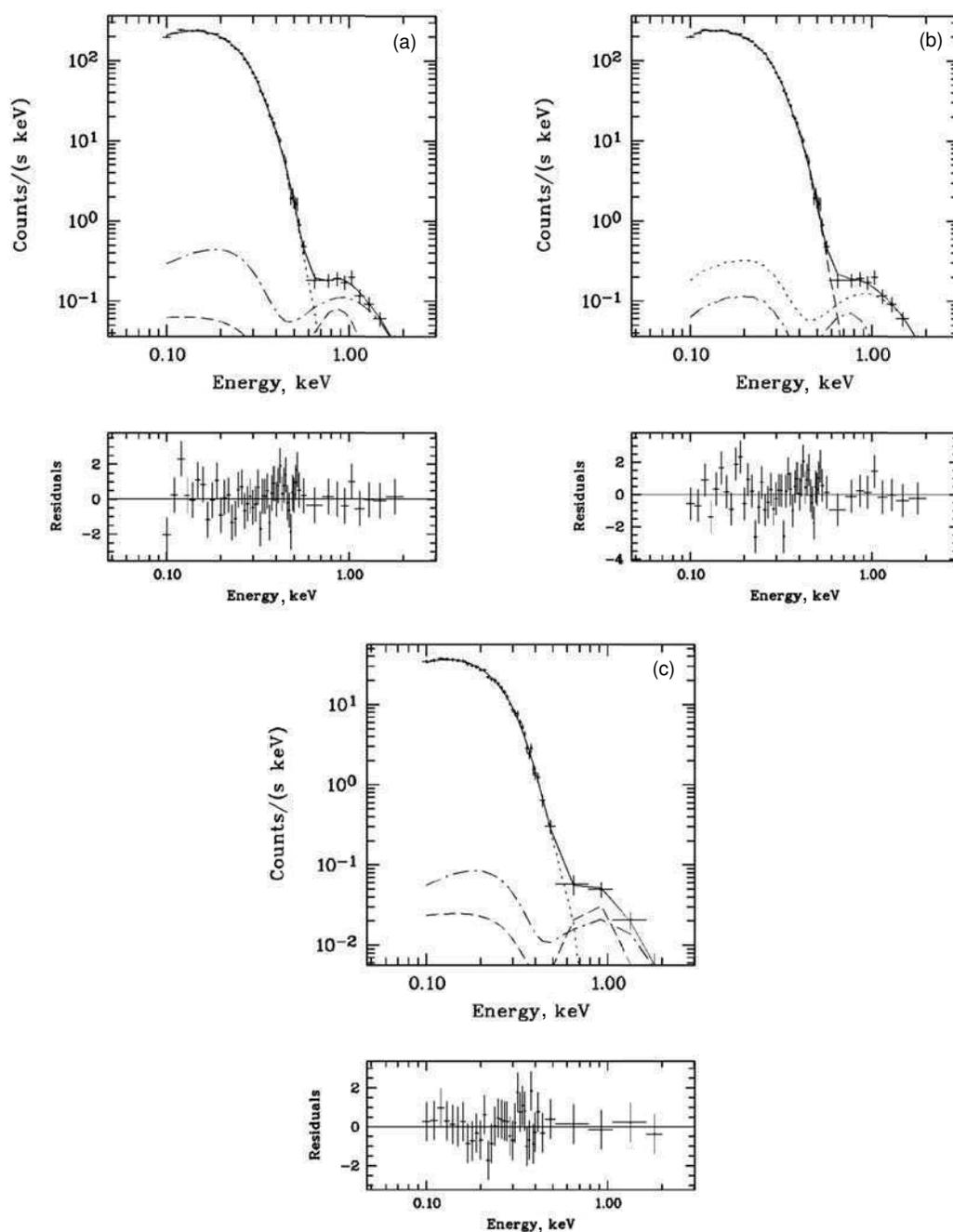


Рис. 5. PSPC-спектры.

4. РЕНТГЕНОВСКИЕ СПЕКТРЫ

Чувствительность PSPC находится в интервале 0.1–2.4 keV [8]. Мы использовали программные пакеты MIDAS и EXSAS для подготовки спектра к временному и спектральному анализу и спектральному моделированию. Мы провели спектральный анализ для трех выбранных фазовых интервалов: фазовый интервал T0 ($\phi_{T0} = 0.0-1.0$), интервал ярких фаз Br0 ($\phi_{Br0} = 0.9-1.1$) и фазовый интервал Br2 (выход из провала $\phi_{Br1} = 0.7-0.8$). Мы ап-

проксируем полный PSPC-спектр VV Pup (T0, $\phi_{T0} = 0.0-1.0$) моделью с тремя составляющими, а именно: мягкой рентгеновской чернотельной составляющей (bb), составляющей, обусловленной жестким рентгеновским тепловым тормозным излучением (th), а также промежуточной составляющей, которая представляет собой либо тепловую плазму Рэймонда–Смита (rs), либо простую функцию Гаусса (gf). Для исследования зависимости спектральных параметров от орбитальной фазы,

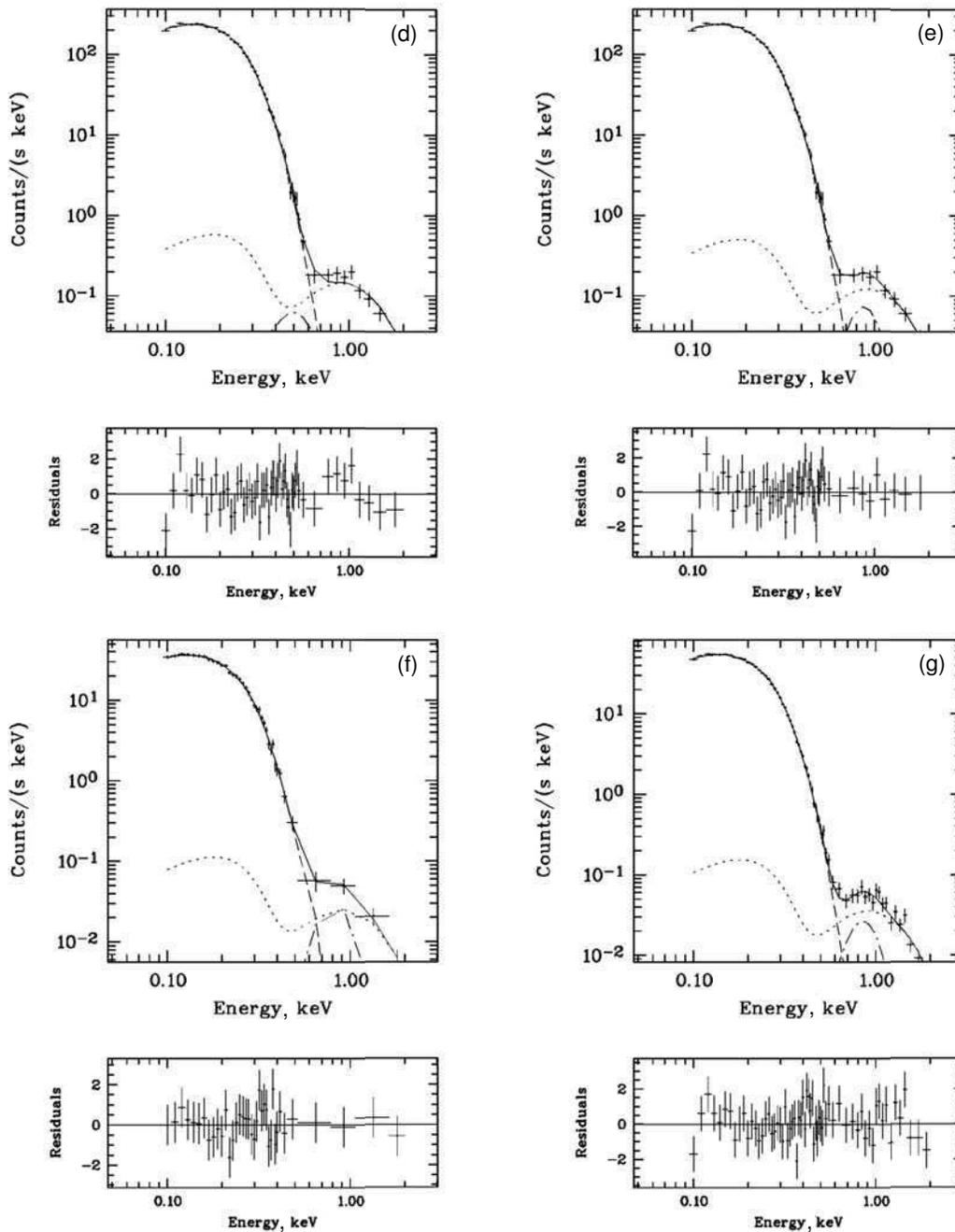


Рис. 5. (Продолжение)

спектры накапливались во всем полном фазовом интервале T_0 ($\phi = 0.0-1.0$), в фазе выхода из провала Br2 ($\phi = 0.7-0.8$) и в яркой фазе Br0 ($\phi = 0.9-1.1$). В таблице 3 приведены параметры аппроксимации рентгеновского спектра.

Рисунок 5а показывает средний спектр для полного 17038-секундного НП со средней скоростью счета $10.33 \text{ отсч.с}^{-1}$; полный спектр хорошо аппроксимируется трехкомпонентной моделью $bb + th + gf$. Наиболее подходящие пара-

метры: фиксированная температура теплового тормозного излучения $kT_{\text{brems}} = 20 \text{ keV}$, плотность столба $N_h = 1.0 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$, чернотельная температура $kT_{\text{bb}} = 32.2 \text{ eV}$ и гауссиана с $\text{FWHM} = 0.1 \text{ keV}$; $\chi^2 = 0.97$. Интегральный чернотельный рентгеновский поток составляет $F_{\text{bb}} = 5.44 \times 10^{-11} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Рисунок 5б показывает спектр для фазы выхода из провала Br1 ($\phi = 0.7-0.8$), частично включая НП 2, 4, 7, 9, 11, 12 и 15, со средней скоростью

Таблица 3. Параметры аппроксимации рентгеновского спектра VV Pup в состоянии высокой светимости (по октябрьским наблюдениям 1991 г.) интегральным спектром, построенным как сумма трех моделей: черное тело (свободная kT_{bb}), тепловое тормозное излучение (фиксированная $kT_{\text{brems}} = 20$ keV) и либо тепловая плазма Рэймонда–Смита, либо простая гауссиана

Фаза (ϕ_{orb})	Аппр.	Модель	N_h , 10^{21} см^{-2}	Norm_{bb}	kT_{bb} , eV	kT_{rs} (фикс.), keV	χ^2	Скорость счета
T0 (0.0–1.0)	a	bb + gf + tb	1.0×10^{-3}	0.393	32 ± 0.7	–	0.972	10.33
Br1 (0.7–0.8)	b	bb + gf + tb	1.0×10^{-3}	0.350	28.5 ± 1.4	–	0.612	7.15
Br1 (0.7–0.8)	c	bb + rs + tb	1.0×10^{-2} (фикс.)	0.483	27 ± 0.9	0.7 ± 0.05	0.628	7.15
Br0 (0.9–1.1)	d	bb + gf + tb	5.55×10^{-2}	1.80	32.3 ± 2	–	0.883	92.59
Br0 (0.9–1.1)	e	bb + rs + tb	6.37×10^{-2}	8.35	25.6 ± 0.5	0.3 ± 0.04	1.190	92.59
Br0 (0.9–1.1)	f	bb + gf + tb	1.0×10^{-2} (фикс.)	2.09	31.3 ± 2	–	0.985	92.59
Br0 (0.9–1.1)	g	bb + rs + tb	1.0×10^{-2} (фикс.)	2.07	31.4 ± 2.5	0.8 ± 0.06	0.870	92.59

счета 7.15 отс. с^{-1} . PSPC-спектр Br1 аппроксимируется трехкомпонентной моделью bb + th + gf с фиксированной $kT_{\text{brems}} = 20$ keV. Наилучшая аппроксимация дает $kT_{\text{bb}} = 28.5$ eV, плотность столба $N_h = 1.0 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$, $\chi^2 = 0.61$ и полный интегральный рентгеновский чернотельный поток $F_{\text{bb}} = 4.31 \times 10^{-11} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

На рис. 5с представлен PSPC-спектр Br1, аппроксимированный трехкомпонентной моделью bb + th + rs с фиксированной $kT_{\text{brems}} = 20$ keV и плотностью столба $N_h = 1.0 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$. Чернотельная температура $kT_{\text{bb}} = 27.0$ eV, температура тепловой плазмы Рэймонда–Смита $kT_{\text{rs}} = 0.72$ keV, $\chi^2 = 0.62$. Интегральный рентгеновский чернотельный поток составляет $F_{\text{bb}} = 5.64 \times 10^{-11} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$.

Рисунки 5d–5g показывают PSPC-спектр для яркой фазы Br0 ($\phi = 0.9–1.1$). На рис. 5d спектр аппроксимируется трехкомпонентной моделью bb + th + gf с фиксированной $kT_{\text{brems}} = 20$ keV; аппроксимация дает плотность столба $N_h = 5.5 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$, чернотельную температуру $kT_{\text{bb}} = 32.3$ eV, $\chi^2 = 0.88$ и интегральный рентгеновский чернотельный поток $F_{\text{bb}} = 2.51 \times 10^{-10} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$. На рис. 5е спектр аппроксимируется моделью bb + th + rs, с чернотельной температурой $kT_{\text{bb}} = 25.6$ eV, наилучшим $N_h = 5.5 \times 10^{18} \text{ см}^{-2}$ и фиксированной температурой тепловой плазмы Рэймонда–Смита $kT_{\text{rs}} = 0.30$ keV. Рисунки 5f и 5g показывают спектры, аппроксимированные моделями bb + th + gf и bb + th + rs с фиксированными $kT_{\text{brems}} = 20$ keV и плотностью столба $N_h = 1.0 \times 10^{19} \text{ см}^{-2}$; чернотельная температура $kT_{\text{bb}} = 31.3$ eV ($F_{\text{bb}} = 2.83 \times 10^{-10} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$,

$\chi^2 = 0.98$, рис. 5f) и $kT_{\text{bb}} = 31.4$ eV, ($F_{\text{bb}} = 2.81 \times 10^{-10} \text{ эрг см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, $\chi^2 = 0.87$, рис. 5g).

5. ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе представлен анализ данных ROSAT для магнитной катаклизмической переменной VV Pup. Получены рентгеновские кривые блеска VV Pup в состоянии высокой светимости. Для отдельных НП и 0.1–2.0 keV скорости счета PSPC построены как функции времени с в интервалах по 10 секунд, а также с орбитальным периодом 100.4 мин с размером интервала 100 с. Мы вычислили наилучшие параметры PSPC-спектров, используя три компоненты, а именно, чернотельное излучение в мягком рентгене, жесткое рентгеновское тормозное излучение, а также либо тепловую плазму Рэймонда–Смита либо простую функцию Гаусса. Данные охватывают яркую фазу ($\phi_{\text{orb}} = 0.9–1.1$), провал ($\phi_{\text{orb}} = 0.18–0.7$), выход из провала ($\phi_{\text{orb}} = 0.7–0.8$) и полный набор данных ($\phi_{\text{orb}} = 0.0–1.0$). Мы вычислили показатели жесткости HR1, HR2, скорость счета $S1/S2$ и полный интегральный чернотельный поток.

Кривая блеска в состоянии высокой светимости показывает, что существует реальная рентгеновская переменность в НП 1, 2, 4 и 16; видно, что рентгеновский поток возрастает со временем в НП 1, 2 и 4 (выход из провала, Br2, $\phi = 0.8–0.9$). Интервал ярких фаз (Br0, $\phi = 0.9–1.1$) дает наилучший обзор пятна аккреции. НП 3, 5, 6, 8, 10 и 15 охватывают затмение (провал, $\phi = 0.18–0.7$), когда точка аккреции исчезает за краем белого карлика. Форма рентгеновской кривой блеска VV Pup хорошо согласуется с дифференциальной кривой

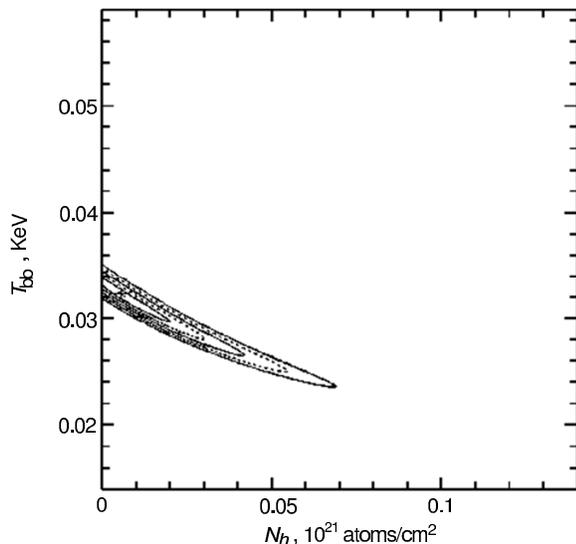


Рис. 6. Результат поиска по сетке в плоскости $T_{\text{bb}}-N_h$, «банановая» диаграмма. Сплошными линиями показаны результаты для 1σ , 2σ и 5σ , пунктиром — результаты для 2σ и 4σ .

блеска из оптических наблюдений [9] и кривой блеска в экстремальном ультрафиолете [10].

Для дальнейшего изучения диапазонов температуры и плотности столба нейтрального водорода (N_h) мы провели поиск по сетке для χ^2 в плоскости N_h-kT_{bb} ; доверительные границы имеют форму «банановой диаграммы». Мы нашли сильную корреляцию между kT_{bb} и N_h ; контурные линии на рис. 6 показывают уровни значимости 1σ (68.3%), 2σ (95.5%), 3σ (99.7%), 4σ (99.9%) и 5σ (100%).

Линии дают диапазон чернотельной температуры $kT_{\text{bb}} = 30-33.8$ eV и диапазон плотности столба $N_h = 0-2 \times 10^{19}$ см $^{-2}$ для уровня 1σ (68.3%), $kT_{\text{bb}} = 26-34$ eV и $N_h = 0-3 \times 10^{19}$ см $^{-2}$ для 2σ (95.5%), $kT_{\text{bb}} = 22.6-35$ eV и $N_h = 0-6.8 \times 10^{19}$ см $^{-2}$ для 5σ (100%).

Чернотельные температуры высоки в спектрах ярких фаз; это вызвано высоким темпом аккреции, который обычно связан с высокой плотностью аккрецируемого вещества. Это вещество проникает глубже в атмосферу белого карлика и нагревает ее из глубинных уровней, что затем вызывает мягкий рентгеновский поток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. V. Girish, V. R. Rana, and K. P. Singh, *Astrophys. J.* **658**, 525 (2007).
2. S. Tapia, *Astrophys. J.* **212**, L125 (1977).
3. M. F. Walker, *Comm. Konkoly Obs.*, No. 57 (1965).
4. E. Mason and D. Wickramasinghe, *Astron. and Astrophys.* **467**, 277 (2007).
5. G. Ramsay, M. Cropper, and O. Mason, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **278**, 285 (1996).
6. K. Beuermann, E. Elkholy, and K. Reinsch, *Astron. and Astrophys.* **481**, 771 (2008).
7. J. Patterson, *Astrophys. J. Suppl.* **54**, 443 (1984).
8. E. Pfeifferman, U. G. Briel, H. Hippmann, et al., *SPIE* **733**, 519 (1986).
9. D. W. Hoard, P. Szkody, R. Ishioka, et al. *Astrophys. J.* **124**, 2238 (2002).
10. S. Vennes, P. Szkody, E. Sion, and S. Long, *Astrophys. J.* **445**, 921 (1995).

Перевод Е. Чмырёвой

ROSAT X-Ray Analysis of the AM Her Cataclysmic Variable VV Pup

E. Elkholy and M. I. Nouh

VV Pup is a typical AM Her-type system of stars, where the main accreting pole rotates in and out of view during the orbital cycle. The ROSAT data analysis for the magnetic cataclysmic variable VV Pup is presented, and the x-ray light curves in a high state are obtained. The mean best-fit PSPC spectrum covering all the phase intervals is calculated. The shape of the light curve is in good agreement with both the optical and the EUV light curves. Also, the spectral parameters, the hardness ratios, the count rate, and the total integrated blackbody flux are studied. The results show that the flux tends to be softer when the source is in the bright phase, and becomes harder when it is close to the horizon of the white dwarf. A strong correlation between the blackbody temperature and the hydrogen column density is found at different confidence levels.

Keywords: *novae, cataclysmic variables—x-rays: binaries—stars: individual: VV Pup*