

УДК: 524.3:520.85

СТРУКТУРА МАГНИТНОГО ПОЛЯ И АККРЕЦИОННЫЕ РЕЖИМЫ АСИНХРОННОГО ПОЛЯРА ВУ Cam

Е. П. ПАВЛЕНКО

Поступила 28 июля 2005

Принята к печати 14 ноября 2005

Получены фотометрические ряды ПЗС-наблюдений асинхронного поляра ВУ Cam на телескопе К-380 КрАО во время пребывания системы в низком состоянии аккреции ($R=14^m - 16^m$), охватывающие ~ 100 часов в течение 31 ночи в 2004-2005 гг. Зарегистрирован период изменения блеска $P_1 = 0.137120 \pm 0.000002$ суток, а также менее значимые периоды $P_2 = 0.139759 \pm 0.000003$ и $P_3 = 0.138428 \pm 0.000002$ суток, где P_2 и P_3 , очевидно, являются орбитальным периодом и периодом вращения, а доминирующий период P_1 - "периодом побочной полосы" (side-band period). Впервые обнаружена модуляция блеска и амплитуды 0.137 сут. колебаний с орбитально-вращательным периодом биений (синодическим циклом) 14.568 ± 0.003 сут. Профиль модулирующей кривой - четырехгорбый. Это можно расценивать как свидетельство того, что магнитное поле имеет квадрупольную составляющую, что хорошо проявляется в низком состоянии яркости. Аккреция идет одновременно на две или три аккреционные зоны, но с различным темпом. Моменты максимумов блеска для основной аккреционной зоны изменяются с фазой периода биений. Выделено три типа таких изменений: линейное, скачкообразное и хаотическое, которые указывают на смену режимов аккреции. На фазах синодического цикла 0.25 и 0.78 основная часть струи переключается на 180° , а на фазе 0.55 на -75° . В интервале фаз $0.25-0.55$ и $0.55-0.78$ О-С показывают смещение с периодом 0.1384 сут., которое можно объяснить смещением основной аккреционной зоны в попятном направлении относительно магнитного полюса и/или изменением угла между линиями поля и поверхностью белого карлика, вызванным асинхронным вращением. В интервале фаз $0.78-1.25$ перемещение основной аккреционной зоны является довольно хаотичным. Установлено, что синхронизация компонентов происходит со скоростью не более, чем $dP_{\text{ин}}/P_{\text{ин}} \sim 10^{-9}$ (сут/сут).

1. *Введение.* Поляры, к которым относится ВУ Cam, - это подкласс магнитных новоподобных катаклизмических переменных, которые не показывают вспышек типа классических или карликовых новых (исключение составляет единственная новая-поляр V1500 Cyg), однако иногда, чаще всего непредсказуемо, входят в высокое состояние яркости, пребывая в нем от нескольких месяцев до нескольких лет, и также непредсказуемо выходят из него тоже на неопределенное время [1]. Магнитные новоподобные состоят из заполнившего полость Роша красного карлика, теряющего вещество на магнитный белый карлик. Магнитные поля таких белых карликов обычно достаточно сильны ($10-200$ МГц), чтобы предотвратить образование аккреционного диска, поэтому аккреция происходит вдоль силовых линий магнитного поля в район одного или двух полюсов. Основным источником излучения

является циклотронное излучение аккреционных колонн, которые возникают над поверхностью белого карлика в результате сильного торможения падающего вещества. Если же белый карлик еще и достаточно горяч, он может нагревать обращенную к нему сторону компаньона рентгеновским и ультрафиолетовым излучением, вызывая "эффект отражения", который также может быть существенным. У поляр V1500 Cyg, например, этот эффект в оптическом диапазоне во много раз превосходит вклад аккреционных колонн [2].

В этих системах, благодаря действию магнитного поля, период вращения белого карлика синхронизован с орбитальным периодом двойной системы. Однако из этого правила есть исключение в виде четырех поляр, обладающих небольшим (~1%) асинхронизмом: это BY Cam [3], V1500 Cyg [4], V1432 Aql = RXJ 19402-1025 [5] и J2115-5840 [6].

В синхронных поляр аккреционная струя захватывается силовыми линиями магнитного поля, которые не изменяют свою ориентацию по отношению к красному карлику. В асинхронных же системах ориентация магнитного поля будет изменяться с фазой синодического цикла P_{beat} (орбитально-вращательного периода биений ("beat")):

$$1/P_{beat} = 1/P_{rot} - 1/P_{orb}, \quad (1)$$

где P_{rot} и P_{orb} - соответственно период вращения и орбитальный период. Асинхронные поляр поэтому дают прекрасную возможность изучения структуры магнитного поля и режимов аккреции путем исследования системы в различных фазах периода биений. Сам период биений в асинхронных поляр проявляет себя по-разному. Впервые он был открыт у V1500 Cyg в 1988г. в виде ~7 - дневных изменений среднего блеска [7], которые могут иметь форму одно- или двугорбой волны [8]. У RX J2115-5840 Рамзей и др. [9] нашли изменения круговой поляризации с 6.3-дневным периодом биений, а у V1432 Aql Фридрих и др. [10] обнаружили модуляцию рентгеновских кривых блеска с фазой периода биений 49.5 дней. Наиболее яркое проявление этого периода у BY Cam было найдено в результате проведения международной кампании "Ноев проект" [11]: дважды за синодический цикл (14.5 сут.) происходило переключение аккреционной струи с одного полюса диполя на другой (это выражалось в циклических колебаниях амплитуды переменности и скачков О-С максимумов блеска через каждую половину периода биений). Следует отметить, что BY Cam в это время пребывал в высоком - промежуточном состояниях яркости.

В течение 20 лет с момента открытия система BY Cam очень активно изучалась в рентгеновском и оптическом диапазонах спектра фотометрически, поляриметрически и спектроскопически. Хороший обзор наблюдений и их результатов даны, например, в статьях Ишиды

и др. [12] и Силбера и др. [3]. Орбитальный период системы, определенный спектроскопически, составляет 0.139764 сут. [13], а период вращения, определенный Мэйсоном и др. путем поляриметрических и фотометрических наблюдений, - 0.138424 сут. [14,15].

В низком состоянии эта система подробно не исследовалась. Известны лишь эпизодические наблюдения. Так, Ишида и др. по наблюдениям на рентгеновском телескопе Ginga 7-10 февраля 1988г. наблюдали объект как в высоком, так и в низком состояниях, определив их как "вспыхнувшую" и "пульсирующую" стадии [12]. Они впервые подчеркнули коренное различие кривых блеска в этих состояниях: в то время как в низком наблюдалась рентгеновская модуляция с периодом вращения белого карлика, в высоком она исчезала. В низком состоянии в течение нескольких ночей Пиирола и др. [16] провели *UBVRI*-поляриметрию и фотометрию ВУ Cam. Они столкнулись с проблемой: невозможностью моделирования двойной системы одним и тем же набором параметров для разных состояний яркости. Для высокого состояния были найдены углы наклона орбиты и разность между магнитной осью и осью вращения соответственно 40° - 60° и 30° - 45° для области с сильной положительной круговой поляризацией, а низкому состоянию лучше соответствовал угол наклона орбиты $\sim 85^{\circ}$. В низком состоянии в 1989г. ВУ Cam засекли независимо Скоди и др. [17] и Павленко и др.[18]. Павленко и др. отметили, что низкое состояние длилось около двух месяцев, модуляция блеска имела сложную форму, на которую дополнительно накладывались короткопериодические колебания от 11 до 30 мин. Скоди и др. в 1989г. получили три кривые блеска объекта последовательно в полосах *B*, *R* и *J* и отметили, что в низком состоянии аккреция происходила на два полюса белого карлика, хотя по сравнению с высоким состоянием аккреция на основной полюс оказалась существенно меньше. Кратковременный вход в низкое состояние и выход из него был также замечен Павленко в 2004г. [19].

Целью данной работы является фотометрическое изучение ВУ Cam именно в этом состоянии, где в 2004-2005гг. звезда находилась большую часть своего времени.

2. *Наблюдения.* ВУ Cam наблюдался на 38-см телескопе К-380 Крымской астрофизической обсерватории с 17 января 2004г. по 10 февраля 2005г. в течение 45 ночей в полосе Джонсона *R*. В качестве светоприемной аппаратуры использовалась матрица ПЗС SBIG ST-7, либо APOGEE 47p. Суммарное время наблюдений составило около 132 часов. Обработка изображений проводилась методом апертурной фотометрии с помощью программы, разработанной Горанским [20]. Сводка наблюдений представлена в табл.1, где в первом столбце указана

дата наблюдений, а в скобках - три последние цифры юлианской даты, во втором столбце приведена длительность наблюдений, в третьем - экспозиция, а в четвертом - тип использовавшейся матрицы.

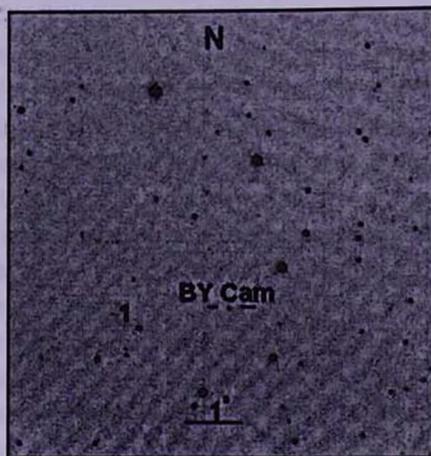


Рис.1. Поисковая карта BY Cam.

На рис.1 приведена поисковая карта с указанием BY Cam и звезды сравнения. Указано направление на север и масштаб изображений. Звездой сравнения служила звезда 1, ее блеск в полосах V и R составляет: $V = 14^m.55$, $R = 13^m.96$. Фотометрическая привязка звезды сравнения осуществлялась относительно звезды GSC 3668.0884 ($V = 13^m.22$, $R = 12^m.56$), находившейся во время наблюдений на одной воздушной массе с BY Cam.

Точность единичного измерения блеска во время наблюдений, определявшаяся как среднеквадратичное отклонение разности блеска контрольной звезды и звезды сравнения, составляла $0^m.01-0^m.03$.

3. *Низкие состояния блеска.* Наблюдения BY Cam проходили в виде двух сетов: 1) зима-весна 2004г. и 2) осень 2004 - зима 2005г. За это время BY Cam дважды уходил в низкое состояние блеска. Первый раз это случилось во время первого сета наблюдений в 2004г. Тогда ослабление блеска было кратковременным: за время не более чем 16 дней средний блеск упал на $1^m.5$. Примерно столько же времени BY Cam пребывал в низком состоянии. Возвращение в высокое состояние происходило быстрее: не позднее, чем через неделю, средний блеск системы вырос на полвеличины. Всего вход-выход длился около 35 суток [19]. Второй раз BY Cam был обнаружен в низком состоянии с начала второго сета наблюдений и пребывал в нем гораздо дольше - по крайней мере, не менее 95 суток.

В данной работе мы ограничились анализом наблюдений, относя-

Таблица 1

СВОДКА ДАННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Дата	Длительность (ч)	Экспозиция (с)	Тип ПЭС
2004			
17/18 января (JD 022)	6.5	120	ST-7
31/01 февраля (JD 037)	3.1	120	ST-7
22/23 февраля (JD 058)	4.2	120	ST-7
28/29 февраля (JD 064)	1.3	180	ST-7
29/01 марта (JD 065)	2.0	180	ST-7
1/2 марта (JD 066)	2.0	180	ST-7
2/3 марта (JD 067)	0.1	240	ST-7
3/4 марта (JD 068)	0.3	180	ST-7
5/6 марта (JD 070)	0.4	180	ST-7
8/9 марта (JD 073)	2.8	180	ST-7
23/24 марта (JD 089)	2.9	210	ST-7
25/26 марта (JD 091)	3.3	180	ST-7
31/01 апреля (JD 096)	0.5	180	ST-7
1/2 апреля (JD 097)	1.8	180	ST-7
2/3 апреля (JD 098)	3.5	180	ST-7
3/4 апреля (JD 099)	3.5	210	ST-7
4/5 апреля (JD 100)	2.9	180	ST-7
7/9 апреля (JD 103)	3.8	180	ST-7
9/10 апреля (JD 105)	3.0	180	ST-7
12/13 апреля (JD 108)	0.6	180	ST-7
16/17 апреля (JD 112)	3.1	180	ST-7
17/18 апреля (JD 113)	2.7	180	ST-7
18/19 апреля (JD 114)	2.9	180	ST-7
7/8 ноября (JD 317)	3.4	180	APOGEE 47p
8/9 ноября (JD 318)	3.4	180	APOGEE 47p
9/10 ноября (JD 319)	3.4	180	APOGEE 47p
10/11 ноября (JD 320)	3.6	180	APOGEE 47p
11/12 ноября (JD 321)	3.6	180	APOGEE 47p
21/22 ноября (JD 331)	3.6	180	APOGEE 47p
22/23 ноября (JD 332)	3.4	180	APOGEE 47p
1/2 декабря (JD 341)	3.4	180	APOGEE 47p
4/3 декабря (JD 344)	3.4	180	APOGEE 47p
15/16 декабря (JD 355)	3.1	180	ST-7
17/18 декабря (JD 357)	6.5	180	ST-7
18/19 декабря (JD 358)	3.4	180	ST-7
26/27 декабря (JD 366)	1.7	180	ST-7
27/28 декабря (JD 367)	2.6	180	ST-7
2005			
9/10 января (JD 380)	3.6	180	ST-7
13/14 января (JD 384)	2.9	180	ST-7
4/6 февраля (JD 406)	4.1	180	ST-7
6/7 февраля (JD 408)	2.9	180	ST-7
7/8 февраля (JD 409)	4.3	180	ST-7
8/7 февраля (JD 410)	3.6	180	ST-7
9/10 февраля (JD 411)	3.6	180	ST-7
10/11 февраля (JD 412)	4.3	180	ST-7

щихся только к низкому состоянию: в общей сложности в этом состоянии ВУ Сам наблюдался около 100 часов в течение 31 ночи.

4. *Синодический период и период "побочной полосы" (side-band period)*. Для рядов наблюдений, полученных в низком состоянии, был проведен периодограммный анализ с использованием метода Стеллингверфа с помощью пакета ISDA [21]. Анализ проводился в двух диапазонах: а) в районе синодического периода в интервале 2-20 суток и б) в районе периода вращения и орбитального периодов в интервале 0.125-0.15 суток. Для этого данные были предварительно переведены в интенсивности (с произвольным нуль-пунктом).

Периодограмма в районе синодического периода (рис.2) имеет два наиболее значимых пика, которые соответствуют периодам 3.642 ± 0.003 сут. и 7.284 ± 0.002 сут. Эти величины совпадают с половиной периода биений и его четвертью, сам период биений оказывается равным 14.568 ± 0.003 сут. Формально он на 0.05 сут. длиннее, чем в 1996г., 14.52 ± 0.02 сут. [11].

Соответствующая этому периоду фазовая кривая приведена на верхней панели рис.7. Фазы вычислялись согласно эфемериде

$$T_{hel\ min} = 2453089.2473 + 14.568 E. \quad (2)$$

Каждая точка соответствует усреднению всех оценок блеска за ночь. Длительность наблюдений каждую ночь была близка к орбитальному периоду. Данные для интервалов наблюдений, которые были существенно короче орбитального периода, исключались из анализа. Профиль кривой имеет вид четырех примерно равноотстоящих горбов, что и следовало ожидать исходя из особенностей периодограммы. Отметим, что ранее проводившийся анализ для высокого состояния не показывал значимой модуляции блеска с периодом биений [11].

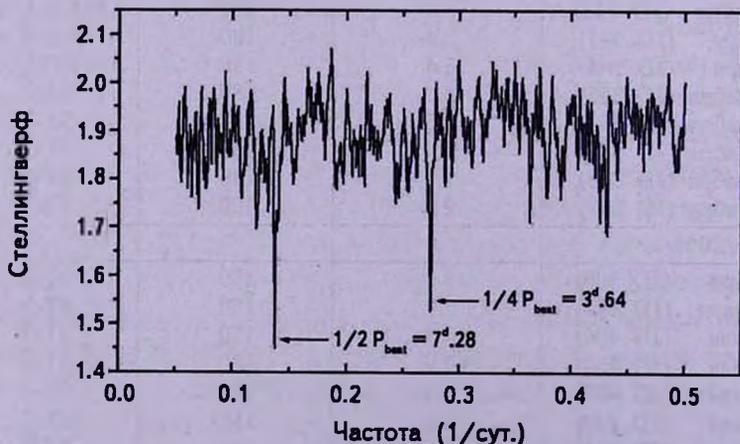


Рис.2. Периодограмма ВУ Сам в окрестности периода биений.

Для поиска более короткопериодических колебаний найденная модуляция была вычтена (как периодическая волна с четырьмя горбами).

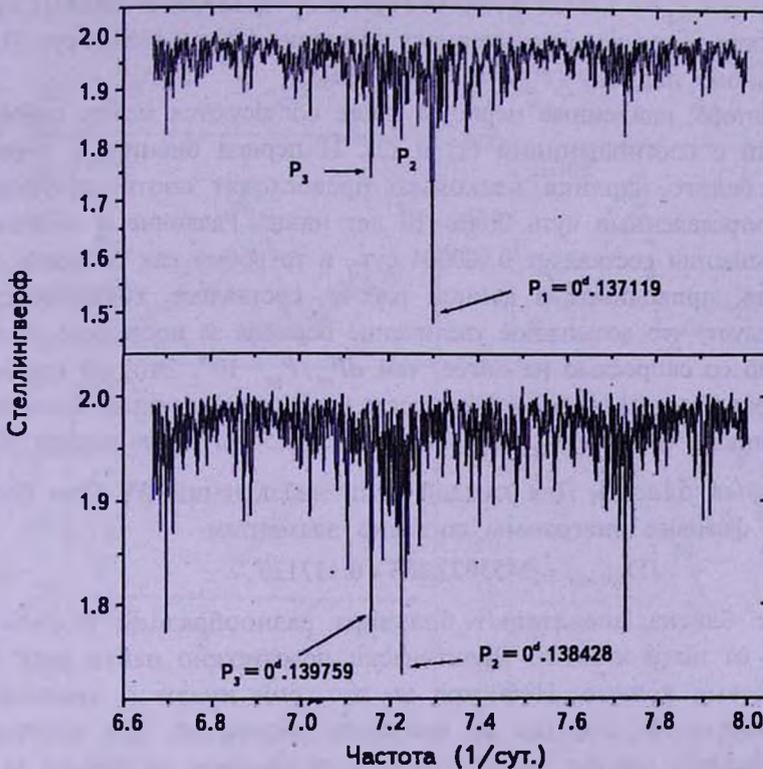


Рис.3. Периодограммы ВУ Cam в окрестности орбитального периода и периода вращения.

Результат представлен на рис.3. Наиболее значимый пик, указанный на периодограмме, соответствующий периоду $P_1 = 0.137120 \pm 0.000002$ сут., это хорошо известный "период побочной полосы" (side-band) P_{sb} , получившийся и ранее [11], который соответствует соотношению

$$1/P_{sb} = 2/P_{rot} - 1/P_{orb}, \quad (3)$$

где P_{rot} и P_{orb} - соответственно периоды вращения и орбитальный период.

Период боковой полосы часто наблюдается и в других системах, где происходит сбой фазы из-за переключения аккреции с одной эмиссионной области на другую, подобно тому, как это описали Вин и Кинг [22] для систем типа DQ Her. В этих системах период вращения светящейся области можно определить только по тем данным, которые получены между переключениями аккреции с одной области на другую. Увеличение объема наблюдений приводит к увеличению значимости периода побочной полосы. При этом на соответствующих периодограммах пики, относящиеся к периоду вращения, могут и вовсе отсутствовать.

На нижней панели рис.3 приведена периодограмма, построенная для данных, из которых был вычтен этот период. На ней обращают на себя внимание пики $P_2 = 0.138428 \pm 0.000002$ сут. и $P_3 = 0.139759 \pm 0.000002$ сут., близкие к определенным ранее периоду вращения ($P_{rot} = 0.138424$ сут. [15]) и орбитальному периоду ($P_{orb} = 0.139764$ [13]).

Кроме этого, найденные периоды также согласуются между собой в соответствии с соотношениями (1) и (3). И период биений, и период вращения белого карлика несколько превосходят соответствующие периоды, определенные чуть более 10 лет назад. Различие в величине периода вращения составляет 0.000004 сут., в то время как точность его определения, приводимая в данной работе, составляет ± 0.000002 сут. Отсюда следует, что возможное увеличение периода за последние 10 лет происходило со скоростью не более, чем $dP_{rot}/P_{rot} \sim 10^{-9}$. Это, по крайней мере, на порядок медленнее, чем скорость увеличения периода вращения белого карлика в системе V1500 Лебеда через ~ 25 лет после взрыва [23].

5. Кривые блеска. Для каждой ночи наблюдений ВУ Сап были построены фазовые диаграммы согласно элементам

$$JD_{hel\ min} = 2453022.268 + 0.137120. \quad (4)$$

Кривые блеска впечатляют большим разнообразием формы и амплитуды от ночи к ночи. Практически невозможно найти хотя бы две одинаковые кривые. Несмотря на это, они имеют и некоторые общие свойства. В отличие от высокого состояния, для которого типичная фазовая кривая имела одногорбый профиль за период [11], в данной ситуации кривые показывают многогорбую структуру. Каждая кривая имеет, как правило, один большой горб, длящийся примерно половину периода, и один или два меньших горба в течение другой половины периода. Очевидно, что отдельные горбы ассоциируются с отдельными аккреционными областями. Поэтому можно утверждать, что в течение одного орбитального цикла наблюдаются две, а то и три аккреционные области (лучше всего это видно в даты JD 317 и JD 412), то есть, аккреция одновременно идет на две или три области, но с разным темпом. Наибольший горб может быть симметричным, как, например, в даты JD 318, 321, 332, 409 или иметь ярко выраженную асимметрию. Так, например, в даты JD 98, 317 кривые имеют очень крутую восходящую ветвь основного горба, а в даты JD 089, 344, 380 - наоборот, крутую нисходящую ветвь. Иногда горб может иметь "расщепленную" структуру (JD 357) или относительно плоский максимум, длящийся около 0.4 периода (JD 367).

6. Анализ O-C. Для каждого большого горба мы определили его амплитуду и момент максимума, пользуясь программой Марсаковой

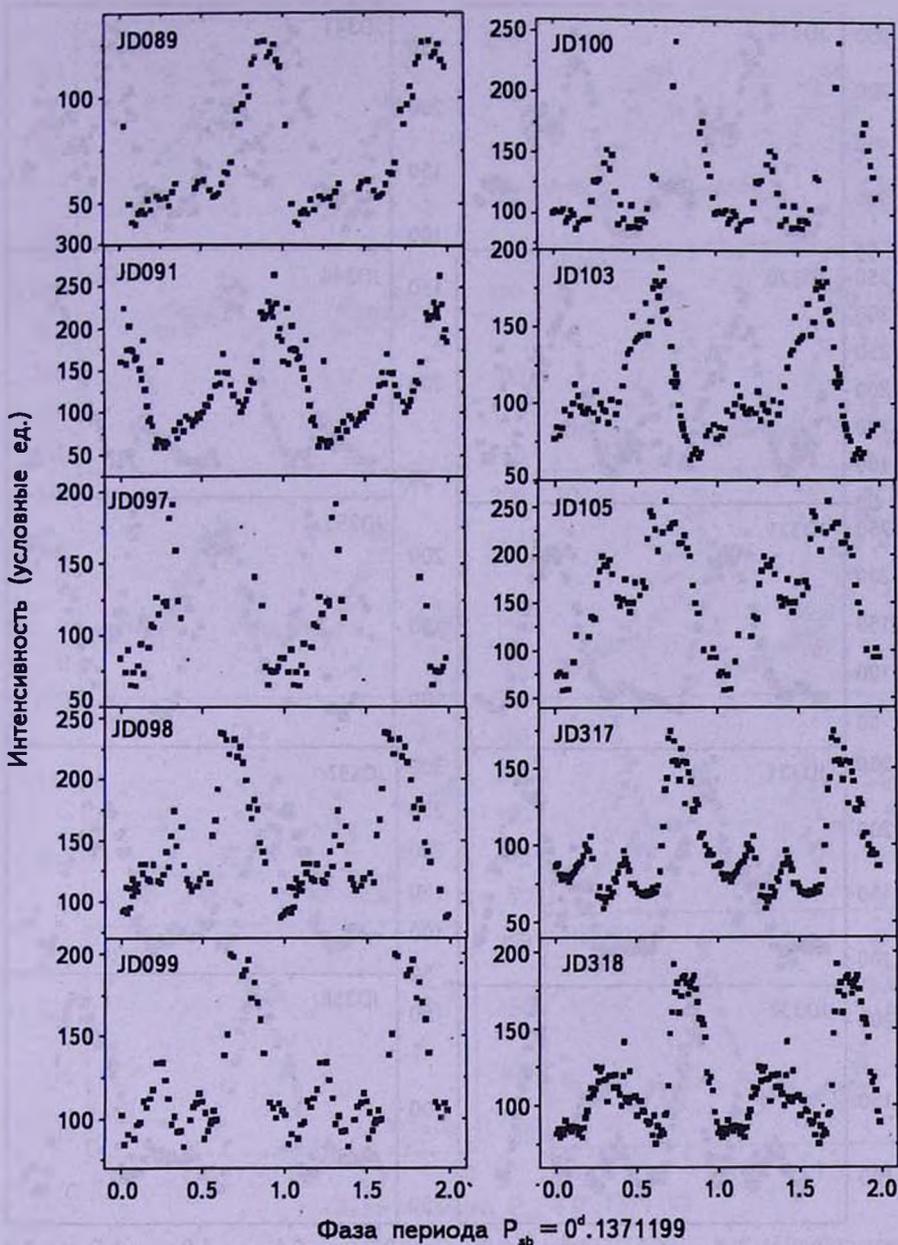


Рис.4. Индивидуальные кривые сверток данных для дат JD 2453089-2453318.

и Андропова, в которой кривая аппроксимируется скользящими параболоми [24]. Расчетные моменты максимумов определялись с тем же периодом, что и в (4), но с другой начальной эпохой:

$$T_{hel\ max} = 2453089.307 + 0.1371199E. \quad (5)$$

Моменты максимумов (последние пять цифр юлианской даты) с

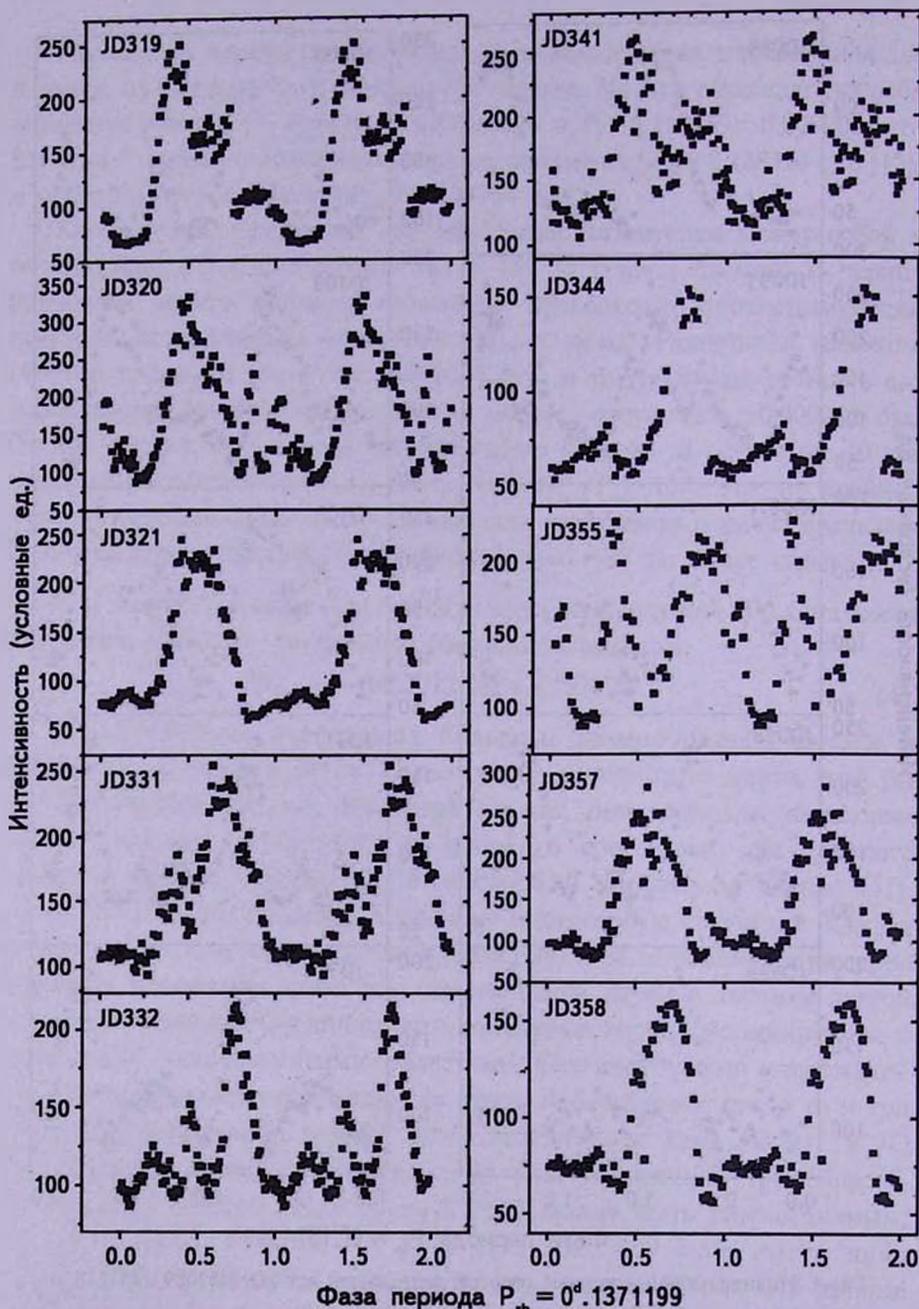


Рис.5. Индивидуальные кривые свертки данных для дат JD=2453319 - 2453358. Обозначения такие же, как и для рис.4.

ошибками их определения (тысячные доли суток), которые даны в скобках, приведены в табл.2.

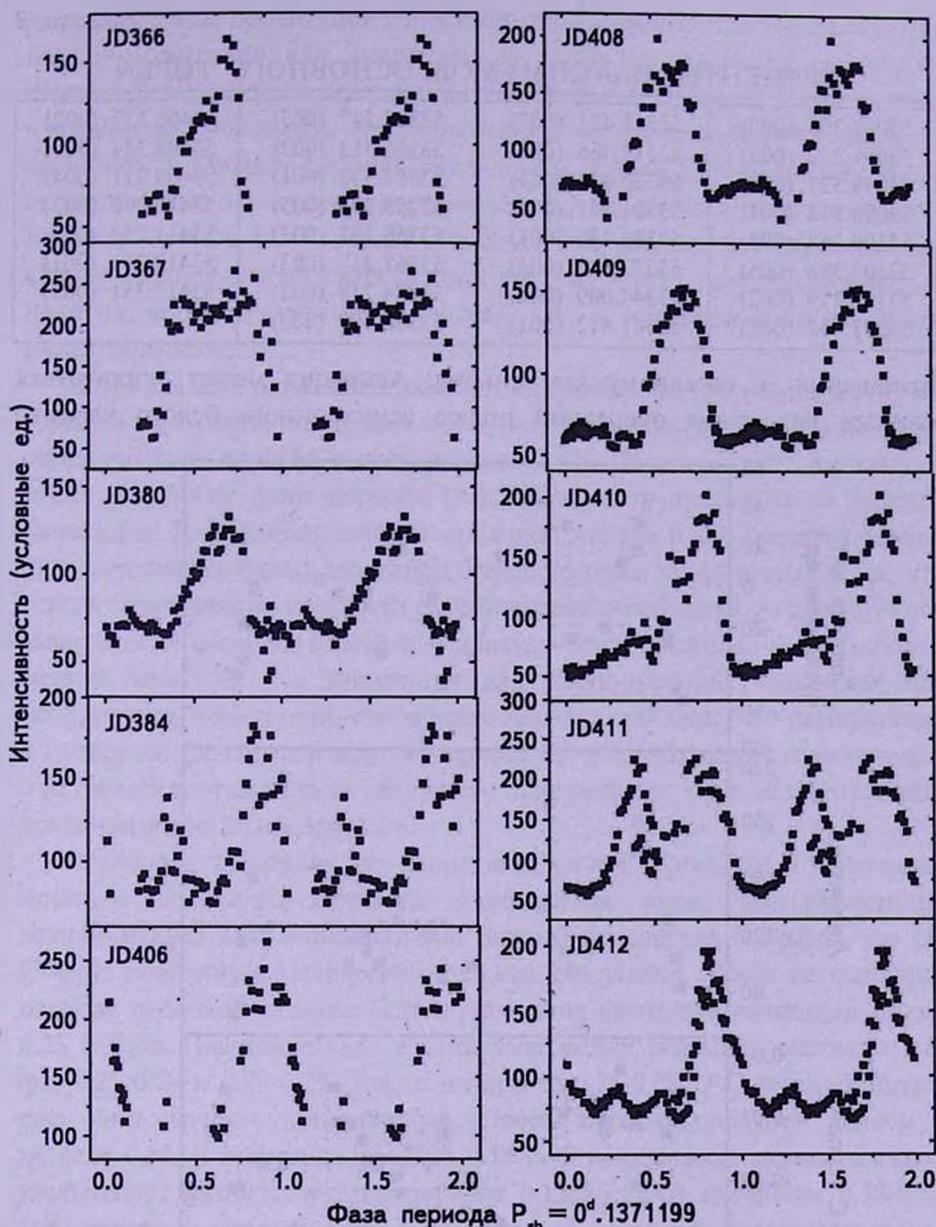


Рис.6. Индивидуальные кривые свертки данных для дат JD 245366 - 2453412. Обозначения такие же, как и на рис.4.

7. Зависимости среднего блеска, амплитуды и O-C от фазы синодического цикла. Обнаруженная модуляция блеска с синодическим циклом в виде кривой с четырьмя гармониками, вероятно, вызвана периодичностью изменения темпа аккреции. Это может произойти в результате изменения ориентации магнитного поля белого карлика по

МОМЕНТЫ МАКСИМУМОВ ОСНОВНОГО ГОРБА

53089.305 (005)	53318.421 (007)	53355.247 (003)	53406.327 (002)
53091.232 (005)	53319.465 (005)	53355.312 (003)	53408.344 (003)
53098.323 (001)	53320.433 (001)	53357.332 (001)	53409.311 (004)
53099.293 (001)	53321.541 (001)	53358.307 (003)	53410.292 (003)
53100.264 (005)	53331.431 (001)	53366.281 (003)	53411.252 (003)
53103.398 (005)	53332.540 (003)	53367.212 (003)	53412.211 (001)
53105.319 (002)	53344.609 (002)	53384.248 (003)	53412.351 (002)
53317.448 (001)	53341.412 (001)	53380.380 (003)	

отношению к соседнему компаньону. Аккреция может усиливаться каждый раз, когда очередной полюс асинхронного белого карлика

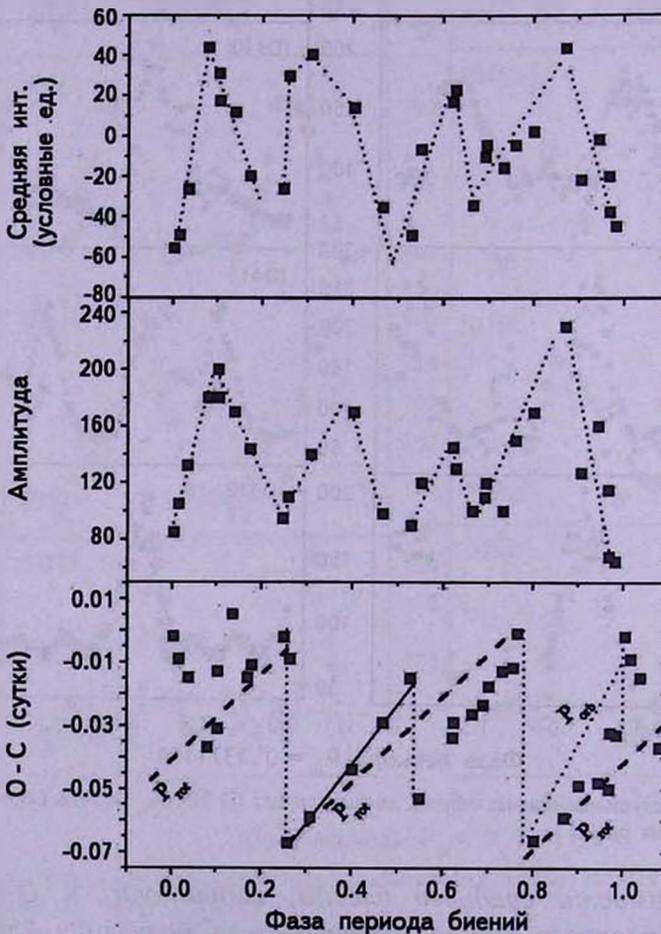


Рис.7. Зависимость среднего блеска, выраженного в интенсивностях (верхняя панель), амплитуды большого горба (средняя панель) и O-C для максимума 0.137-дневных колебаний блеска от фазы периода биений (синодического периода). Вертикальные пунктирные линии соответствуют скачкам O-C на фазах 0.25, 0.55 и 0.78. Вертикальные пунктирные линии на фазах 1.0 и 0.25 ограничивают хаотические изменения O-C. Дальнейшие объяснения в тексте.

достигнет такой ориентации относительно соседнего компонента, которая наиболее выгодна для аккреции. К тому же, очевидно, возможен периодический прогрев внутренней точки Лагранжа жестким рентгеновским излучением, исходящим из соответствующей аккреционной зоны (о возможности влияния жесткого излучения компактной звезды на истечение вещества через окрестности внутренней точки Лагранжа впервые указали Баско и Сюняев [25]). Таким образом, одна только 4х-горбая фазовая кривая средней интенсивности сама по себе может свидетельствовать о наличии четырех аккреционных зон, т.е., о квадрупольной структуре магнитного поля.

Далее для всех возможных данных были измерены амплитуды большого горба, а для соответствующих моментов максимумов рассчитаны фазы синодического периода в соответствии с (2). Оказалось, что амплитуды также зависят от фазы периода (эта зависимость приведена на нижней панели рис.7). Характер зависимости такой же, как и для среднего блеска: при уменьшении блеска амплитуда большого горба также уменьшается, что говорит о модуляции мощности самой аккреционной струи. Анализируя обе зависимости: среднего блеска и амплитуды от фазы синодического цикла, можно заметить, что модуляция для различных аккреционных зон неодинакова, в частности, она минимальна для той зоны, что расположена в интервале фаз синодического периода 0.5-0.7. Это может говорить как о различной напряженности магнитного поля полдосов, так и об их различной локализации на белом карлике.

Используя эфемериду для периода побочной полосы (4) и найденные моменты максимумов основной аккреционной зоны, были рассчитаны величины O-C. Они приведены на нижней панели рис.5. Видно, что O-C через половину синодического периода совершают скачок на половину периода побочной полосы. Это случается на фазах синодического цикла 0.25 и 0.78. Поведение O-C в интервале между скачками различно для фаз 0.25-0.78 и 0.78-0.25. Так, в интервале 0.25-0.78 O-C демонстрируют еще один скачок - примерно на четверть периода побочной полосы - на фазе 0.55. В интервале фаз 0.25-0.55 O-C показывают систематическое увеличение, соответствующее периоду 0.1388 сут. В интервале 0.55-0.78 O-C также систематически возрастают: в середине этого интервала, соответствуя периоду 0.1384 сут. (что совпадает с величиной периода вращения), а на обоих концах интервала рост O-C более крутой. Штриховая линия рассчитана для такого хода O-C, какой они имели бы для периода вращения. Эта линия соединяет начальные и конечные величины O-C.

В следующем полупериоде в интервале фаз 0.78-0.25 O-C хотя и

показывают рост, однако он имеет совсем другой характер. Если пунктиром также обозначить ход О-С, соответствующий периоду вращения и берущий начало от момента скачка, то реальные О-С в среднем ограничены линиями, соответствующими периоду вращения и орбитальному периоду. Разброс индивидуальных величин резко возрастает, начиная с фазы 0.0 и продолжает расти к концу интервала.

Скачки О-С можно трактовать как быстрые переключения основной части аккреционной струи с одной аккреционной области на другую. Для определенности будем считать, что скачок на фазе 0.25 происходит на первую аккреционную зону, на фазе 55- на вторую, на фазе 0.78 - на третью. Очевидно, что первая и третья зона находятся у подножья силовых линий диаметрально противоположных полюсов диполя. Очевидно также, что основные аккреционные зоны после переключений с одного полюса на другой не "сидят на месте". Так, первая аккреционная область смещается в попятном направлении по отношению к вращению белого карлика на $\sim 35^\circ$ градусов (фазы 0.25-0.55), затем на фазе 0.55 струя совершает скачок примерно на 75° по ходу вращения (на вторую зону), после чего постепенно "сползает" к первой зоне. В течение другой половины цикла третья аккреционная область перемещается относительно полюса хаотическим образом. Следует отметить, что линейные изменения О-С могут быть вызваны не только смещением аккреционных областей относительно соответствующего полюса, но и меняющимся углом между силовой линией магнитного поля и поверхностью белого карлика (последний эффект рассматривался Гекелером и Штубертом применительно к другому асинхронному полюру V1432 Aql [26]). Такая схема смены аккреционных режимов воспроизводится на протяжении ~ 20 синодических циклов. Можно предположить, что на самом деле воспроизводимость режимов аккреции действует на гораздо большем временном интервале. Так, например, Пиирола по поляриметрическим наблюдениям для $JD = 2446138 - 8155$ нашел период 0.138784 сут., ошибочно приняв его за период вращения белого карлика [16]. Сравнивая с нашими данными, можно заметить, что этот период достаточно хорошо совпадает с периодом 0.1388 сут., найденным нами. Как было сказано выше, с этим периодом движется основная аккреционная область при определенной ориентации магнитного поля относительно красного карлика (в интервале фаз синодического цикла 0.25-0.55).

Сравнивая ход О-С с изменениями средней яркости и амплитуд основной аккреционной зоны, можно отметить, что минимумы последних наступают вблизи скачков (за исключением скачка на фазе 0.78).

8. *Локализация аккреционных зон.* Как уже было отмечено, состояние низкой аккреции ВУ Сам оказалось привлекательным с

точки зрения изучения отдельных аккреционных зон. В частности, по взаимному расположению максимумов блеска можно попытаться определить локализацию этих зон (или, по крайней мере, некоторых из них). Из всех приводимых кривых на рис.4-6 только в нескольких случаях четко выделяются три аккреционные зоны. Это кривые, обозначенные как JD099, JD317, JD332, JD412. Все эти зоны отстоят друг от друга примерно через 0.25 периода, т.е., вероятно, связаны с полюсами квадрупольной составляющей магнитного поля. При этом аккреционный поток распределяется следующим образом: основная его часть идет на одну и ту же аккреционную область, а меньшая часть - на другие соседние области. В частности, четкая трехгорбая структура кривых блеска наблюдается на симметричных (отстоящих на половину синодического цикла) фазах периода биений: на фазе 0.17, когда аккреционная струя попадает на первую аккреционную зону, и на фазах 0.62, 0.67, 0.70, соответствующих диаметрально противоположной (третьей) зоне. Кривые с двумя равными горбами, отстоящими друг от друга на полпериода вращения, наблюдаются вблизи скачка O-C (при переключении струи на другой полюс). Это указывает на то, что в течение некоторого времени аккреция может происходить только на два полюса диполя с равным темпом. Следует отметить, что кривая блеска в виде четырех отдельных горбов не наблюдается никогда.

В остальных случаях кривые могут быть с плохо разделенными двумя или тремя горбами разной амплитуды. Причиной этому является то обстоятельство, что длительность горба (или, как еще принято называть в литературе, длительность яркой фазы) зависит не только от угла, под которым мы наблюдаем данную аккреционную область, но и от размеров области. Вероятно, неучет этого обстоятельства и явился причиной расхождения в оценках угла наклона орбиты и магнитной оси [16].

9. Заключение. Таким образом, некоторые результаты, полученные в низком состоянии ВУ Cam, имеют существенные различия с тем, что было получено в высоком состоянии кампанией "Ноев проект". Во-первых, в низком состоянии наблюдается ярко выраженная модуляция среднего блеска системы с синодическим циклом, чего не было в высоком состоянии. Во-вторых, и средний блеск, и амплитуда основной аккреционной области изменяют свою величину четыре раза за синодический цикл. Это является ярким подтверждением сделанного ранее Пииролой и др. [16], Мэйсоном и др. [27], а также Викрамасингом и Ву [28] предположения о том, что магнитное поле ВУ Cam имеет квадрупольную составляющую. В-третьих, ВУ Cam показывает не два, как в высоком состоянии, а три переключения струи за один синодический цикл, наступающие в одни и те же фазы

цикла. Дважды струя переключается на аккреционные области, отстоящие друг от друга на 180° , и один раз \sim на 75° .

Автор выражает благодарность Украинскому Фонду Фундаментальных Исследований за финансовую поддержку в рамках гранта 02/07/451.

Крымская астрофизическая обсерватория,
Украина, e-mail: pavlenko@crao.crimea.ua

MAGNETIC FIELD STRUCTURE AND ACCRETION MODES OF THE ASYNCHRONOUS POLAR BY Cam

E.P.PAVLENKO

The photometrical CCD observations of the asynchronous polar BY Cam are carried out in the Crimean Astrophysical Observatory with Cassegrain K-380 telescope when BY Cam was in the low accretion state ($R = 14^m - 16^m$) in 2004-2005. The total exposure was ~ 100 hours over 31 nights. The light modulation with most significant period $P_1 = 0^d.137120 \pm 0^d.000002$ and less significant ones $P_2 = 0^d.139759 \pm 0^d.000003$ and $P_3 = 0^d.138428 \pm 0^d.000002$, where P_2 and P_3 obviously are the orbital and spin periods and P_1 is the side-band period are detected. First the light and $0^d.137$ amplitude modulation with beat (synodical) period $14^d.568 \pm 0^d.003$ is found out. The mean beat light and amplitude curves have the four-humped profile. That is the evidence of the quadrupole counterpart of magnetic field of BY Cam observed in the low accretion state. The accretion proceeds simultaneously onto the two or three accretion regions but with different rate. The O-C residuals for the bright accretion region change periodically with phase of the beat period. There are three types of changes: the linear, stepwise and chaotical ones. At the synodical phases 0.25 and 0.78 the accretion stream reconnects from one pole of the dipole magnetic field to the opposite one. During the beat phases 0.25-0.55 and 0.55-0.78, the O-C shift accordingly to the period $0^d.1384$ that could be due to a longitudinal displacement of the accretion region backward to the magnetic pole and/or to the varying angle between the field line and white dwarf surface. At the phase 0.55, the stream switches to the $\sim 75^\circ$ ahead and during the beat phases 0.78-1.25, the main accretion region moves chaotically. The spin-orbital synchronization occurs with rate less than $dP_{rot}/P_{rot} \sim 10^{-9}$ (d/d).

Key words: (stars): binaries - stars: individual: BY Cam

ЛИТЕРАТУРА

1. *B.Warner*, Cataclysmic Variable Stars, Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1995.
2. *G.Schmidt, J.Liebert, H.S.Stockman*, *Astrophys. J.*, **441**, 414, 1995.
3. *A.Silber, R.A.Remillard, H.V.Bradt et al.*, *Astrophys. J.*, **389**, 704, 1992.
4. *H.S.Stockman, G.D.Schmidt, D.Q.Lamb*, *Astrophys. J.*, **332**, 282, 1988.
5. *J.Patterson, D.R.Skillman, J.Thorstensen, C.Hellier*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **107**, 307, 1995.
6. *A.Schwone, D.A.H.Buckley, D.O'Donoghue et al.*, *Astron. Astrophys.*, **326**, 195, 1997.
7. *Е.П.Павленко, Я.Пельт*, *Астрофизика*, **34**, 169, 1991.
8. *Е.П.Павленко*, *Odessa Astronom. Publ.*, **16**, 41, 2003.
9. *G.Ramsay, S.Potter, M.Cropper*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **316**, 225, 2000.
10. *S.Friedrich, R.Staubert, G.Lamer et al.*, *Astron. Astrophys.*, **306**, 860, 1996.
11. *A.Silber, P.Szkody, D.W.Hoard. et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **290**, 25, 1997.
12. *M.Ishida, A.Silber, H.V.Bradt, R.A.Remillard et al.*, *Astrophys. J.*, **367**, 270, 1991.
13. *P.A.Mason*, PhD thesis, Case Western Reserve Univ., 1996.
14. *P.A.Mason, J.Liebert, G.D.Schmidt*, *Astrophys. J.*, **346**, 941, 1989.
15. *P.A.Mason, I.L.Andronov, S.V.Kolesnikov et al.*, *ASP Conf. Ser.* **85**, 1995.
16. *V.Pirola, G.V.Coyne, S.J.L.Takalo, S.Larsson, O.Vilhu*, *Astron. Astrophys.*, **283**, 163, 1994.
17. *P.Szkody, R.A.Downes, M.Mateo*, *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, **102**, 1310, 1990.
18. *Е.П.Павленко, S.Yu.Shugarov*, *Astrophys. Space Sci. Libr.*, **208**, 217, 1996.
19. *Е.П.Павленко*, *Astrophys. Space Sci. Libr.*, **330**, 503, 2005.
20. *Е.П.Павленко, С.Ю.Шугаров, Н.А.Катышева*, *Астрофизика*, **43**, 567, 2000.
21. *Ja.Pelt*, *Frequency Analysis of Astronomical Time Series*, Valgus Publ., Tallinn, 1980.
22. *G.A. Wynn, A.R. King*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **255**, 83, 1992.
23. *Е.П.Павленко, S.Yu.Shugarov*, *Astrophys. Space Sci. Libr.*, **330**, 421, 2005.
24. *V.Marsakova, L.I.Andronov*, *Odessa Astronom. Publ.*, **9**, 127, 1996.
25. *M.M.Basko, R.A.Sunyaev*, *Astrophys. Space Sci.*, **23**, 71, 1973.
26. *R.D.Geckeler, R.Staubert*, *Astron. Astrophys.*, **325**, 1070, 1997.
27. *P.A.Mason, G.Ramsay, I.Andronov et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **295**, 511, 1998.
28. *D.T.Wickramasinghe, K.Wu*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **253**, 11, 1991.