

ПЕРЕМЕННОСТЬ ПЕРИОДА ВРАЩЕНИЯ БЕЛОГО КАРЛИКА В МАГНИТНОЙ КАТАКЛИЗМИЧЕСКОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЕ EX HYA

И.Л.АНДРОНОВ, В.В.БРЕУС

Поступила 10 июля 2013

Принята к печати 14 августа 2013

Проведены наблюдения двупериодической магнитной катаклизмической системы EX Hya с помощью телескопов RC16 и TOA-150 обсерваторий Tzec Maun. Получено 6 ночей наблюдений в 2010-2011гг. (альтернативно меняющиеся фильтры VR). Также были проанализированы данные архивов WASP, ASAS и AAVSO. Обработка временных рядов проводилась с помощью программы MCV. Были проанализированы изменения периода вращения белого карлика на основе наших и опубликованных ранее моментов максимумов. Получена эфемерида для максимумов потока излучения, связанных с вращением магнитного белого карлика, $T_{\text{max}} = 2437699.89079(59) + 0.0465464808(69) \cdot E - 6.3(2) \cdot 10^{-13} E^2$, которая соответствует характерному времени ускорения вращения $4.67(14) \cdot 10^6$ лет. Такое значение противоречит оценке массы белого карлика $0.42 M_{\odot}$, сделанной по рентгеновским наблюдениям Юаса и др., однако, согласуется с опубликованными ранее Беурман, Рейнш оценками масс $0.79 M_{\odot}$ (белый карлик) и $0.108 M_{\odot}$ (красный карлик) и предположением о том, что захват аккрецируемой плазмы магнитным полем белого карлика происходит вблизи границы полости Роша. Проанализированные моменты минимумов не подтверждают предположение Моше и др. о наличии статистически значимого кубического слагаемого в эфемериде. Несмотря на наличие вспышек у EX Hya, есть существенные отличия от DO Dta, что поддерживает введение в детальную классификацию промежуточных полярнов соответствующих групп "вспыхивающих промежуточных полярнов" и "магнитных карликовых новых".

Ключевые слова: *белый карлик: двойная система EX HYA*

1. *Введение.* Промежуточные полярны, часто называемые звездами типа DQ Геркулеса, являются взаимодействующими двойными системами с сильными магнитными полями [1-3]. Притяжение белого карлика приводит к гравитационному захвату части вещества оболочки спутника вблизи внутренней точки Лагранжа. За счет силы Кориолиса плазменный поток отклоняется от линии центров и образует аккреционный диск вокруг белого карлика. Сильное магнитное поле разрушает внутреннюю часть диска и приводит к образованию двух аккреционных колонн, которые являются одним из наиболее ярких источников излучения в широком диапазоне спектра - от рентгеновского до инфракрасного. Циклотронное излучение характеризуется наличием поляризации. Вещество образует ударную волну, нагревается и оседает на поверхность белого карлика. Горячий газ излучает "тормозное излучение" в жестком (до 50 кэВ) рентге-

новском диапазоне. У промежуточных полярнов возможны редкие вспышки (например, DO Dra [4]). Обычно промежуточные полярны относили к новоподобным звездам со сравнительно небольшими изменениями среднего за ночь блеска (до 1-2 звездной величины).

Впервые EX Hya, как переменная звезда, занесена в каталог Брюном и Пти [5] в 1957г. В дальнейшем звезду продолжали классифицировать, как карликовую новую (напр., [6]). Папалойзу и Прингл [7] в 1980г. отметили, что отношение фотометрических периодов близко к 2:3, Уорнер и Мак-Грау [8] рассмотрели две модели - модулирование потока вещества и магнитного белого карлика (промежуточного полярна). Далее объект классифицируют и как карликовую новую, и как промежуточный поляр [9], поскольку система показывает характеристики обоих классов катаклизмических переменных. Можно говорить о группе "магнитных карликовых новых" или "вспыхивающих промежуточных полярнов" [4].

В данной статье мы исследуем изменение периода вращения белого карлика в системе EX Гидры. Эта работа является частью международного проекта "Междолготная астрономия" [10] и национального проекта "Украинская виртуальная обсерватория" [11].

2. Наблюдения. Наблюдения проводились на удаленно-контролируемых телескопах TOA150 (15 см) и BigMak (35 см) обсерваторий Tzec Maun (<http://tzecmaun.org/>). Получено 5 ночей наблюдений в 2010 и 1 ночь в 2011гг., 129 экспозиций в фильтре V и 118 в фильтре R.

Для обработки снимков, использовали программу MuniWin (<http://cmunipack.sourceforge.net/>, <http://munipack.astronomy.cz/>). В дальнейшем, для улучшения точности измерений блеска, применялась методика использования "нескольких звезд сравнения", описанная в [12,13] и реализованная в программе MCV (<http://uavso.pochta.ru/mcv>).

Таблица 1

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ

НJD начала	НJD окончания	Средний блеск	Экспозиции	Фильтр
55240.2869	55240.2984	13.448 ± 0.054	5	V
55240.2884	55240.2970	13.423 ± 0.041	4	R
55242.0073	55242.0370	13.400 ± 0.029	13	V
55242.0085	55242.0383	13.508 ± 0.023	12	R
55245.9186	55245.9617	13.421 ± 0.055	20	V
55245.9195	55245.9607	13.510 ± 0.056	18	R
55266.1399	55266.2316	13.368 ± 0.025	27	V
55266.1416	55266.2330	13.461 ± 0.026	25	R
55278.9391	55279.0253	13.421 ± 0.024	30	V
55278.9406	55279.0238	13.447 ± 0.023	29	R
55719.9281	55720.1044	13.189 ± 0.031	34	V
55719.9436	55720.1056	12.975 ± 0.035	30	R

Получены таблицы измерений блеска объекта и звезд сравнения. Журнал наблюдений приведен в табл.1. Звезды сравнения отмечены на рис.1, а их список и характеристики, определенные А.Хенденом (<ftp://ftp.aavso.org/public/calib/exhya.dat>), приведены в табл.2. В качестве основной

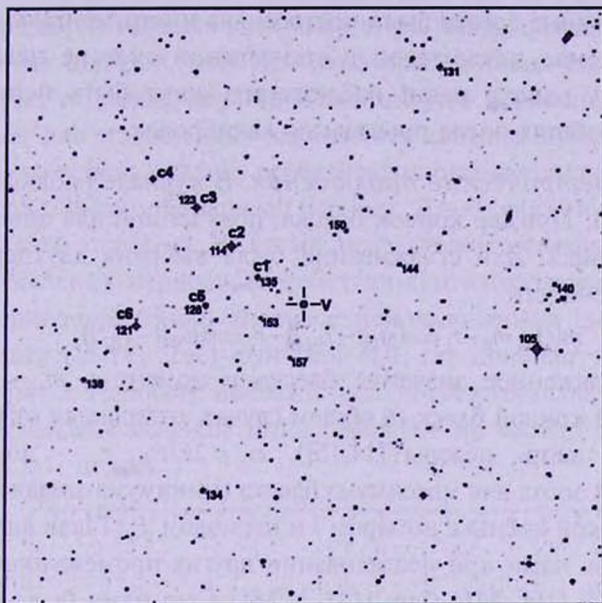


Рис.1. Звезды сравнения около EX Нуга (использованные нами C1-C6, рекомендуемые AAVSO, обозначаются числами, напр., 135 соответствует $V = 13^m.5$ с округлением до $0^m.1$). Координаты центра $R.A. = 12^h52^m24^s.47$, $Dec. = -29^{\circ}14'57''.5$ (J2000), в центре буквой "V" обозначена переменная EX Нуга. Размер поля $20' \times 20'$.

Таблица 2

ИНФОРМАЦИЯ О ЗВЕЗДАХ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ EX Нуга

AAVSO	ID	RA	Dec	V	R_i
105	-	12:51:48.59	-29:16:27.3	10.477(043)	9.731(101)
114	C2	12:52:35.39	-29:12:59.4	11.428(59)	-
121	C6	12:52:50.08	-29:15:39.1	12.122(56)	-
123	C3	12:52:40.86	-29:11:41.2	12.253(60)	-
128	C5	12:52:39.42	-29:14:58.4	12.775(56)	-
131	-	12:52:03.59	-29:06:57.3	13.078(33)	12.521(43)
134	-	12:52:39.71	-29:21:09.8	13.375(23)	12.812(55)
135	C1	12:52:31.39	-29:14:02.2	13.542(60)	-
138	-	12:52:57.96	-29:17:26.1	13.788(00)	13.271(39)
140	-	12:51:45.97	-29:14:16.1	14.042(23)	13.506(69)
144	-	12:52:09.60	-29:13:36.8	14.385(60)	-
150	-	12:52:17.81	-29:12:29.2	14.953(55)	-
153	-	12:52:30.94	-29:15:24.1	15.291(52)	-
157	-	12:52:26.41	-29:16:44.1	15.694(56)	-

калибровочной звезды использовалась С1. Ее блеск был принят равным $R_c = 11.854$. К сожалению, для других звезд сравнения, определения блеска в этой фотометрической системе отсутствуют. Поэтому определение коэффициентов связи между стандартной и инструментальной системами на данном этапе невозможно. Хотя наблюдения проводились в двух фильтрах, и кривые блеска были построены в инструментальных системах V , R_c , приведение показателей к стандартной системе невозможно на данном этапе, однако наши наблюдения могут быть использованы в дальнейших работах после проведения калибровок.

3. Фотометрические наблюдения. В журнале наблюдений приведены все ночи. Пример кривой блеска, полученной для одной из ночей, показан на рис.2. Для сглаживания была выбрана двухпериодическая модель переменности

$$m(t) = m_0 - r_1 \cos(\omega_1(t - T_{01})) - r_2 \cos(\omega_2(t - T_{02})), \quad (1)$$

где $m(t)$ - сглаженное значение блеска в момент t , m_0 - средний по теоретической кривой блеск (в общем случае, отличается от выборочного среднего, см. напр., обзоры [14,15]), $\omega_j = 2\pi/P_j$, r_j - полуамплитуда, T_{0j} - начальная эпоха для максимума блеска (минимума звездной величины) фотометрической волны с номером j и периодом P_j . Такая аппроксимация использовалась нами при исследовании других промежуточных полярных, напр., BG CMi [16], MU Cam [17]. У MU Cam нами было открыто [17] явление переменности фазы максимума фотометрической волны, связанной с вращением белого карлика, от орбитальной фазы. С теоретической точки

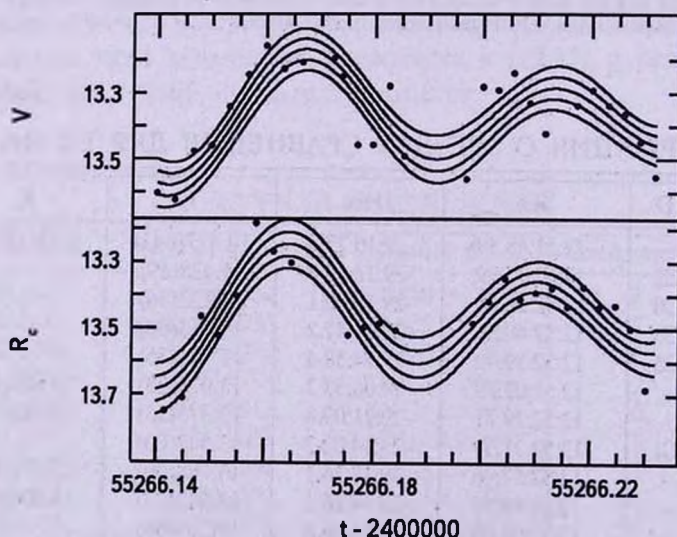


Рис.2. Кривая блеска EX Нуа по данным одной ночи (JD 2455266) наших наблюдений в фильтрах V и R . Приведена двухпериодическая аппроксимация тригонометрическим полиномом, а также коридоры ошибок $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$.

зрения это может быть интерпретировано модуляцией структуры аккреционного потока магнитным полем быстро вращающегося белого карлика. С наблюдательной точки зрения это свидетельствует о необходимости использования (для исследования медленных изменений фазы) "средних максимумов" (усредненных по орбитальному периоду значений). Таким образом, формула (1) является оптимальной для аппроксимации наблюдений промежуточных полярных, хотя для некоторых из них (напр., V405 Aur) необходим учет гармоник первого и/или второго периодов.

Поскольку для сглаживания выбирались краткие интервалы времени наблюдений, то использовались ранее опубликованные значения периодов $P_1 = P_{orb} = 0^d.068233846$ (орбитальный период), $P_2 = P_{spn} = 0^d.046546504$ (период вращения белого карлика). Ниже мы исследуем изменение периода.

Для определения периода по собственным наблюдениям, нами был проведен периодограммный анализ с использованием синусоидальной аппроксимации [18,14]. Тест-функция $S(f)$, где пробная частота $f = 1/P$, показана на рис.3. Наиболее высокий пик соответствует периоду, равному $0^d.046546$. Остальные высокие пики сдвинуты по частоте на $\pm k$ циклов в сутки, где k - целое.

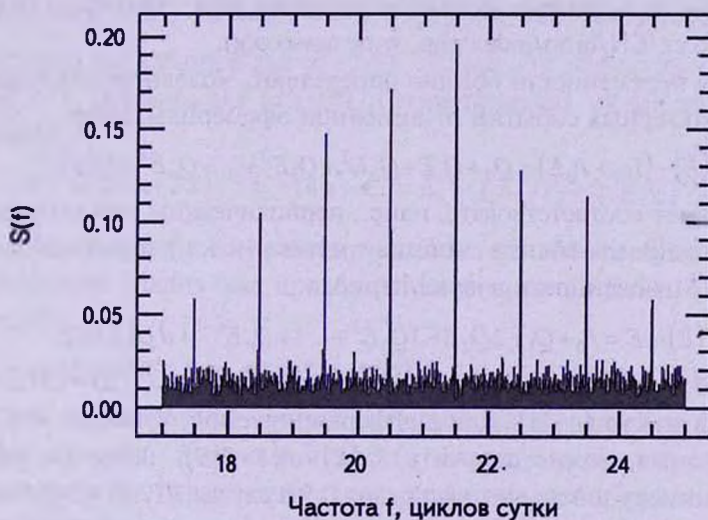


Рис.3. Периодограмма EX Нуа вблизи периода вращения белого карлика. Максимальный пик соответствует периоду, равному $0^d.046546$.

Кроме того, были проанализированы наблюдения из баз данных проектов AAVSO (31908 наблюдений JD 2434847-2455769), ASAS (688 наблюдений JD 2451870-2455057), WASP (77 наблюдений, JD 2453922-2454307).

Периодограммы по этим данным показывают множество низких пиков, а фазовые кривые блеска не показывают явно выраженной кривой, что косвенно подтверждает предположение о переменности периода.

4. *Вычисление фаз в случае переменного периода.* В простейшем случае постоянного периода P , каждому моменту времени t соответствуют целый номер цикла j и фаза ϕ , которые могут быть рассчитаны по формуле $E = j + \phi = (t - T_0)/P$, где T_0 - начальная эпоха, и P - период (напр., [19]), т.е. $t = T_0 + PE$. Хотя изменения периодов исследуются многие десятилетия, для построения фазовых кривых обычно используются значения периода и начальной эпохи для короткого интервала наблюдений. В конкретном случае ЕХ Нуа, а также в общем случае использования наблюдений из обзоров неба, становится актуальной тема вычисления фазы при переменности периода и исследования фазовых кривых по продолжительному интервалу времени. Поэтому приводим в явном виде формулы, которые были использованы нами ранее в [12,16] без подробного описания.

В случае переменного периода, одним из наиболее распространенных методов исследования, является метод "О-С" диаграмм, когда используются только моменты характерных событий (минимумов затменных звезд, максимумов пульсирующих звезд и т.д.). Моменты публикуются в отдельных статьях. Скомпилированная база данных для сотен затменных звезд представлена в шеститомной монографии [20]. В последние годы международные базы данных моментов доступны через Интернет (напр., <http://var2.astro.cz/EN/brno/index.php>, www.aavso.org).

Параметры переменности обычно определяют, моделируя отклонения моментов характерных событий от линейной эфемериды, напр.,

$$O-C = T(E) - (T_0 + P_0 E) = Q_0 + Q_1 E + Q_2 E^2 + Q_3 E^3 + \dots + Q_n E^n + U(E). \quad (2)$$

Здесь $U(E)$ может соответствовать, напр., периодическим составляющим, связанным с наличием вблизи системы третьего (и т.д.) тела типа звезды или планеты. Мгновенное значение периода

$$P(E) = dT(E)/dE = P_0 + Q_1 + 2Q_2 E + 3Q_3 E^2 + \dots + nQ_n E^{n-1} + dU(E)/dE. \quad (3)$$

Это несколько отличается от "разностного" определения $P_K(E) = (T(E+1) - T(E))$ Копала и Курца [21]. Для дифференцируемой функции $P(E)$, по формуле Лагранжа, можно получить $P_K(E) = P(E + \delta(E))$. Здесь $0 \leq \delta(E) \leq 1$ - поправка к номеру цикла, которая равна 0.5 в случае $dP/dE = 2Q_2 = \text{const}$. В произвольном случае медленных изменений периода $|dP/dE| \ll P$, $P(E) \approx P_K(E - 0.5)$, и функции практически совпадают. Мы используем для анализа "мгновенный" период.

Используя значения коэффициентов уравнения (3), полученных при моделировании моментов "особых точек", можно определить значение E для произвольного момента времени. Теоретически это означает решение уравнения $T(E) = t$, однако, на практике, обратную функцию $E(t)$ возможно найти аналитически только для простейших случаев. Поэтому предпочтителен численный метод итераций: $E_0 = (t - T_0)/P_0$,

$$E_{k+1} = E_k - (t - T(E_k)) / P(E_k). \quad (4)$$

Очевидно, что при правой части, равной нулю, достаточно только одного начального приближения, при котором получаем классическую формулу для постоянного периода. Для полиномиальных моделей степени выше 2, мы использовали этот метод при исследовании других промежуточных полярных BG CMi [16] и др.

При равномерном (по номеру цикла E) изменении периода $dP/dE = 2Q_2$,

$$t(E) = T_0 + P_0 E + Q_2 E^2, \quad (5)$$

и обратную функцию $E(t)$ можно получить, как решение квадратного уравнения $T(E) = t$.

$$E = \frac{P_0}{2Q_2} \left(-1 + \sqrt{1 + \frac{4Q_2(t - T_0)}{P_0^2}} \right) =$$

$$= \left(-1 + \left(1 + 4Q_2(t - T_0)/P_0^2 \right)^{1/2} \right) P_0 / (2Q_2) = V(\varepsilon E_0) / \varepsilon, \quad (6)$$

где $\varepsilon = Q_2/P_0$, $V(x) = ((1 + 4x)^{1/2} - 1)/2$. Можно воспользоваться разложением в ряд

$$V(x) = x - x^2 + 2x^3 - 5x^4 + 14x^5 - 42x^6 + 132x^7 - 429x^8 + 1480x^9 - 4862x^{10} + \dots \quad (7)$$

Формально ряд сходится для $|x| < 0.25$, однако, его эффективно использовать для $|x| \ll 1$, реально, для $|x| < 0.01$. Соответственно, из формул (6,7) можно получить:

$$E = E_0 (1 - x + 2x^2 - 5x^3 + 14x^4 - \dots) = E_0 - Q_2 E_0^2 / P_0 + 2Q_2^2 E_0^3 / P_0^2 - \dots \quad (8)$$

5. Анализ переменности периода вращения белого карлика. Предыдущий анализ был проведен Моше и др. [23]. Они опубликовали эфемериду:

$$T(E) = 2437699.8917(6) + 0.046546484(9)E - 7.3(4) \cdot 10^{-13} E^2 + 2.2(6) \cdot 10^{-19} E^3, \quad (9)$$

в которой предполагается наличие статистически значимого коэффициента Q_2 .

Для анализа переменности по большему объему данных, мы использовали как определенные нами моменты максимумов по собственным и опубликованным патрульным наблюдениям, так и опубликованные моменты наблюдений. Всего использовано 452 момента максимумов, которые, из-за ограничения статьи по объему, опубликованы отдельно [24].

В качестве начальной эпохи использовался наиболее ранний момент из нашего списка $T_0 = 2437699.8920$ (Фогт и др. [25]). Начальное значение периода $P_0 = 0^d.046546484$ (Моше и др. [23]).

Поскольку изменение периода существенное, то нумерация циклов должна быть исправлена на один или даже два цикла, что отмечено в соответствующей колонке табл.1 [24]. С использованием программы MCV

[12], определено значение статистически оптимальной степени полинома для описания $O-C$. Она оказалась равной двум. Параметр Q_3 не является статистически значимым, т.е. существенно большее количество данных не подтвердило предположение Моше и др. [23]. По указанным данным получена эфемериды

$$T_{max} = 2437699.89079(59) + 0.046546480(69) \cdot E - 6.3(2) \cdot 10^{-13} E^2. \quad (10)$$

Таким образом, на указанном интервале времени продолжительностью 49 лет отклонения от модели равномерного изменения периода не являются статистически значимыми.

Диаграмма $O-C$ показана на рис.4, а также ее параболическая аппроксимация с коридорами ошибок $\pm 1\sigma$, $\pm 2\sigma$. Отметим, что погрешности сглаживающей кривой рассчитаны по корректным формулам с учетом ковариационной матрицы погрешностей коэффициентов, а не сокращенным, учитывающим только погрешности коэффициентов (см. [18,15]).

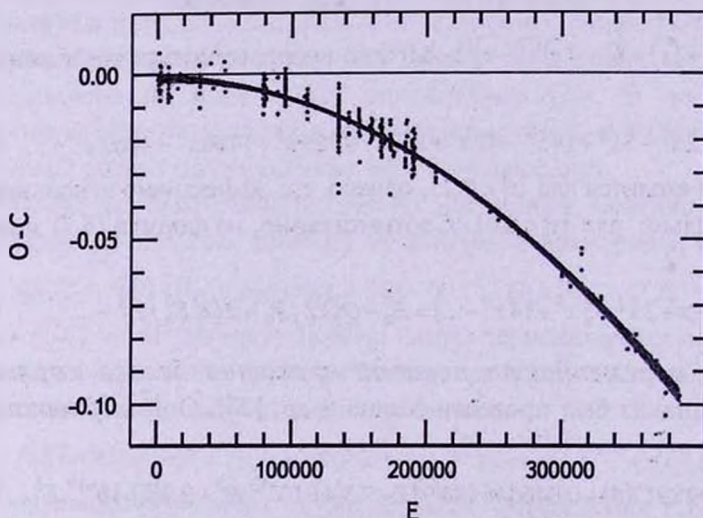


Рис.4. $O-C$ диаграмма для максимумов вращательной переменности EX Нуа, рассчитанная для значений начальной эпохи $T_{\infty} = 2437699.8920$ (Фогт и др. [25]) и периода $P_0 = 0.046546484$ (Моше и др. [23]) по данным табл.1 [24].

Используя коэффициенты полученного соотношения (10), были рассчитаны фазы по формулам (6,8). Полученные фазовые кривые по данным ASAS, TzecMaun V и R и AAVSO показаны на рис.5. Первые 3 кривые соответствуют минимальному состоянию блеска $m \sim 13^m.5$, и показывают практически синусоидальную форму. Значительный разброс на фазовой кривой блеска связан не только с погрешностями наблюдений, но и, в значительной мере, с орбитальной переменностью, сравнимой по амплитуде с вращательной. Отдельные наблюдения AAVSO показывают, что иногда происходят вспышки до $9^m.3$, однако, ряды наблюдений в

течение ночи соответствуют уровню $10^m.5$.

Амплитуда синусоидальных изменений в ярком состоянии (во вспышке) такая же ($\sim 0^m.3$), как и в слабом состоянии. Это согласуется с предположением, что поярчание аккреционного кольца и аккреционной колонны происходит примерно пропорционально.

Обращает на себя внимание существенный сдвиг максимума по фазе на фазу -0.2 во время вспышки. Аналогичный эффект отрицательного сдвига фазы с увеличением светимости наблюдается у затменного поляра OT J071126.0 + 440405 = CSS 081231 : 071126 + 440405 [26,27] и объясняется

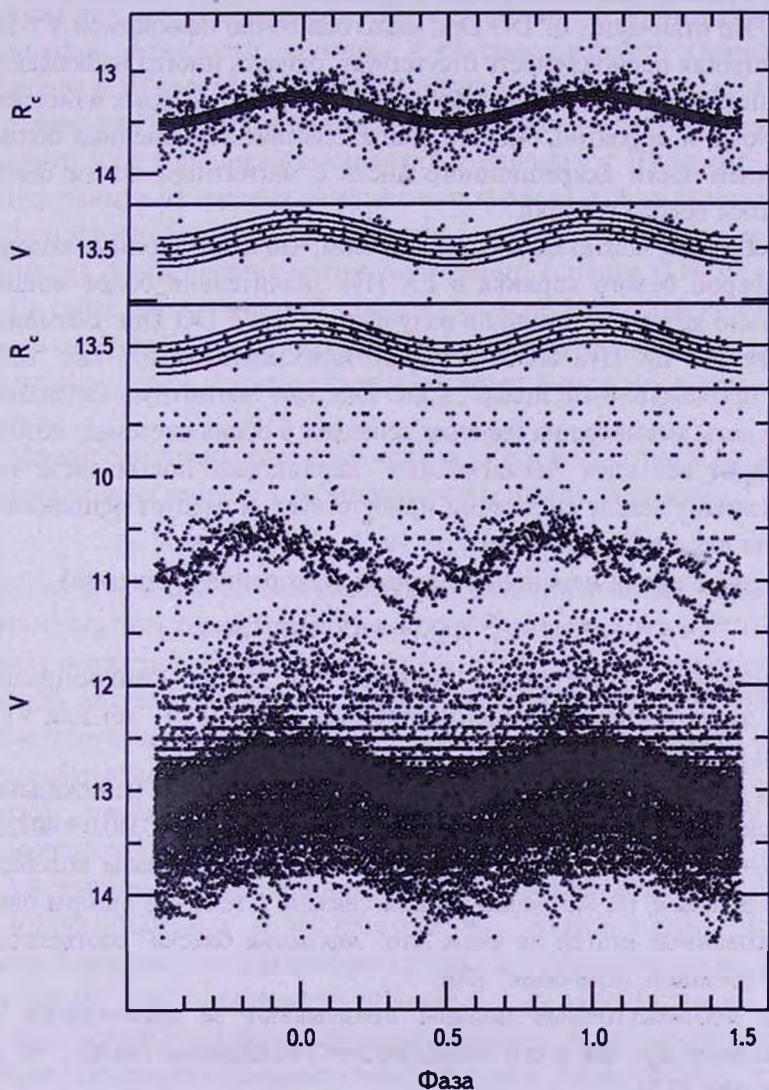


Рис.5. Фазовые кривые EX Нуа, рассчитанные для параболической эфемериды (10) по данным ASAS (1), TzecMaun V (2), TzecMaun R (3), AAVSO (4). Цифры соответствуют номеру рисунка сверху.

меньшим расстоянием, на котором плазма захватывается магнитным полем при увеличении потока вещества.

Имеющиеся два кривых блеска во время вспышки несколько различаются, как видно на рис.5. К сожалению, из-за такого различия детальное сравнение характеристик кривых блеска в минимуме и максимуме невозможно, и в дальнейшем необходимы наблюдения во время редких вспышек. Теоретические модели вспышек рассмотрены Мхахло и др. [28].

6. *Обсуждение.* EX Нуа относится к вспыхивающим промежуточным полярам, и периодичность, связанная с вращением белого карлика, хорошо выражена. Это отличается от DO Drg, часто ошибочно называемой YY Drg, в которой строгая периодичность отсутствует, однако, иногда наблюдаются "транзистентные периодические колебания" [4], "период" которых изменяется от ночи к ночи, и, вероятно, связан с взаимодействием плазменных облаков на внутренней части аккреционного диска с магнитным полем быстро вращающегося белого карлика.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что аккреционные колонны над атмосферой белого карлика в EX Нуа значительно более мощные (относительно других источников излучения), чем в DO Drg. Возможно, поэтому следует EX Нуа более детально классифицировать как "вспыхивающий промежуточный поляр", а DO Drg, как "магнитную карликовую новую". То есть, несмотря на наличие вспышек в обеих системах, которые отличаются от вспышек "немагнитных" карликовых новых звезд типа U Gem, различие между системами присутствует, и следует использовать оба подтипа для классификации.

Характерное время изменения периода (ускорения вращения)

$$\tau = P_0 / |dP/dt| = P_0^2 / |2Q_2| = 4.67(14) \cdot 10^6 \text{ лет.} \quad (11)$$

Это значение существенно больше, чем время синхронизации $\tau_s = 96.7 \pm 1.5$ лет и время изменения периода $\tau = 3.5(1) \cdot 10^4$ лет для V1432 Aql [29], и в 5 раз больше, чем τ для BG CMi [16].

Следует отметить, что некоторые системы за десятилетия не показывают статистически значимое изменение периода (напр., 1RXS J180340.0+401214 = RXJ 1803 = V1323 Her), а неразрешимая загадка о сбое фазы колебания (по чужим данным) на 0.5 периода была связана с тем, что авторы одной из опубликованных статей не учли, что "максимум блеска" соответствует "минимуму звездной величины" [30].

Другие промежуточные поляры показывают за десятилетия как увеличение периода, так и его последующее уменьшение (напр., FO Aqr [31], V405 Aur [32]).

В соответствии с современными теоретическими моделями (напр., [33]), изменение равновесного периода вращения происходит с существенно

большим характерным временем - миллиарды лет. Таким образом, наблюдаемое ускорение вращения является кратковременным явлением. Если бы оно было связано с внезапно увеличившимся потоком вещества, то это должно было бы быть связано с увеличением потока излучения. На кривой блеска присутствуют вспышки, однако, они многочисленны, и, вследствие инерционности белого карлика, временное увеличение потока во вспышках приводит к кратковременному увеличению светимости, но на долговременные изменения периода влияет лишь средний уровень аккреции.

Изменения равновесного периода с характерным временем в десятки и сотни лет может объясняться флуктуациями скорости аккреции из-за магнитной активности спутника - красного карлика (Бьянкини [34], Андронов и Шакун [35]) или небольшими изменениями расстояния между компонентами вследствие притяжения маломассивного третьего тела (напр. красного или коричневого карлика) (Андронов и Чинарова [36]). Еще один механизм изменения равновесного периода, который может работать и при постоянной скорости аккреции в катаклизмических переменных - прецессия оси вращения магнитного белого карлика ([37-39]).

На сайте <http://www.ukaff.ac.uk/movies.shtml> приведена анимированная модель системы EX Нуа. Аккреционный диск отсутствует, поток отклоняется магнитным полем и впоследствии выпадает попеременно на магнитные полюса.

Момент сил, приводящих к наблюдаемому ускорению, равен $dJ/dt = Id\omega/dt$. Оценим момент импульса по аппроксимирующей формуле

$$I = (4.095 - 2.795M - 3.207 \cdot \exp(-2.455M)) \cdot 10^{50} \text{ г см}^2$$

[40], где M - масса белого карлика в солнечных массах. Оценке массы $M = 0.42 M_{\odot}$ [41] соответствует $I = 1.777 \cdot 10^{50} \text{ г см}^2$ и $dJ/dt = 1.87 \cdot 10^{33} \text{ г см}^2/\text{с}$. Оценка скорости аккреции $dM/dt = 1.36 \cdot 10^{15} \text{ г/с}$ в предположении эволюции двойной системы вследствие гравитационного излучения [33]. Оценка соответствующего радиуса захвата аккреционного потока $R_c = 3.4 \cdot 10^{10} \text{ см}$ превышает оценку расстояния между компонентами $a = 3.0 \cdot 10^{10} \text{ см}$. Таким образом, необходимо уточнение параметров системы для построения самосогласованной модели.

Альтернативные определения масс представили Баурман и Рейнш [42]: $M_2 = 0.108 \pm 0.008 M_{\odot}$, $M_1 = 0.790 \pm 0.026 M_{\odot}$. В этом случае, по третьему закону Кеплера, $a = (3.66 \pm 0.004) \cdot 10^{10} \text{ см}$, и соответствующие параметры $I = 1.426 \cdot 10^{50} \text{ г см}^2$, $dJ/dt = 1.50 \cdot 10^{33} \text{ г см}^2/\text{с}$, $R_c = 1.16 \cdot 10^{10} \text{ см} = 0.318a$. Это близко к радиусу полости Роша в направлении, перпендикулярном линии центров, для данного значения отношения масс. Таким образом, полученное нами значение ускорения вращения белого карлика находится в лучшем согласии с параметрами [42], чем [41].

По имеющимся за десятилетия наблюдениям, график $O - C$ хорошо

описывается квадратичной параболой, и пока нет оснований предполагать, что темп ускорения вращения белого карлика замедляется, и возможны циклические колебания. При отсутствии замедления ускорения, более вероятно предположение, что период вращения белого карлика уменьшится существенно до "основной группы" на диаграмме " $P_{spin} - P_{orb}$ " в широкой области $P_{spin} \sim 0.1 P_{orb}$ [1].

Нортон и др. [33] выделяют группу звезд типа EX Hya, как соответствующую слабому магнитному полю заполняющего полость Роша спутника.

Для выбора между этими моделями, необходимо продолжение регулярных наблюдений EX Hya.

Собственные наблюдения получены с использованием удаленного доступа на обсерватории Tzec Maun. В работе использованы наблюдения из опубликованных баз данных проектов AAVSO, ASAS, SuperWASP. Авторы благодарят В.П.Гринина и А.В.Бакланова за полезное обсуждение.

Одесский Национальный Морской университет, Одесса,
Украина, e-mail: ilandronov@gmail.com bvv_2004@ua.fm

VARIABILITY OF THE PERIOD OF THE WHITE DWARF IN MAGNETIC CATAclysmic BINARY SYSTEM EX Hya

I.L.ANDRONOV, V.V.BREUS

The observations of the two-periodic magnetic cataclysmic system EX Hya have been carried out, using the telescopes RC16 and TOA-150 of the Tzec Maun observatory. 6 nights of observations were obtained in 2010-2011 (alternatively changing filters VR). Also the databases of WASP, ASAS and AAVSO have been analyzed. Processing time series was carried out using the program MCV. We analyzed changes in the rotation period of the white dwarf, and based on our own and previously published moments of maximum. The ephemeris was determined for the maxima of the radiation flux associated with the rotation of the magnetic white dwarf: $T_{max} = 2437699.89079(59) + 0.0465464808(69) \cdot E - 6.3(2) \cdot 10^{-13} E^2$, which corresponds to the characteristic timescale of the rotation spin-up of $4.67(14) \cdot 10^6$ years. This contradicts the estimated value of the mass of the white dwarf of $0.42 M_{\odot}$, based on X-ray observations made by Yuasa et al, however, is consistent with estimates of the masses of $0.79 M_{\odot}$ (white dwarf) and $0.108 M_{\odot}$ (red dwarf) previously published Beuermann and Reinsch and the assumption that the capture of accreted plasma by magnetic field of the white dwarf is near the

border of the Roche lobe. Analyzed moments do not support the assumption of Mauche et al for a statistically significant cubic term in the ephemeris. Despite the presence of outbursts in EX Hya, there are significant differences from the DO Dra, which support the introduction to a detailed classification of the intermediate polars the groups of "outbursting intermediate polars" and "magnetic dwarf novae."

Key words: *white dwarf; binary system EX Hya*

ЛИТЕРАТУРА

1. J.Patterson, Publ. Astron. Soc. Pacif., **106**, No.697, 209, 1994.
2. B.Warner, Cataclysmic Variables Stars, Cambridge University Press, 1995, c.562.
3. C.Hellier, Cataclysmic Variable Stars, How and why they vary? Springer, 2001, c.210.
4. I.L.Andronov, L.L.Chinarova, W.Han, Y.Kim, J.-N.Yoon, Astron. Astrophys., **486**, 855, 2008.
5. A.Brun, M.Perit, Perem. Zv., **12**, 18, 1957.
6. G.S.Mumford, Astrophys. J. Suppl., **15**, 1, 1967.
7. J.Papaloizou, J.E.Pringle, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **190**, 13, 1980.
8. B.Warner, J.T.McGraw, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **196**, 59P, 1981.
9. F.Jablonski, I.C.Busko, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., **214**, 219, 1985.
10. I.L.Andronov, K.A.Antoniuk, A.V.Baklanov et al., Odessa Astron. Publ., **23**, 8, 2010.
11. I.B.Vavilova, L.K.Pakulyak, A.A.Shtyapnikov et al., Kinem. Phys. Celest. Bodies, **28**, 85, 2012.
12. I.L.Andronov, A.V.Baklanov, Astron. School Reports, **5**, 264, 2004.
13. Y.G.Kim, I.L.Andronov, Y.B.Jeon, JASS, **21**, 191, 2004.
14. I.L.Andronov, Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser., **292**, 391, 2003.
15. I.L.Andronov, V.I.Marsakova, Astrophysics, **49**, 370, 2006.
16. Y.G.Kim, I.L.Andronov, S.S.Park, Y.-B.Jeon, Astron. Astrophys., **441**, 663, 2005.
17. Y.G.Kim, I.L.Andronov, S.S.Park et al., JASS, **22**, 197, 2005.
18. I.L.Andronov, Odessa Astron. Publ., **7**, 49, 1994.
19. V.P.Tsesevich, Eclipsing variable stars. New York, J. Wiley, 1973.
20. J.M.Kreiner, Chun-Hwey Kim, Il-Seong Nha. An Atlas of O-C Diagrams of Eclipsing Binary Stars. Cracow, Poland: Wydawnictwo Naukowe Akademii Pedagogicznej, 2001.
21. Z.Kopal, R.Kurth, Zeitschrift für Astrophysik, **42**, 90, 1957.
22. G.A.Korn, Th.M.Korn, Mathematical Handbook for Scientists and Engineers, McGraw-Hill Book Company, N.Y., 1968.
23. C.W.Mauche, N.S.Brickhouse, R.Hoogerwerf et al., Information Bulletin on

Variable Stars, **5876**, 1, 2009.

24. *V.V.Breus, I.L.Andronov*, *Odessa Astron. Publ.*, **26**, 38, 2013.
25. *N.Vogt, W.Krzeminski, C.Sterken*, *Astron. Astrophys.*, **85**, 106, 1980.
26. *I.L.Andronov*, "Astrophysics and Cosmology After Gamow: Recent Progress and New Horizons", *Program and Abstracts*, *Odessa*, **22**, 2009.
27. *Yong-Gi Kim, Joh-Na Yoon, I.L.Andronov et al.*, *The Bulletin of the Korean astronomical society*, **37**, 59, 2012.
28. *N.Mhlahlo et al.*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **380**, 353, 2007.
29. *I.L.Andronov, A.V.Baklanov*, *Astrophysics*, **50**, 105, 2007.
30. *I.L.Andronov, V.V.Breus, S.Zola*, *Odessa Astron. Publ.*, **25**, 150, 2012.
31. *V.V.Breus, I.L.Andronov, T.Hegedus, P.A.Dubovsky, I.Kudzej*, *Advances in Astronomy and Space Physics*, **2**, 9, 2012.
32. *V.V.Breus, I.L.Andronov, P.Dubovsky et al.*, *Journal of Phys. Studies*, 2013arXiv1306.4665B.
33. *A.J.Norton, G.A.Wynn, R.V.Somerscales*, *Astrophys. J.*, **614**, 349, 2004.
34. *A.Bianchini*, *Societa Astronomica Italiana, Memorie*, **58**, 245, 1987.
35. *I.L.Andronov, L.I.Shakun*, *Astrophys. and Space Science*, **169**, 237, 1990.
36. *I.L.Andronov, L.L.Chinarova*, *ASP Conference Ser.*, **261**, 47, 2002.
37. *I.L.Andronov*, *ASP Conference Ser.*, **334**, 447, 2005.
38. *G.H.Tovmassian, S.V.Zharikov, V.V.Neustroev*, *ASP Conference Ser.*, **372**, 541, 2007.
39. *M.Leins, M.H.Soffel, W.Lay, H.Ruder*, *Astron. Astrophys.*, **261**, 658, 1992.
40. *I.L.Andronov, Yu.B.Yavorskij*, *Contr. Astron. Obs. Skalnat Pleso*, **20**, 155, 1990.
41. *T.Yuasa et al.*, *Astron. Astrophys.*, **520**, A25, 2010.
42. *K.Beuermann, K.Reinsch*, *Astron. Astrophys.*, **480**, 199, 2008.