

УДК: 524.354.7—4.520.827

ПЯТИЦВЕТНАЯ ФОТОМЕТРИЯ DQ Her (N 1934). II. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ

Е. С. ДМИТРИЕНКО

Поступила 28 января 1988

Принята к печати 4 марта 1988

Из совместного анализа результатов решения $UBVRI$ -кривых блеска DQ Her 1982—86 гг., спектроскопических данных и модельных представлений о системе определены ее основные физические характеристики. Получены функции распределения наблюдаемой в $UBVRI$ яркости аккреционного диска вокруг белого карлика, невозмущенного горячим пятном. Его радиус излучения в среднем по $UBVRI$ составляет $35 \div 43\%$ от радиуса орбиты a . Если масса вторичного компонента подчиняется установленной для катаклизмических систем эмпирической зависимости $M_2 - P$, то при $K_1 = 149$ км/с масса белого карлика $M_{wd} \approx (0.70 \div 0.73) M_{\odot}$, $a \approx (1.03 \div 1.04) \cdot 10^{11}$ см, $i \approx 79^{\circ} \div 82^{\circ}$, $R_1^0 \approx (0.41 \div 0.40) a$, $M_2/M_{wd} \approx 0.65 \div 0.62$.

Получение из наблюдений физических характеристик катаклизмических переменных является важным для понимания природы их активности. И главная роль здесь должна принадлежать изучению затменных систем, так как только у них имеется принципиальная возможность определения из наблюдений масс и радиусов компонентов, а также тонкой структуры затмеваемого объекта. В [1] дается полное описание метода интерпретации кривых блеска затменных катаклизмических систем, основанного на совместном анализе результатов решения кривых блеска с применением регуляризирующих алгоритмов [2, 3] и дополнительной информации о системе, помимо кривых блеска—спектральных данных, теоретических и эмпирических зависимостей между ее параметрами. С помощью данного метода проведена интерпретация опубликованных до 1980 г. наблюдений карликовой новой Z Cha и Новой 1934 г. DQ Her [4, 5]. Здесь анализируются $UBVRI$ -кривые блеска DQ Her, полученные автором совместно с Ефимовым и Шаховским в 1982—86 гг. в Крымской астрофизической обсерватории [6, 7].

Общепринято, что основной источник излучения в DQ Her—аккреционный диск (далее а.д.) вокруг белого карлика. Он образуется за счет потери вещества вторичным компонентом—красным карликом. В месте уда-

ра струи этого вещества о диск имеется так называемое горячее пятно. На кривых блеска оно проявляется в виде горбов до и/или после затмения. На рис. 1 представлена схематическая кривая относительной интенсивности l (кривая зависимости от орбитальной фазы Φ мощности излучения, наблюдаемого от объекта в какой-либо полосе частот). Для решения задачи выбирался участок кривой с $\Phi = 0.0 \div 0.08$, где горячее пятно полностью скрыто от наблюдателя красным карликом. Искомой являлась функция $B(\xi)$ распределения наблюдаемой яркости части а. д. без горячего пятна (или а. д., невозмущенного этим пятном). Здесь ξ — расстояние до центра белого карлика в долях радиуса орбиты компонентов a . По занулению $B(\xi)$ определяется радиус области излучения «невозмущенного» а. д. — R_d . Из-за возможности существования неоднородного распределения яркости а. д. и/или красной звезды уровень относительной интенсивности

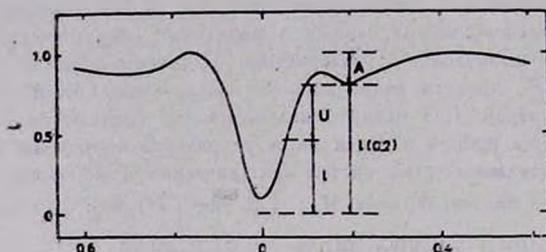


Рис. 1. Схематическая кривая относительной интенсивности l DQ Her. Ось ординат — l в относительных единицах, ось абсцисс — орбитальная фаза Φ в долях орбитального периода.

ности, от которого отсчитывается глубина затмения а. д. без горячего пятна, нельзя выбрать однозначно. Поэтому необходимо ввести еще один параметр (назовем его A), от которого будет зависеть отсчет глубины затмения U невозмущенного а. д. (см. рис. 1): $U(\Phi) = 1 - A - l(\Phi)$. Здесь за единицу принята интенсивность на фазах около 0.45. Интегрируя $B(\xi)$ по площади проекции невозмущенного а. д. на картинной плоскости, получим относительную интенсивность его излучения L_1 . Она будет функцией большой полуоси вторичного компонента r_2^0 , выражаемой в долях a , угла i наклона орбитальной плоскости к картинной и A . Для DQ Her можно ожидать, что $A \approx 1 - l(0.2)$, т. к. на ее кривых блеска на фазах около 0.2 имеется локальный минимум. Он обусловлен, вероятно, тем, что горячее пятно на этих фазах уже скрылось от наблюдателя за а. д., а более яркие области а. д. и красного карлика, возможно образующиеся за счет каких-либо нестационарных процессов в системе, еще не появились на луче зрения. При значениях A , отличающихся от разности $1 - l(0.2)$ не более,

чем на $0.10 \div 0.15$, в случае одновременного изменения i и r_2^0 таким образом, что, например, $\Delta i \approx \pm 2^\circ$, $\Delta r_2^0 \approx \mp 0.02$, зависимости $L_1(A)$ в пределах ошибок L_1 практически одинаковы для всего рассматриваемого диапазона i и r_2^0 . В целях экономии времени счета, последний выбирался равным $0.30 + 0.50$ для r_2^0 и $70^\circ + 89^\circ$ для i , соответственно, согласно [5]; хотя в принципе задачу можно решать на всем допустимом интервале: $0 < r_2^0 < 1.0$ и $0^\circ < i < 90^\circ$. Ошибки L_1 при решении кривых блеска составляют около 1% от самой величины L_1 . В 1982—1986 гг. вкладом небулярной оболочки, оставшейся после вспышки Новой, можно пренебречь, т. к. уже к 1978 г. [8] он составлял от общей светимости не более $3-4\%$. Поэтому L_1 должна удовлетворять условию:

$$L_1 \approx 1 - A - L_2 - L_3, \quad (1)$$

где L_2, L_3 — относительные интенсивности вторичного компонента и визуального спутника системы, соответственно. Их сумма не превышает нескольких процентов от полной интенсивности, принятой за единицу, в то время как $A \approx 25 + 30\%$ в UBV и $A \approx 10 \div 15\%$ в RI . Из требования, чтобы L_1 , вычисленная интегрированием функции $B(t)$ по площади проекции а. д. без горячего пятна на картинной плоскости, удовлетворяла условию (1), получаем: $r_2^0 \approx 0.39 + 0.41$ и $i \approx 84^\circ \div 79^\circ$ — для предельных значений разности $1 - l$ (0.2), соответствующих наблюдаемым предельным амплитудам хаотических колебаний блеска системы, и $r_2^0 \approx 0.40 - 0.41$, $i \approx 82^\circ + 79^\circ$ — для средних значений $1 - l$ (0.2). Еще одну связь между i и r_2^0 можно найти, зная функцию масс системы f_1 и принимая, что ее вторичный компонент заполняет полость Роша и его масса M_2 удовлетворяет эмпирической зависимости $M_2 \approx 0.38 (P/4)^{1.22} M_\odot$, установленной для катаклизмических переменных (см., например, [9]). Здесь P — орбитальный период в часах, равный в случае DQ Her $4^h 6469$. При этом появляется также возможность оценить массы и размеры компонентов, радиус их относительной орбиты a и радиус области излучения невозмущенного а. д. R_d в абсолютных единицах. Значения параметров DQ Her в случае $f_1 \approx 1.33 \cdot 10^{32}$ г (для $K_1 = 149$ км/с [10] — цифры без скобок) и в случае $f_1 \approx 1.006 \cdot 10^{32}$ г (для $K_1 = 136$ км/с [11]) приведены в табл. 1. В [7] было показано, что по ряду независимых характеристик $UBVR1$ — кривые блеска DQ Her 1982—1986 гг. можно разделить на три типа. Из-за большой временной скважности наблюдений нельзя полагать, что у системы имеются только эти три типа кривых с разными внезатменными уровнями блеска на фазах $0.4 \div 0.6$. Однако представ-

ляет интерес, что UBV -кривые блеска DQ Her 1954 г. и 1975 г., опубликованные в [12] и [13], соответственно, близки по форме к кривым II и I типов. В связи с этим все приводимые нами результаты будут относиться к одному из типов кривых. На рис. 2 представлены функции распределения наблюдаемой яркости а. д. без горячего пятна, полученные из решения кривых блеска DQ Her 1982—1986 гг. при $r_2^0 \approx 0.40$, $i = 80^\circ$.

Таблица 1

ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ DQ Her, НАЙДЕННЫЕ ИЗ
СОВМЕСТНОГО АНАЛИЗА СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИХ ДАННЫХ
И РЕЗУЛЬТАТОВ РЕШЕНИЯ $UBVRI$ -КРИВЫХ БЛЕСКА ПРИ
 $M_2 = 0.456 M_\odot$

M_{wd}/M_\odot	$0.70 \div 0.73$ ($0.87 \div 0.90$)
$q = M_2/M_{wd}$	$0.65 \div 0.62$ ($0.52 \div 0.50$)
$a \cdot 10^{-11}$ см	$1.03 \div 1.04$ ($1.08 \div 1.09$)
$r_2^0 = R_2^0/a$	$0.41 \div 0.40$ (0.39)
$R_2^0 \cdot 10^{-10}$ см	4.24 (4.24)
i	$79^\circ \div 82^\circ$ ($81^\circ \div 84^\circ$)
R_d/a	$0.35 \div 0.43$ ($0.35 \div 0.43$)
$R_d \cdot 10^{-10}$ см	$9.6 \div 4.45$ ($3.8 \div 4.67$)

Эксцентриситет максимального сечения вторичного компонента должен слабо зависеть от отношения масс звезд и брался, согласно [14], равным 0.57. Результаты решения приведены для $0.1 < \xi < 0.35$, поскольку из-за используемого здесь метода вычисления площадей перекрытия проекций компонентов на картинной плоскости (см. о нем подробно в [15]) при $\xi < 0.1$ и для самых внешних областей излучения невозмущенного а. д. с $\xi \approx 0.35 \div 0.43$, функции $B(\xi)$ находились с большими погрешностями. Все $B(\xi)$ выражены в одних и тех же энергетических единицах, которым соответствуют следующие звездные величины: 13^m436 в U , 14^m21 в B , 13^m96 в V , 13^m556 в R и 13^m283 в I . На рис. 2 приведены и $B(\xi)$, полученные из решения усредненных за несколько ночей UBV -кривых блеска DQ Her 1954 г. и 1975 г. Переход от относительной яркости $B(\xi)$ к абсолютной яркости дается выраже-

нием (6) в [5]. Из-за отсутствия в настоящее время моделей а. д., учитывающих эффект самопоглощения, пока нет возможности по наблюдаемому распределению яркости восстановить истинное и, тем самым, оценить температуру. Поэтому здесь отметим лишь следующие особенности наблюдаемого излучения невозмущенного а. д.: на радиусах около 0.15 „наблюдаемые“ показатели цвета $U-B$, $V-R$ и $V-I$ на 0^m4-0^m5 больше, чем на $\xi \approx 0.30$. Показатель цвета $B-V$, наоборот, при $\xi \approx 0.15$ меньше примерно на $0^m5 + 0^m7$, чем при $\xi \approx 0.3$.

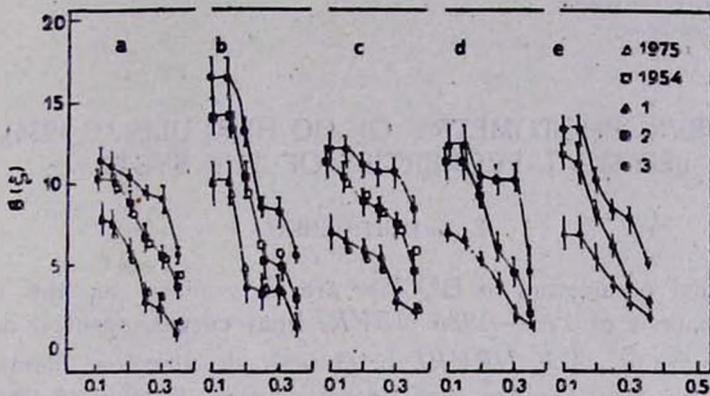


Рис. 2. Распределения относительной яркости $B(\xi)$ по проекции невозмущенного горячим пятном аккреционного диска на картинную плоскость для радиусов $(0.1 \div 0.35)$ а) в случае кривых интенсивности DQ Her I, II и III типов (обозначены цифрами 1, 2 и 3, соответственно) для $UBVRI$ -фильтров (рис. а, б, с, д, е (см. рис. 2) соответственно) при $i=80^\circ$, $r_2^0=0.40$ $A \approx 1-I(0.2)$. На оси ординат — $B(\xi)$, единичным значениям которых соответствуют приведенные в тексте звездные величины. На оси абсцисс — радиусы в долях радиуса относительной орбиты компонентов а. Длина вертикальной линии соответствует разнице $B(\xi)$ при изменении A на ± 0.05 от используемого здесь значения.

На $\xi \approx 0.15$ показатели цвета, исправленные за межзвездное поглощение, в среднем по результатам кривых блеска трех типов в случае, приведенном на рис. 2, примерно равны: $(U-B)_0 \approx -0^m6 \pm 0^m1$, $(B-V)_0 = 0^m2 + 0^m1$, $(V-R)_0 = 0^m35 \pm 0^m05$ и $(V-I)_0 \approx 0^m61 \pm 0^m05$.

Функции $B(\xi)$ для всех изученных кривых блеска убывают к краю проекции невозмущенного а. д. на картинной плоскости. В $UBVRI$ они ведут себя сходным образом для кривых одного и того же типа. При переходе системы от состояния с кривыми блеска II типа к состоянию с кривыми III типа увеличивается в основном яркость средней и внешней

зон а. д., в то время как превышение яркости в случае кривых II типа над яркостью, соответствующей кривым I типа, является более равномерным на всех $\xi \approx 0.1 \div 0.35$. Это может свидетельствовать о том, что переходы между состояниями DQ Her с кривыми блеска I и II типов и между состояниями с кривыми II и III типов обусловлены появлением или усилением мощности излучения различных источников.

Выражаю глубокую признательность Н. М. Шаховскому за полезные замечания.

Крымская астрофизическая
обсерватория

THE UBVRI PHOTOMETRY OF DQ HERCULIS (N 1934). II. PHYSICAL PROPERTIES OF THE SYSTEM

E. S. DMITRIENKO

Physical parameters of DQ Her are determined on the basis of complex analysis of 1982—1986 *UBVRI* light curves, spectral data and model simulations. The *UBVRI* brightness distribution functions on the unperturbed by the hot spot accretion disc, enveloping the white dwarf, are obtained. The average *UBVRI* radius of the luminous part of the accretion disc is $(35 \div 43)\%$ of the orbit radius a . Supposing, the secondary's mass satisfies the empirical relation $M_2 - P$ for cataclismic variables, then, in case $K_1 = 149$ km/s, the mass of the white dwarf is $M_{wd} = (0.70 + 0.73)M_{\odot}$; $a \simeq (1.03 \div 1.04) \cdot 10^{11}$ cm, $i \simeq 79^\circ \div 82^\circ$, $R_2^0 \simeq (0.41 \div 0.40)a$ and the mass ratio $M_2/M_{wd} \simeq 0.65 \div 0.62$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. С. Дмитриенко, Канд. диссертация, Тарту, 1987.
2. А. В. Гончарский, А. М. Черепашук, А. Г. Ягола, Численные методы решения обратных задач астрофизики, Наука, М., 1978.
3. А. В. Гончарский, А. М. Черепашук, А. Г. Ягола, Некорректные задачи астрофизики, Наука, М., 1985.
4. Е. С. Дмитриенко, А. Н. Матвиенко, А. М. Черепашук, А. Г. Ягола, Астрон. ж., 61, 310, 1984.
5. Е. С. Дмитриенко, А. М. Черепашук, Астрон. ж., 57, 749, 1980.
6. Е. С. Дмитриенко, Ю. С. Ефимов, Н. М. Шаховской, Астрофизика, 22, 31, 1985.
7. Е. С. Дмитриенко, Изв. Крым. астрофиз. обсерв., 76, 62, 1987.
8. D. R. Schneider, J. L. Greenstein, Astrophys. J., 233, 935, 1979.
9. J. Patterson, Astrophys. J. Ser., 54, 433, 1984.
10. J. L. Greenstein, R. F. Kraft, Astrophys. J., 130, 99, 1959.

11. *J. B. Hutchings, A. P. Cowley, P. Crampton, Astrophys. J., 232, 500, 1979.*
12. *M. F. Walker, Astrophys. J., 123, 68, 1956.*
13. *M. R. Nelson, E. C. Olson, Astrophys. J., 207, 195, 1976.*
14. *В. П. Цесевич, Затменные переменные звезды, Наука, М., 1971.*
15. *А. М. Черпацук, А. В. Гончарский, А. Г. Ягола, Астроф. ж., 54, 1027, 1977.*