

АНАЛИЗ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ *UBV*-НАБЛЮДЕНИЙ МАССИВНОЙ ДВОЙНОЙ СИСТЕМЫ РАННЕГО ТИПА V729 Cyg (Cyg OB2 №5)

Э.А.АНТОХИНА¹, М.И.КУМСИАШВИЛИ², К.Б.ЧАРГЕИШВИЛИ²

Поступила 28 октября 2015

Принята к печати 16 декабря 2015

Мы выполнили анализ фотометрических *UBV*-кривых блеска массивной затменно-двойной системы V729 Cyg, расположенной в звездной ассоциации Cyg OB2. Наблюдения были получены в Абастуманской астрофизической обсерватории в 1983-2003 гг. по программе исследования двойных систем раннего типа. Система V729 Cyg является спектроскопической двойной и состоит из Of-звезд, в ней наблюдаются эффекты, связанные со столкновением звездных ветров. Ранее различными исследователями были сделаны предположения, что двойная система находится на эволюционной стадии превращения в систему WR+O. Анализ кривых блеска был выполнен методом синтеза в рамках модели Роша с использованием собственного компьютерного кода, аналогичного известному коду Вилсона-Девиннея. По результатам анализа можно сделать вывод, что двойная система имеет контактную конфигурацию, а наклонение орбиты системы составляет около 66 град. Сделаны оценки абсолютных параметров компонентов: $M_1 = 30.4 M_\odot$, $M_2 = 9.2 M_\odot$, $R_1 = 24.6 R_\odot$, $R_2 = 13.8 R_\odot$.

Ключевые слова: *двойная звезда V729 Cyg; UBV-наблюдения*

1. *Введение.* Двойная система раннего типа V729 Cyg (BD+40°4220, Cyg OB2 №5) является членом звездной ассоциации Cyg OB2, содержащей большое количество горячих и массивных звезд [1]. Ассоциация Cyg OB2 одна из самых массивных OB-ассоциаций в нашей Галактике, она является естественной лабораторией, позволяющей изучить и понять процессы формирования и эволюции массивных звезд.

Впервые V729 Cyg была открыта как спектроскопическая двойная Вилсоном в 1948 г. [2]. С тех пор двойная система активно исследовалась в различных диапазонах длин волн - оптическом, радио, ультрафиолетовом, рентгеновском, но до сих пор природа компонентов окончательно не прояснена.

Вилсоном и Абтом [3] были определены спектральные классы компонентов двойной системы (O9 и Of), вычислена спектроскопическая орбита, определены период $P = 6^d.6$ и отношение масс $q = M_1/M_2 = 4.1$ (здесь M_1 , M_2 - массы главного и вторичного компонентов, соответственно). Затменную природу V729 Cyg впервые обнаружил Микзайка [4], который указал на наличие двух близких по глубине затмений с амплитудами

$A_1 = 0^m.30$, $A_2 = 0^m.22$. Он отметил, что более глубокий минимум соответствует такому расположению звезд, когда главный компонент (звезда O9) затмевается звездой Of. Автор сделал вывод, что кривая блеска V729 Суг похожа на кривую блеска двойной системы UW CMa (29 CMa), у которой в спектре наблюдаются линии только одного компонента (Of-звезды) [4].

Холл [5] выполнил *UBV*-фотометрию V729 Суг, получил кривые блеска и уточнил период. Кривые блеска показали наличие физической переменности в системе, они асимметричны, имеют максимумы различной высоты и достаточно большой разброс точек. По результатам предварительного анализа кривых блеска Холл [5] заключил, что светимости компонентов должны быть приблизительно равны, а сама система близка к контактной конфигурации. Автор сделал вывод, что для решения кривых блеска не подходит стандартная модель Рассела, и нужно использовать новую технику синтеза кривых блеска.

Боханнан и Конти [6] на основе новых наблюдательных данных определили спектроскопические элементы орбиты V729 Суг и классифицировали спектры компонентов как O7 (главный компонент) и O6 (вторичный компонент). Было сделано заключение, что двойная система состоит из двух сверхгигантов Of типа, которые имеют примерно одинаковую светимость, хотя их массы сильно различаются в соответствии с найденным отношением масс $q = M_1/M_2 = 4.3$. Таким образом, следует вывод, что вторичный компонент имеет значительный избыток светимости для своей массы. Боханнан и Конти [6] предположили, что вторичный компонент находится на стадии превращения в звезду Вольфа-Райе (WR).

Леунг и Шнейдер [7] проанализировали кривые блеска Холла [5] и Микзайка [4] методом синтеза с применением программы Вилсона-Девиннея [8]. Фотометрическое решение было получено для спектроскопического отношения масс $q = M_1/M_2 = 4.3$, найденного Боханнаном и Конти [6]. Решение кривых блеска соответствует сверхконтактной конфигурации системы, найдены следующие основные фотометрические параметры: $i = 68^\circ.2$, $T_1 = 34300$ К (задано), $T_2 = 22700$ К, $L_1/(L_1 + L_2) = 0.88$. На основании полученного фотометрического решения Леунг и Шнейдер [7] оценили абсолютные параметры компонентов: спектральные классы компонентов O7f Ia и OPa, массы $M_1 = 58.7 M_\odot$, $M_2 = 13.7 M_\odot$, радиусы $R_1 = 33.0 R_\odot$, $R_2 = 16.7 R_\odot$. Авторы обращают внимание на существование противоречия в полученных результатах, так как светимость главного компонента должна примерно в 8 раз превышать светимость вторичного, но спектроскопические данные показывают, что светимости компонентов сравнимы по величине. В заключение Леунг и Шнейдер [7] высказывают мнение, что для понимания природы V729 Суг важную роль может иметь исследование спектра вторичного компонента, на который перетекает вещество с главного

компонента, образуя протяженную расширяющуюся оболочку.

Детальные спектроскопические исследования V729 Cyg были выполнены Вре [9] и Рау и др. [10]. На основе исследования поведения эмиссионного профиля H α Вре [9] предположил, что такое поведение профиля линии может быть объяснено падением вещества главного компонента на ограниченную часть поверхности вторичного компонента. Также было сделано предположение, что вторичный компонент является звездой WR, но проявляет себя в спектре как звезда Of из-за аккреции на него вещества главного компонента.

Рау и др., [10] получили и проанализировали обширный спектроскопический материал, объединяющий данные нескольких наблюдательных кампаний, проведенных в течение 1994-1997гг. Из решения кривых лучевых скоростей для абсорбционных линий были определены новые спектроскопические элементы орбиты, получены новое значение отношения масс $q = M_1/M_2 = 3.31$ и массы компонентов $M_1 \sin^3 i = 23.3 M_\odot$, $M_2 \sin^3 i = 7.0 M_\odot$. Также был выполнен анализ кривых лучевых скоростей по данным, объединяющим новые наблюдения Рау и др. [10] и наблюдения Боханна и Конти [6]. Для объединенных данных получено немного отличающееся отношение масс $q = M_1/M_2 = 3.54$ (вместо $q = M_1/M_2 = 3.31$). На основе исследования абсорбционных линий была выполнена классификация спектральных типов звезд: O6.5-7 (главный компонент), Ofpe/WN9 (вторичный компонент). Также в [10] было показано, что эмиссия HeII $\lambda 4686$ частично образуется в области столкновения звездных ветров компонентов. Выполненные модельные расчеты профилей эмиссионных линий продемонстрировали, что наблюдаемая переменность линии может в значительной степени объясняться столкновением звездных ветров в системе. Сама область столкновения располагается между двумя звездами, находясь ближе к поверхности вторичного компонента. Было показано, что наблюдаемые характеристики области столкновения звездных ветров могут быть объяснены, если предположить, что вторичный компонент является переходным объектом при превращении звезды Of в звезду Вольфа-Райе WN9. Сделано заключение, что наблюдаемая переменность эмиссионной линии HeII $\lambda 4686$ может быть удовлетворительно объяснена при скорости потери массы $\dot{M} \sim 5 \cdot 10^{-5} M_\odot/\text{год}$ для главного компонента O6.5-7 и $\dot{M} \sim 5.5 \cdot 10^{-5} M_\odot/\text{год}$ для вторичного компонента Ofpe/WN9.

Линдер и др. [11] выполнили обширные исследование V729 Cyg как в оптическом, так и в рентгеновском диапазонах. Новые фотометрические кривые блеска, полученные для узкополосных фильтров с центральными длинами волн $\lambda 5057 \text{ \AA}$ и $\lambda 6051 \text{ \AA}$, были проанализированы с использованием компьютерного кода NIGHTFALL. Затем в модель было дополнительно включено "яркое пятно" на вторичном компоненте.

Получено, что наилучшее решение кривых блеска соответствует модели контактной системы, наклонение орбиты $i = 64^\circ.2$. Поверхность вторичного компонента, обращенная к главному компоненту, является значительно более горячей и яркой ("яркое пятно"). При решении кривых блеска задавалось отношение масс $q = M_1/M_2 = 3.31$ (Pay и др. [10]). Также задавались фиксированные температуры главного компонента $T_1 = 36000$ К (температура для звезды спектрального класса O6.5-7) и вторичного компонента $T_2 = 29500$ К (такое значение T_2 было найдено при предварительном решении в модели без "яркого пятна"). На основании полученного фотометрического решения сделаны оценки масс компонентов $M_1 = 31.9 M_\odot$, $M_2 = 9.6 M_\odot$. Авторы предположили, что "яркое пятно" на поверхности вторичного компонента может быть результатом переноса энергии в общей оболочке контактной системы или результатом столкновения звездных ветров. Также было отмечено, что известное противоречие для V729 Суг в соотношении "масса-светимость" можно объяснить наличием общей фотосферы звезд, в которой образуются спектры.

С целью исследования излучения системы в рентгеновском диапазоне Линдером и др. [11] были получены наблюдения на обсерватории XMM-Newton, а также использованы архивные данные ROSAT и ASCA. Было сделано заключение, что основная часть рентгеновского и нетеплового радиоизлучения образуется при взаимодействии звездного ветра от двойной системы с еще одним компонентом кратной системы. Так, на основании исследований в радиодиапазоне Кеннеди и др. [12] предположили, что двойная система V729 Суг входит в состав квадрупольной системы. В этой системе третий член движется с периодом 6.7 лет вокруг двойной системы, имеющей период $P = 6^d.6$. Также отметим, что в работе Линдер и др. [11] дан подробный обзор проблемы изменения периода и даны соответствующие ссылки.

Недавно анализ фотометрических кривых блеска был сделан Ясаровым и Якутом [13]. Были получены новые *UBVRI*-наблюдения, которые анализировались с программным пакетом RHOBEBE [14]. Использовалась мода программы, позволяющая анализировать одновременно кривые блеска и кривые лучевых скоростей, для чего были взяты лучевые скорости из работы Pay и др. [10]. Таким образом, использовалось отношение масс, полученное в [10] для объединенных данных из работ [10,6]. Температура главного компонента принималась равной $T_1 = 28000, 32000, 36000$ К. Полученные решения соответствуют сверхконтактной конфигурации и $i = 64^\circ$. Сделаны оценки масс и радиусов компонентов: $M_1 = 36 M_\odot$, $M_2 = 10 M_\odot$, $R_1 = 27 R_\odot$, $R_2 = 15 R_\odot$. В работе [13] было также проведено исследование изменения периода V729 Суг и найдено, что период уменьшается.

Казорола и др. [15] исследовали проблему столкновения звездных ветров для трех ярких и массивных двойных систем в ассоциации Cyg OB2. Одной из систем являлась V729 Cyg (OB2 №5). Были проанализированы новые рентгеновские наблюдения, полученные на обсерватории ХММ-Newton. Рентгеновские данные показали признаки столкновения звездных ветров, но область столкновения находится не внутри двойной системы, а между ней и третьим телом в кратной системе. Не было обнаружено модуляции рентгеновского излучения с орбитальным периодом двойной системы $P = 6^d.6$, но есть признаки модуляции с периодом 6.7 лет, соответствующего движению возможного третьего тела [12]. Казорола и др. [15] отметили, что ранее в работе Линдера и др. [11] при анализе кривых блеска не учитывался возможный "третий свет", поэтому авторы решили повторить анализ кривых блеска с учетом этого эффекта. Предположения о параметрах модели были приняты такие же, как в работе [11], "третий свет" варьировался в диапазоне от 0 до 30%. Как заранее можно было предположить, учет "третьего света" повлиял, главным образом, на значение наклона орбиты, которое увеличилось с $i = 64^\circ$ до $i = 72^\circ$. Также слегка изменился фактор заполнения звездами полостей Роша, который незначительно возрос с 1.00 до 1.03. Остальные параметры остались в качественном согласии с работой [11].

Целью нашей текущей работы был анализ новых UBV-кривых блеска V729 Cyg, полученных в Абастуманской астрофизической обсерватории, поиск фотометрического решения и оценка абсолютных параметров двойной системы.

2. Наблюдения. Фотоэлектрические наблюдения двойной системы V729 Cyg были проведены в Абастуманской астрофизической обсерватории в соответствии с программой исследования объектов ранних спектральных типов (XZ Ser, UU Cas, RY Sct, W Sct, V729 Cyg). Спектральные и фотометрические данные этих систем сложны и часто противоречивы, так как системы характеризуются интенсивным перетечением вещества и сложными физическими процессами, что обуславливает актуальность их изучения.

Фотометрические UBV-наблюдения для V729 Cyg были получены в период в 1983-2003 гг. на 0.48-м рефлекторе АЗТ-14А с фотоэлектронными умножителями. В каждом цвете было получено приблизительно по 355 индивидуальных наблюдений, и построены UBV-кривые блеска (рис.1). Более подробно процесс получения фотоэлектрических наблюдений и редукции данных описан в работе Кумсиашвили и др. [16]. Как отмечено в этой работе, кривые блеска V729 Cyg показывают нестабильность, имеют асимметричную форму, разброс точек превышает ошибки измерения. Очевидно, что это результат активных физических процессов в двойной

системе.

Орбитальные фазы индивидуальных точек вычислялись в соответствии с фотометрическими эфемеридами Холла [5]:

$$JD(hel.) = 2440413.796 + 6^d.5977915 E.$$

Заметим, что наблюдаемый минимум может не совпадать с теоретическим, рассчитанным с данными эфемеридами. Это может происходить вследствие изменения периода или накопления ошибок из-за неточности определения эфемерид, или совместно по обеим причинам. Поэтому в процессе решения обратной задачи свободным параметром поиска был фазовый сдвиг $\Delta\phi$, на

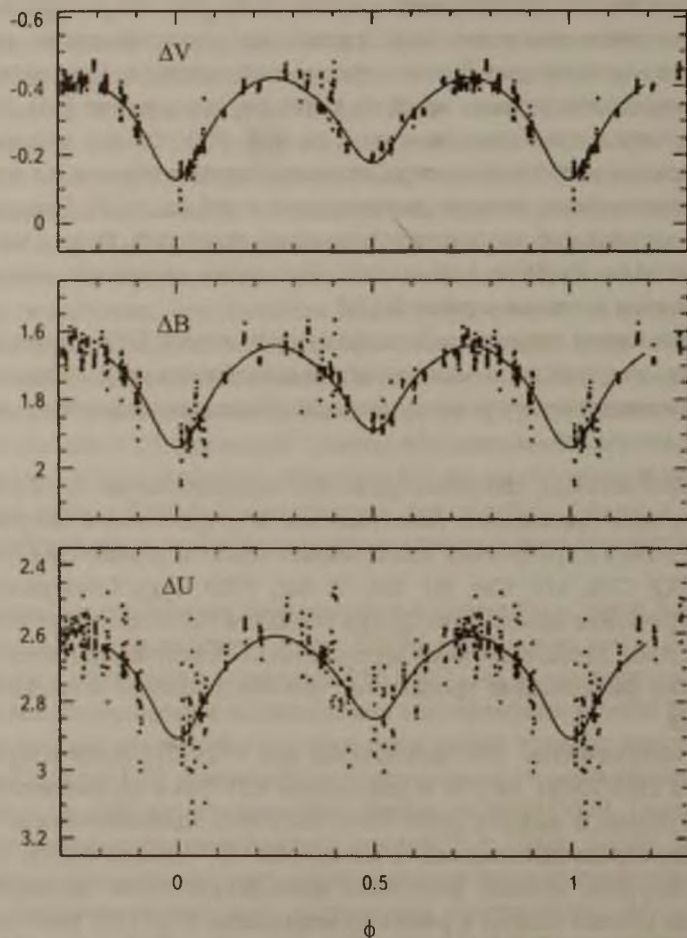


Рис.1. Наблюденные UBV -кривые блеска V729 Cyg (точки) и теоретические кривые блеска (сплошные линии). Параметры фотометрического решения представлены в табл.1. В фазе 0 вторичный компонент находится впереди более массивного главного компонента.

который смещались наблюденные кривые блеска до наилучшего совпадения между теоретической кривой и наблюдениями.

3. *Анализ фотометрических кривых блеска.* Для анализа UBV-кривых блеска V729 Cyg мы применили наш программный код синтеза теоретических кривых блеска и кривых лучевых скоростей тесной двойной системы в модели Роша. Он подобен известным алгоритмам Вилсона [17] и Вилсона-Девиннея [8], которые широко применяются для исследования кривых блеска тесных двойных систем. Подробное описание алгоритма содержится в работах Антохиной [18,19], а также в работе Антохиной и др. [20]. Здесь мы вкратце напомним основы модели. Звезды с тонкими атмосферами движутся вокруг общего центра масс системы по круговым или эллиптическим орбитам. Форма каждой звезды описывается эквипотенциальной поверхностью в модели Роша, учитываются эффекты гравитационного потемнения и потемнения к краю, а также эффект прогрева атмосферы звезды падающим излучением спутника (эффект "отражения").

Перечислим основные входные параметры модели: $q = M_1/M_2$ - отношение масс компонентов, μ_1, μ_2 - коэффициенты заполнения звездами полостей Роша ($\mu = R/R^*$, где R, R^* - полярные радиусы для частичного и полного заполнения критических полостей Роша), T_1, T_2 - эффективные температуры звезд, i - наклонение орбиты, e - эксцентриситет орбиты, ω - долготы периастра, β_1, β_2 - коэффициенты гравитационного потемнения, A_1, A_2 - болометрическое альbedo, F_1, F_2 - коэффициенты асинхронности вращения (отношение скорости вращения звезды к скорости синхронного вращения), $x_{1,2}, y_{1,2}$ - коэффициенты потемнения к краю для монохроматических длин волн (подробнее см. ниже), $I_3(\lambda)$ - "третий свет" для различных длин волн.

Часть параметров может быть зафиксирована с учетом имеющейся информации о системе. Примем согласно данным работы Рау и др. [10] отношение масс в системе $q = M_1/M_2 = 3.31$. Эффективную температуру более яркой компоненты $T_1 = 36000$ К зададим также, следуя работе [10]. Значения коэффициентов гравитационного потемнения звезд $\beta_1 = \beta_2 = 0.25$ и альbedo $A_1 = A_2 = 1$ приняты в соответствии со стандартными значениями для звезд с лучистым переносом энергии. При вычислении теоретических кривых блеска мы использовали нелинейный закон потемнения к краю - "закон квадратного корня" [21,22]: $I(\cos \gamma) = I(1) \left[1 - x(1 - \cos \gamma) - y(1 - \sqrt{\cos \gamma}) \right]$. Здесь γ - угол между лучом зрения и нормалью к поверхности, $I(1)$ - интенсивность при $\gamma = 0$, x, y - коэффициенты потемнения к краю. Как показано в работе [22], такой закон потемнения к краю является наиболее подходящим для использования в оптической области при температурах звезд $T \geq 10000$ К. Монохроматические коэффициенты потемнения к краю (см. табл.1) взяты из приложения на CD-ROM к статье [22]. Поскольку

орбита V729 Cyg круговая [6,10], зададим эксцентриситет $e=0$ и предположим синхронность вращения звезд с орбитальным обращением, т.е. $F_1 = F_2 = 1$. Теоретические кривые блеска вычислялись одновременно для трех длин волн, соответствующих полосам U , B , V .

Свободными параметрами поиска являлись: наклонение орбиты i , коэффициенты заполнения звездами полостей Роша μ_1 , μ_2 , средняя эффективная температура второго компонента T_2 . Также мы находили наилучшее положение теоретической кривой блеска относительно наблюдаемых точек по оси звездных величин для каждого из трех фильтров.

Таблица 1

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ V729 Cyg

Параметр	V	B	U	BV
$q = M_1/M_2$	3.31	3.31	3.31	3.31
i ($^\circ$)	66.2 ± 0.5	66.1 ± 0.4	67.8 ± 1.1	66.2 ± 0.4
Ω_1	2.473 ± 0.022	2.475 ± 0.023	2.494 ± 0.034	2.473 ± 0.023
Ω_2	7.032 ± 0.037	7.036 ± 0.038	7.081 ± 0.047	7.032 ± 0.037
μ_1	0.999 ± 0.012	0.998 ± 0.012	0.986 ± 0.023	0.999 ± 0.012
μ_2	0.998 ± 0.012	0.987 ± 0.014	0.986 ± 0.024	0.998 ± 0.013
T_1 (K)	36000	36000	36000	36000
T_2 (K)	33400 ± 800	33560 ± 800	33100 ± 900	33400 ± 800
$L_1/(L_1+L_2)$	0.7644	0.7642	0.7743	$0.7644 0.7654$
$L_2/(L_1+L_2)$	0.2356	0.2358	0.2257	$0.2356 0.2346$
F_1	1.0	1.0	1.0	1.0
F_2	1.0	1.0	1.0	1.0
β_1	0.25	0.25	0.25	0.25
β_2	0.25	0.25	0.25	0.25
A_1	1.0	1.0	1.0	1.0
A_2	1.0	1.0	1.0	1.0
x_1	-0.188	-0.168	-0.250	$-0.188 -0.168$
y_1	0.719	0.700	0.659	$0.719 0.700$
x_2	-0.141	-0.130	-0.180	$-0.141 -0.130$
y_2	0.746	0.736	0.787	$0.746 0.736$
e	0.	0.	0.	0.
ω	0.	0.	0.	0.
I_3	0.	0.	0.	0.
$\Delta\phi$	-0.036 ± 0.003	-0.035 ± 0.003	-0.039 ± 0.003	-0.036 ± 0.003
Относительные радиусы (R/a)				
r_1 (pole)	0.4549 ± 0.0042	0.4545 ± 0.0041	0.4508 ± 0.0042	0.4549 ± 0.0043
r_1 (point)	0.6054 ± 0.0330	0.5992 ± 0.0350	0.5728 ± 0.0500	0.6054 ± 0.0330
r_1 (side)	0.4887 ± 0.0043	0.4881 ± 0.0041	0.4832 ± 0.0048	0.4887 ± 0.0043
r_1 (back)	0.5137 ± 0.0044	0.5120 ± 0.0043	0.5070 ± 0.0048	0.5137 ± 0.0044
r_2 (pole)	0.2612 ± 0.0032	0.2609 ± 0.0031	0.2580 ± 0.0039	0.2612 ± 0.0033
r_2 (point)	0.3646 ± 0.0240	0.3611 ± 0.0260	0.3397 ± 0.0370	0.3646 ± 0.0240
r_2 (side)	0.2719 ± 0.0034	0.2715 ± 0.0033	0.2682 ± 0.0040	0.2719 ± 0.0034
r_2 (back)	0.3042 ± 0.0034	0.3037 ± 0.0032	0.2983 ± 0.0410	0.3042 ± 0.0032

Свободным независимым параметром поиска был также фазовый сдвиг $\Delta\phi$ между модельными теоретическими кривыми блеска и наблюдениями. Для наблюдаемых точек орбитальные фазы вычислялись с использованием эфемерид Холла [5]. Так как при модельных теоретических расчетах предполагается, что фаза $\phi = 0$ соответствует моменту затмения главного компонента вторичным, то наблюдаемый минимум может не совпадать с теоретическим. Причиной этого может быть накопившаяся неточность эфемерид, возможное изменение периода, физическая переменность и др. Поэтому в процессе решения обратной задачи наблюдаемые кривые блеска смещались на фазовый сдвиг $\Delta\phi$ до наилучшего совпадения между теоретической кривой и наблюдениями.

Для нахождения решения обратной задачи использовался известный алгоритм Simplex-метод Нелдера-Мида поиска минимума функции по деформируемому многограннику (Химмельблау [23], Калтрафф и Линнелл [24]). Доверительные интервалы для параметров поиска оценивались по критерию χ^2 .

В табл.1 приведены параметры решения UBV-кривых блеска V729 Cyg и доверительные интервалы параметров, оцененные по критерию χ^2 на уровне значимости 1% (некоторые значения доверительных интервалов мы округлили). В дополнение к уже перечисленным выше параметрам модели в табл.1 присутствуют значения безразмерного потенциала Ω_1, Ω_2 на поверхности каждого компонента и относительные монохроматические светимости L_1, L_2 . Приведенные параметры решений получены отдельно для фильтров U, B, V , а также для совместного решения BV . Разброс наблюдательных точек наиболее велик для фильтра U , поэтому и точность определения параметров для него меньше, хотя результаты похожи для всех фильтров. Для определения абсолютных параметров системы мы взяли за основу BV -решение.

В табл.2 приведены абсолютные параметры V729 Cyg.

Таблица 2

АБСОЛЮТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ V729 Cyg

Параметр	Главный компонент	Вторичный компонент
$M (M_{\odot})$	30.4	9.2
$a_{\text{вз}} (R_{\odot})$	50.5	
$R (R_{\odot})$	24.6	13.8
$T (K)$	36000	33400
$\log(g)$	3.093	3.093
$L (10^5 L_{\odot})$	9.12	2.14

На рис.1 приведены наблюдаемые кривые блеска и теоретические кривые для наилучших параметров модели.

На рис.2 показана компьютерная модель V729 Суг для различных фаз орбитального периода.

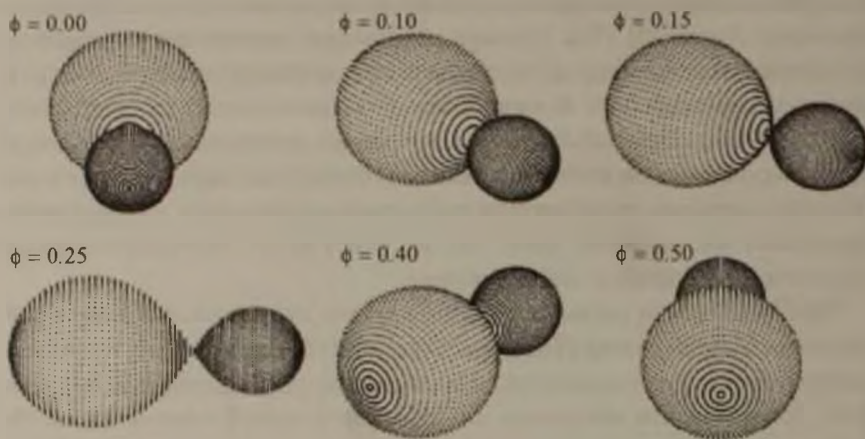


Рис.2. Компьютерная модель V729 Суг для различных фаз орбитального периода.

4. *Обсуждение.* Полученное нами решение новых *UBV*-кривых блеска в целом согласуется с полученными ранее решениями фотометрических кривых блеска [7,11,13]. Наклонение орбиты, найденное из анализа кривых блеска $i \sim 66^\circ$, близко к значениям, полученным другими авторами $i \sim 64-68^\circ$, другие параметры тоже схожи. Вычисленные на основе фотометрического решения абсолютные параметры (массы, радиусы, светимости), также подобны полученным ранее результатам [11,13].

Наш анализ новых кривых блеска V729 Суг показал, что система находится в контактной конфигурации. Подобный результат получили ранее Linder et al. [11], в то время как Леунг и Шнейдер [7] и Ясаров и Якут [13] нашли, что конфигурация системы сверхконтактная. Здесь необходимо отметить следующее обстоятельство. Как упоминалось выше, в системе наблюдаются эффекты, связанные со столкновением звездных ветров О-звезд (Рау и Вре [10], Линдер и др. [11], Казорола и др. [15]). В этих работах на основе детальных спектроскопических наблюдений изучена зона столкновения звездных ветров и вопросы образования эмиссионных линий в этой зоне. При моделировании процессов столкновения ветров авторы задавали параметры ветра, характерные для горячих Об-7 звезд [10].

Наличие звездного ветра в двойных системах может приводить к дополнительному поглощению излучения звезд и влиять на кривые блеска, что необходимо учитывать для систем определенных типов. Недавно Антохиной и др. [25,26] был предложен алгоритм и компьютерный код для

вычисления кривых блеска двойных систем, в которых вокруг одной из звезд имеется протяженная атмосфера (звездный ветер). Это могут быть системы со звездами Вольфа-Райе, а также с О-звездами. Для вычисления теоретических кривых блеска тесная двойная система рассматривалась в модели Роша, для скорости звездного ветра использовался общепринятый в теории звездных ветров β -закон. Чтобы учесть поглощение в протяженной расширяющейся атмосфере, необходимо задать следующие входные параметры, характеризующие звездный ветер: показатель степени β в законе скорости, скорость потери вещества звездой $\dot{M}$, скорость звездного ветра на бесконечности V_∞ . Также необходимо задать коэффициент, определяющий химсостав оболочки (например, водородная или гелиевая).

Многочисленные модельные расчеты [25,26] в рамках выбранного приближения показали сильную зависимость формы кривых блеска от параметров звездного ветра. Глубина и ширина минимумов кривой блеска может сильно увеличиваться по сравнению с моделью без учета ветра. Наиболее актуален учет звездного ветра для систем, в которые входят звезды Вольфа-Райе с сильным истечением вещества $\dot{M} \sim 10^{-4} - 10^{-5} M_\odot/\text{год}$, но и для О-звезд с темпом потери массы $\dot{M} \sim 5 \cdot 10^{-6} M_\odot/\text{год}$ эффект также может быть заметен.

В случае кривых блеска двойной системы V729 Cyg учет поглощения в звездном ветре может привести к тому, что найденные радиусы компонентов могут уменьшиться, и таким образом, контактная конфигурация станет более предпочтительней, чем сверхконтактная. Учет поглощения в звездном ветре приведет также к тому, что температуры звезд должны несколько увеличиться (степень увеличения зависит от плотности поглощающего вещества, т.е. от параметров ветра). Для вторичного компонента увеличение может быть более существенным, так как согласно [10] темп потери массы вторичным компонентом выше, а скорость звездного ветра ниже, чем у главного компонента, т.е. ветер более плотный. Таким образом, учет поглощения в звездном ветре может внести коррекции в параметры двойной системы. Следует заметить, что, поскольку параметры звездного ветра в V729 Cyg не определены с достаточной точностью, то моделирование кривых блеска с учетом эффекта поглощения в ветре - отдельная объемная задача. Но возможно заранее сказать о качественных результатах - радиусы звезд несколько уменьшатся, а температуры увеличатся.

При решении UBV-кривых блеска мы не учитывали возможное влияние "третьего света". Подробное исследование этого вопроса уже было выполнено Казорола и др. [15], которые показали, что, как и можно было заранее предположить, учет "третьего света" влияет, главным образом, на значение наклона орбиты, которое увеличилось с $i = 64^\circ$ до $i = 72^\circ$ при изменении вклада "третьего света" от 0 до 30%. Такое изменение наклона орбиты

в итоге приводит к небольшому уменьшению абсолютных значений масс и радиусов. С другой стороны, небольшое увеличение фактора заполнения полости Роша радиусы немного увеличивает. Таким образом, можно заключить, что учет "третьего света" не приводит к существенному изменению параметров двойной системы.

В заключение заметим, что до сих пор все исследователи для решения кривых блеска V729 Суг применяли стандартную модель Роша. В то время, как в контактной системе, в которой происходят процессы перетекания вещества, один из компонентов может быть звездой, окруженной оптически и геометрически толстым диском. Этот вопрос обсуждался в работе [27] при анализе кривых блеска массивной системы UW СМа. Модель с геометрически толстым диском применялась для анализа кривых блеска массивных систем различными авторами. Так, Антохина и Черепашук [28] и Антохина и Кумсиашвили [29] применяли модель со сфероидальным диском для анализа кривых блеска массивной взаимодействующей двойной системы RY Sct, которая предположительно находится на стадии превращения в двойную систему WR+OB. Другая модель со сферическим вторичным компонентом, окруженным диском, была применена Джурашевичем и др. [30,31] для анализа кривых блеска RY Sct [30] и V448 Суг [31]. Перечисленные массивные системы имеют кривые блеска, похожие на кривые блеска контактных систем. Таким образом, в дальнейшем можно рассмотреть вопрос о возможности применения модели с диском для анализа наблюдений V729 Суг, если появятся аргументы в пользу такой модели.

5. Заключение. Мы выполнили анализ новых фотометрических *UBV*-кривых блеска затменно-двойной системы V729 Суг, расположенной в звездной ассоциации Суг OB2. Наблюдения были получены в Абастуманской астрофизической обсерватории в 1983-2003 гг. [16] в соответствии с программой исследования объектов ранних спектральных типов. Система V729 Суг является спектроскопической двойной и состоит из ранних звезд Of-типа. Ранее были сделаны предположения, что двойная система находится на эволюционной стадии превращения в систему WR+O [6,10]. Анализ кривых блеска был выполнен методом синтеза в рамках модели Роша с использованием собственного компьютерного кода [18-20]. Отношение масс было принято равным $q = M_1/M_2 = 3.31$ согласно данным работы [10]. Из результатов анализа кривых блеска следует, что двойная система имеет контактную конфигурацию, а наклонение орбиты системы составляет около 66 град. На основе полученного фотометрического решения сделаны оценки абсолютных параметров двойной системы.

Э.А.Антохина благодарит за поддержку работы грантом Российского фонда фундаментальных исследований 14-02-00825 и грантом Программы

государственной поддержки ведущих научных школ России НШ-1675.2014.2.

¹ Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Российская Федерация, e-mail: elant@sai.msu.ru

² Абастуманская астрофизическая обсерватория им. Е.К.Харадзе, Государственный университет им.Илии, Грузия, e-mail: mzia.kumsiashvili@iliauni.edu.ge ketevan.chargeishvili@iliauni.edu.ge

ANALYSIS OF UBV PHOTOELECTRIC OBSERVATIONS OF EARLY TYPE MASSIVE BINARY SYSTEM V729 Cyg (Cyg OB2 №5)

E.A.ANTOKHINA¹, M.I.KUMSIASHVILI², K.B.CHARGEISHVILI²

We carried out an analysis of the photometric light curves of UBV-massive eclipsing binary system V729 Cyg, situated in a stellar association Cyg OB2. The observations were obtained in the Abastumani Astrophysical Observatory in 1983-2003 under the early-type binaries research program. The system V729 Cyg is a spectroscopic binary and consists of Of stars. In the system effects that are related to the collision of stellar winds are observed. Previously, various researchers made the assumption that the binary system is an evolutionary step in the transformation to the system WR+O. Analysis of the light curves was made by synthesis method in the Roche model using their own computer code, similar to the well-known code of Wilson-Devinney. According to the analysis, we can conclude that the system has a contact configuration and the orbital inclination of about 66 degrees. The estimations of the absolute parameters of components are as follows: $M_1 = 30.4 M_{\odot}$, $M_2 = 9.2 M_{\odot}$, $R_1 = 24.6 R_{\odot}$, $R_2 = 13.8 R_{\odot}$.

Key words: *binary system V729 Cyg: UBV-observations*

ЛИТЕРАТУРА

1. P.Massey, A.B.Thompson, Astron. J., **101**, 1408, 1991.
2. O.C.Wilson, Publ. Astron. Soc. Pacif., **69**, 385, 1948.
3. O.C.Wilson, A.Abt, Astrophys. J., **114**, 477, 1951.

4. *G.R.Miczaika*, Publ. Astron. Soc. Pacif., **65**, 141, 1953.
5. *D.S.Hall*, Acta Astron., **24**, 69, 1974.
6. *B.Bohannan*, *P.S.Conti*, Astrophys. J., **204**, 797, 1976.
7. *K.C.Leung*, *D.P.Schneider*, Astrophys. J., **222**, 924, 1978.
8. *R.E.Wilson*, *E.J.Devinney*, Astrophys. J., **166**, 605, 1971.
9. *J.M.Vreux*, Astron. Astrophys., **143**, 209, 1985.
10. *G.Rauw*, *J.M.Vreux*, *B.Bohannan*, Astrophys. J., **517**, 416, 1999.
11. *N.Linder*, *G.Rauw*, *J.Manfroid et al.*, Astron. Astrophys., **495**, 231, 2009.
12. *M.Kennedy*, *S.M.Dougherty*, *A.Fink*, Astrophys. J., **709**, 632, 2010.
13. *B.Yasarsoy*, *K.Yakut*, New Astronomy, **31**, 32, 2014.
14. *A.Prša*, *T.Zwitter*, Astrophys. J., **628**, 426, 2005.
15. *C.Cazorola*, *Y.Naze*, *G.Rauw*, Astron. Astrophys., **561**, A92, 2014.
16. *M.I.Kumsiashvili et al.*, Astrophysics, **55**, 193, 2012.
17. *R.E.Wilson*, Astrophys. J., **234**, 1034, 1979.
18. *E.A.Antokhina*, Sov. Astron., **32**, 608, 1988.
19. *E.A.Antokhina*, Astron. Reports, **40**, 483, 1996.
20. *E.A.Antokhina*, *A.F.J.Moffat*, *I.I.Antokhin et al.*, Astrophys. J., **529**, 463, 2000.
21. *J.Diaz-Cordoves*, *A.Claret*, *A.Gimenez*, Astron. Astrophys. Suppl. Ser., **110**, 329, 1995.
22. *W. van Hamme*, Astron. J., **106**, 2096, 1993.
23. *D.M.Himmelblau*, Applied Nonlinear Programming (New York: McGraw-Hill), 1971.
24. *J.Kallrath*, *A.P.Linnell*, Astrophys. J., **313**, 346, 1987.
25. *E.A.Antokhina*, *I.I.Antokhin*, *A.M.Cherepaschuk*, Astron. Astrophys. Transactions, **28**, 3, 2013.
26. *E.A.Antokhina*, *I.I.Antokhin*, *A.M.Cherepaschuk*, Bull. Crimean Astrophys. Obs., **109**, 54, 2013.
27. *E.A.Antokhina*, *M.Srinivasa Rao*, *M.Parthasarathy*, New Astronomy, **16**, 177, 2011.
28. *E.A.Antokhina*, *A.M.Cherepaschuk*, Sov. Astron. Lett., **14**, 105, 1987.
29. *E.A.Antokhina*, *M.I.Kumsiashvili*, Astron. Lett., **25**, 662, 1999.
30. *G.Djurašević*, *I.Vince*, *O.Atanackovic*, Astron. J., **136**, 767, 2008.
31. *G.Djurašević*, *I.Vince*, *T.S.Khruzina et al.*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **396**, 1553, 2009.