

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЗАТМЕННЫХ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД GSC 4277 0586 = V0898 Сер И GSC 4481 0230 = V0922 Сер С ЭКСЦЕНТРИЧНЫМИ ОРБИТАМИ

В.С.КОЗЫРЕВА¹, А.В.КУСАКИН²

Поступила 13 октября 2015

Принята к печати 16 декабря 2015

В 2010-2011 гг. были получены высокоточные ПЗС-наблюдения новых затменных звезд GSC 4277 0586, GSC 4481 0230 и проведен анализ кривых блеска. Вычислены фотометрические элементы. Сравнение углов долготы периастра в разные эпохи наблюдений показало, что у системы GSC 4277 0586, возможно, есть отрицательное вращение линии апсид: $\omega_{ob} = -0.8 \pm 0.5^\circ/\text{год}$. Результат основан на небольшой разнице в эпохах наблюдений, поэтому носит предварительный характер. Движение орбиты довольно быстрое, поэтому для проверки этого результата достаточно получить новые кривые блеска и посчитать новое значение долготы периастра. Анализ кривой блеска двойной системы GSC 4481 0230 показал, что значение долготы периастра орбиты очень близко к 360° . Ожидаемое теоретическое значение для этой системы составляет: $\omega_{ob} < 0.2^\circ/\text{год}$. Для надежного определения скорости вращения орбиты у этой звезды перерыв в наблюдениях должен быть не менее нескольких десятилетий.

Ключевые слова: *затменные переменные звезды; фотометрические элементы; вращение линии апсид*

1. Введение. Изучение вращения линии апсид (большой полуоси орбиты) в затменных переменных системах является источником информации для проверки теоретических эволюционных моделей внутренней концентрации вещества к центру звезд различных спектральных классов и классов светимости, а также проверки ОТО.

Кроме того, исследования затменных двойных звезд с эллиптическими орбитами дает возможность проверки теории циркуляризации и синхронизации орбит звезд-компонентов. Еще одним поводом изучения изменения положения орбиты этих звезд в пространстве является поиск других тел в двойных системах.

Для получения этой информации необходимы высокоточные кривые блеска, полученные в разные эпохи наблюдений.

В этой статье мы представляем новые фотометрические наблюдения двух переменных звезд с эксцентрическими орбитами GSC 4277 0586 = V 0898 Сер и GSC 4481 0230 = V 0922 Сер.

Обе звезды были открыты как затменные переменные системы более

10 лет назад на основе анализа данных NSVS-обзора переменных звезд северного неба [1] и входят в список "50 новых затменных звезд с эллиптическими орбитами, найденными в базе данных ASAS, Hipparcos и NSVS" [2]. В последние годы нами опубликован ряд работ [3-5], в которых несколько звезд из этого списка были исследованы. У одной из звезд, GSC 3152 1202, было обнаружено вращение линии апсид, подтвержденное в 2015г. [6].

Наблюдения звезд GSC 4277 0586 и GSC 4481 0230, исследуемых в данной работе, были проведены на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории на телескопе системы Риче-Кретьен -350 с ПЗС матрицей ST-402 в 2010 и 2011гг.

Для поиска фотометрических параметров и элементов орбиты разделенной двойной системы нами использовалась модель двух сферических звезд с линейным законом потемнения к краю, движущихся вокруг общего центра по эллиптическим орбитам. Именно к таким системам принадлежат исследуемые нами звезды.

В минимизирующий функционал входит сумма квадратов разности наблюдаемой и теоретической звездных величин в каждой точке, включая простые и линейные ограничения на искомые параметры. В программе вычисления фотометрических параметров [7] в качестве алгоритма применяется квазиньютоновский метод с аналитическими вычислениями производных функционала.

Влияние коэффициентов потемнения к краю, u_1 и u_2 , на блеск системы проявляется на участках кривой блеска, непосредственно прилегающих к точкам касания дисков звезд. Опыт вычисления элементов показал, что из-за слабого влияния этих параметров на кривую блеска, их достоверное определение возможно только из наблюдений, полученных с высокой точностью ($\sigma_{0.05} \leq 0^m.005$) и обладающих необходимой полнотой в указанных участках кривой блеска. Точность кривых блеска исследуемой системы ниже этой величины, поэтому мы не варьировали коэффициенты потемнения, а фиксировали их в соответствии с принятыми нами спектральными классами звезд-компонентов, используя теоретические значения [8].

Получение ошибок элементов основано на процедуре многократного наложения на кривую блеска "белого шума", характеристики которого определялись полученной невязкой между наблюдаемой и теоретической кривой блеска и последующего вычисления элементов для всего полученного множества кривых блеска. Эта процедура описана нами в работе [7].

2. *Наблюдения и анализ GSC 4277 0586 = V0898 Cep.* Звезда GSC 4277 0586 (TUC 4277-586-1, 2MASSJ22380235+6727583, UCNOA2.0 1500-09201191 $\alpha_{2000} = 22^h38^m02^s.35$, $\delta_{2000} = +67^\circ27'58''.5$, $P = 2^d.874745$,

$V=11^m.66$).

Наши наблюдения были получены на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории в августе 2010г. Наблюдения проводились в фильтре V .

В качестве звезд сравнения при обработке кадров ПЗС-матрицы использовались звезды:

$S1=TC\ 4277-656-1$ ($\alpha_{2000}=22^h37^m41^s.6$, $\delta_{2000}=+67^\circ27'21''.9$, $V=10^m.99$)

и

$S2=TC\ 4277-308-1$ ($\alpha_{2000}=22^h37^m10^s.8$, $\delta_{2000}=+67^\circ27'40''.8$, $V=11^m.45$).

В пределах точности наблюдений ($0^m.01$) переменности блеска этих звезд обнаружено не было.

Фотометрические элементы вычислялись с фиксированными теоретическими коэффициентами потемнения к краю звезд-компонентов [8]. Спектральных наблюдений у звезды нет, но есть оценка спектрального класса звезды: $G0\ V$ [9].

Для вычисления коэффициентов потемнения к краю мы воспользовались оценкой температуры звезд-компонентов: $T_1=5895\ K$, $T_2=5832\ K$ [6].

Глубина минимумов кривых блеска, полученная нами (рис.1), довольно сильно отличается от глубины минимумов, приведенных в работе [6] (рис.1, фильтр V). В этой работе глубина главного и вторичного минимумов в фильтре V составляет: $MinI=0^m.36\pm0.01$, $MinII=0^m.34\pm0.01$, а в наших наблюдениях глубины минимумов у звезды равны: $MinI=0^m.47\pm0.01$, $MinII=0^m.45\pm0.01$ (рис.1). Возможно, на изображение звезды в работе Булут и Булут [6] накладывается какой-либо дополнительный свет, но в

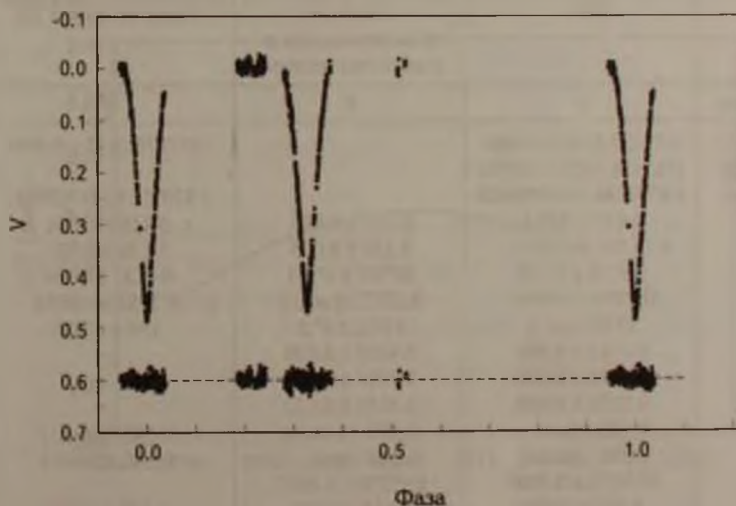


Рис.1. Кривая блеска GSC 4277 0586 в фильтре V , полученная в 2010г., величина (O-C), со сдвигом на $0^m.6$ относительно "0" дана для элементов табл.1 (2 столбца).

этом случае в фотометрическом решении элемент L_3 - "третий свет" не может быть равным "0".

Кривые блеска этой звезды в данном случае получены с помощью компиляции из наблюдений, проводимых в течение двух лет (с 2011 по 2013 гг., JD2455871-JD2456607). Наши наблюдения, входящие в кривую, были проведены в течение двух ночей 2010 г., расположенных рядом (JD2455437, JD2455438), что уменьшает вероятность систематических ошибок.

Во второй колонке табл.1 приведены фотометрические элементы этой звезды, вычисленные нами из кривых блеска, полученных в 2010 г. Как уже упоминалось, коэффициенты покраснения к краю звезд не варьировались и оставались постоянными во время вычислений.

На рис.1 даны кривые блеска системы и разность между наблюдаемыми и вычисленными значениями (O-C) в каждой точке. Никаких систематических отклонений (O-C) не наблюдается и это свидетельствует в пользу того, что решение проведено корректно.

В четвертой колонке табл.1 мы привели фотометрические элементы, опубликованные в работе [6]. Сравнение наших решений показывает, что

Таблица 1

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ GSC 4277 0586, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ 2010 г. В ФИЛЬТРЕ V

Элементы	Наши наблюдения 2010 г.	Наши наблюдения 2010 г. с фиксированным эксцентриситетом	Наблюдения и анализ Булут и Булут [6]
Фильтры	V	V	V
T_1 [JDH]	2455437.2944 ± 0.0003		2455874.2632 ± 0.0004
T_2 [JDH]	2455438.2353 ± 0.0003		
P [днях]	2.8747744 ± 0.0000020		2.8747515 ± 0.0000012
r_1	0.157 ± 0.005	0.155 ± 0.005	0.166 ± 0.001
r_2	0.147 ± 0.005	0.150 ± 0.005	0.136 ± 0.001
i	88°.14 ± 0°.10	88°.07 ± 0°.10	84°.32 ± 0°.04
e	0.2750 ± 0.0005	0.2753 (фикс.)	0.2753 ± 0.0003
ω	177.0 ± 0°.5	176.1 ± 0°.5	174.4 ± 0°.5
L_1	0.4163 ± 0.020	0.4050 ± 0.020	-
L_2	0.3601 ± 0.020	0.3707 ± 0.020	-
L_3	0.2235 ± 0.020	0.2243 ± 0.020	-
u_1	0.585 (фикс.)	0.585 (фикс.)	0.585 (фикс.)
u_2	0.586 (фикс.)	0.586 (фикс.)	0.586 (фикс.)
$\phi_{ }$	0°.3273 ± 0.0007	0°.3270 ± 0.0007	
L_2/L_1	0.865 ± 0.010	0.915 ± 0.050	0.639 ± 0.038
J_2/J_1	0.98 ± 0.02	0.98 ± 0.04	
$\sigma_{0.5}$	0.0083	0.0083	0.012

в наборах фотометрических элементов довольно сильно отличаются радиусы, светимости звезд и наклонение орбиты, а вот эксцентриситет орбиты совпадает с точностью до ошибок величины. Чтобы оценить разность долготы периастра для двух эпох, было проведено еще одно вычисление фотометрических параметров, но уже с фиксированным значением эксцентриситета (третья колонка в табл.1), равным значению эксцентриситета из работы Булут и Булут [6]. Все остальные параметры, за исключением коэффициентов покраснения к краю, находились в свободном поиске. Никакой систематики (О-С) от времени для этого решения тоже нет.

Сравнение углов долготы периастра для двух эпох показало неожиданный результат: скорость долготы периастра получилась отрицательной: ($\dot{\omega}_{\text{абс}} = -0.8 \pm 0.5^\circ/\text{год}$).

Чем больше разность между эпохами, для которых проводится сравнение величин долготы периастра, тем точнее получается скорость вращения орбиты. Между нашими наблюдениями прошло всего лишь $\Delta t \sim 2$ года, поэтому полученный результат мы считаем только предварительным к дальнейшему поиску вращения орбиты.

В нашем решении присутствует "третий свет" $L_3 = 0.224$ (табл.1), эта светимость соответствует звезде, которая слабее на $\sim 1^m.3$, чем сама переменная. В ближайшей окрестности такого яркого объекта не обнаружено. По-видимому, этот объект находится на луче зрения с нашей переменной и является звездой поля, либо эта звезда принадлежит системе.

Отношение поверхностных яркостей, полученных на основе фотометрических элементов из табл.1, можно использовать для вычисления

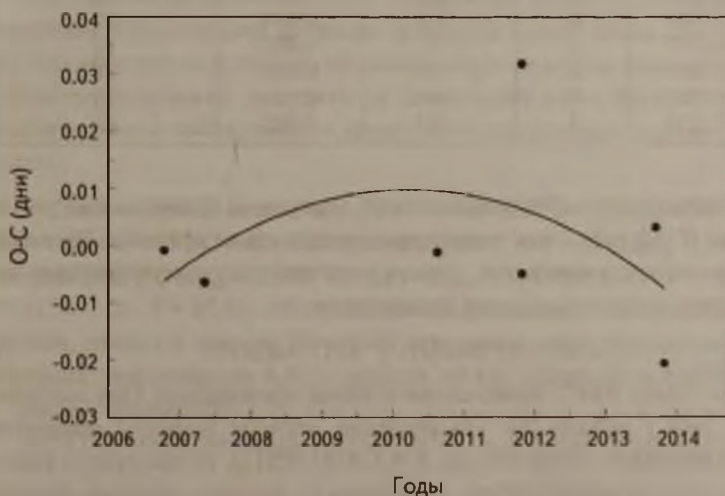


Рис.2. Разность О-С (наблюдаемых и вычисленных) моментов главных минимумов GSC 42770586 (табл.2).

отношения эффективной температуры компонентов.

Если принять, что температура главной звезды $T_1 = 5895 \text{ K}$, то температура вторичной компоненты получается равной $T_2 = 5856 \text{ K} \pm 20 \text{ K}$, что хорошо согласуется с первоначальной оценкой температуры, принятой в работе [6].

Найти вращение линии апсид, используя только моменты минимумов, в настоящее время невозможно, так как для этой системы имеется только 7 главных и 3 вторичных момента минимумов (табл.2). Величину (О-С) для главных минимумов (рис.2) в зависимости от эпохи наблюдений можно представить частью синусоиды. Такие изменения периода можно было бы рассматривать как свидетельство того, что вращение линии апсид в системе есть, но всего трех моментов вторичного минимума недостаточно для поиска скорости этим способом. Для использования этого метода нужно получать и накапливать моменты минимумов на протяжении нескольких лет.

Таблица 2

ГЕЛИОЦЕНТРИЧЕСКИЕ МОМЕНТЫ МИНИМУМОВ ГЛАВНОГО
(I) И ВТОРИЧНОГО (II) МИНИМУМОВ GSC 4277 0586

HJD2400000	MIN	Эпоха	О-С'	Литература
54034.4045	I	- 641	-0.0001	[14]
54241.3877	I	- 569	-0.0006	[14]
55437.2944	I	- 153	-0.0001	данная работа
55438.2352	II	- 152.5	-0.0001	данная работа
55871.3886	I	- 2.0	0.0032	[6]
55872.3265	II	- 1.5	0.0003	[6]
55874.2597	I	- 1	-0.0005	[6]
56561.3316	I	238	0.0003	[6]
56605.3907	II	254.5	-0.0031	[6]
56607.3256	I	254	-0.0021	[6]

Для вычисления эфемерид главного минимума будем рассматривать величины (О-С) табл.2 как линейную зависимость от времени. Применяя метод наименьших квадратов, можно получить следующую формулу для вычисления моментов главных минимумов:

$$C_1^I = 2455437.2944(4) + 2^d.8747744(20) \cdot E. \quad (1)$$

В табл.2 даны (О-С), вычисленные с этими эфемеридами. Они совпадают с (О-С) табл.7 работы [6]. Но значение периода главного минимума, который приведен в этой работе: $P_1 = 2^d.8747515(12)$, вычисленный тем же методом, что и в нашей работе, отличается от значения периода, который получается у нас. Полное совпадение (О-С) было бы невозможно при такой значительной разнице периодов.

Моменты соединений для вторичных минимумов (T_2) вычислены с помощью известного соотношения [10] с элементами, полученными при фотометрическом решении:

$$T_2 = T_1 + \frac{P}{2} + \frac{2Pe\cos\omega}{\pi} - \frac{2Pe^3(1+3\sqrt{1-e^2})}{3\pi(1+\sqrt{1-e^2})^3} \cos 3\omega + \dots \quad (2)$$

Для вычисления моментов вторичного минимума у этой звезды можно воспользоваться эфемеридами:

$$C_2^1 = 2455438.2353(8) + 2^d.8747744(20) \text{ Е.} \quad (3)$$

Отрицательное вращение линии апсид в системе нуждается в тщательной проверке, поэтому мы считаем, что учитывать эту величину в формулах вычисления моментов минимумов пока рано.

Используя полученные фотометрические элементы, соотношение между спектральными классами, эффективными температурами и массами звезд [11], а также теоретический параметр внутреннего строения звезд [12], можно оценить величину ожидаемого периода вращения линии апсид. Он получается в пределах $100 \div 200$ лет. Подчеркнем, что в данном случае мы только оцениваем порядок величины ожидаемого периода вращения орбиты. Как только будет надежно определена скорость вращения орбиты, для сравнения с теоретическими моделями придется воспользоваться более современными работами по соотношению между массой и светимостью звезды (например, [13]).

Эта система является хорошим кандидатом в группу двойных звезд с надежным определением скорости вращения линии апсид. Подтвердить или опровергнуть полученную величину скорости можно довольно быстро, в течение нескольких лет, поэтому желательно уже в ближайшее время получить новые наблюдения и новые фотометрические параметры этой звезды.

3. *Наблюдения и анализ GSC 4481 0230 = V0922 Сер.* Звезда GSC 4481 0230 (TYC 4481-230-1, 2MASSJ23013841+6942460, USNO-A2.0 1500-09201191, $\alpha_{2000} = 23^h01^m39^s.22$, $\delta_{2000} = +69^\circ42'45''.1$, $P = 3^d.57494$, $V = 11^m.42$, $B - V = 0^m.35$, $J = 10.58$, $H = 10.44$) также, как и предыдущая система, входит в список "50 новых затменных звезд с эллиптическими орбитами, найденными в базе данных ASAS, Hipparcos и NSVS" [2].

Звезды сравнения:

S1=TYC 4481 1352 ($\alpha_{2000} = 23^h01^m55^s.1$, $\delta_{2000} = +69^\circ54'18''.9$, $V = 10^m.99$)

и

S2=TYC 4481 2961 ($\alpha_{2000} = 23^h02^m31^s.5$, $\delta_{2000} = +69^\circ44'14''.7$, $V = 12^m.00$).

Переменности во время наблюдений у звезд сравнения в пределах

точности наблюдений ($0^m.01$) выявлено не было.

Кривая блеска звезды получена нами в 2011г. на Тянь-Шаньской астрономической обсерватории, оба минимума следуют друг за другом (наблюдения JD 2455807 и JD 2455809). К сожалению, разрешения нашего телескопа не позволило разделить в кадре, полученном на матрице, изображение переменной звезды и двух соседних звезд. Ближайшая из них звезда, 2 MASS 23013841+6942460 ($J=13.589$, $H=13.261$, $K=11.412$) находится на расстоянии $4''.4$, вторая звезда, 2MASS23013769+6942524 ($J=11.855$, $K=11.558$) находится на расстоянии $11''.4$. Обе звезды вносят свой вклад, одинаковый во всех фазах кривой блеска переменной звезды, и входят в фотометрические элементы как L_3 - "третий свет" в системе.

Оценка спектрального класса GSC 4481 0230: F5 IV[9].

Глубины обоих минимумов в этой системе равны: $\text{MinI} = 0^m.40 \pm 0.01$, $\text{MinII} = 0^m.40 \pm 0.01$ (рис.3). Это дает нам основание считать в первом приближении, что компоненты в системе - похожие по своим параметрам звезды. Фотометрические элементы вычислялись с фиксированными теоретическими коэффициентами потемнения к краю компонентов [8], взятыми из таблиц соотношения температуры звезды и ее спектрального класса F5IV [11].

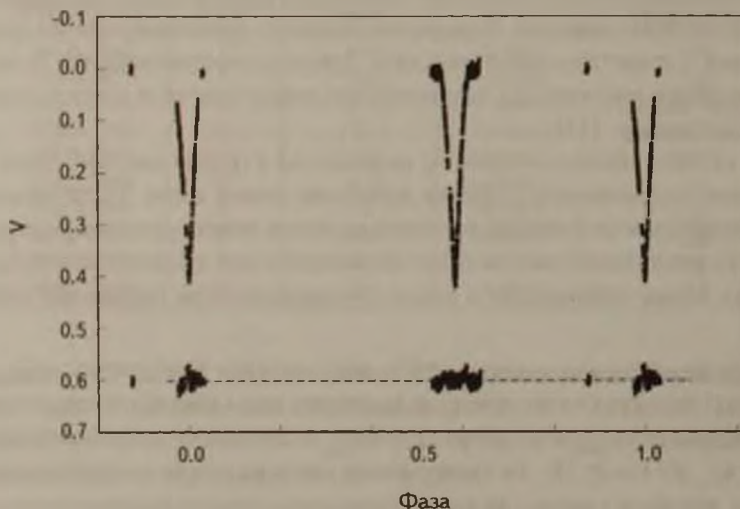


Рис.3. Кривая блеска GSC 44810230 в фильтре R, полученная в 2011г., величина (O-C), со сдвигом на $0^m.6$ относительно "0" дана для элементов табл.3.

В табл.3 показаны фотометрические элементы и параметры орбиты звезды GSC 4481 0230.

На рис.3 даны кривые блеска системы и разность между наблюдаемыми

Таблица 3

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ GSC 4481 0230,
ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ
ИЗМЕРЕНИЙ 2011г. В ФИЛЬТРЕ R

Элементы		Элементы	
Фильтры	R		R
r_1	0.100 ± 0.005	L_2	0.374 ± 0.020
r_2	0.097 ± 0.005	u_1	0.428 (фикс.)
i	$89^\circ.6 \pm 0^\circ.2$	u_2	0.428 (фикс.)
e	0.1329 ± 0.0005	ϕ	$0^\circ 5846 \pm 0.0005$
ω	$360^\circ.0 \pm 1^\circ.0$	L_2/L_1	0.98 ± 0.02
L_1	0.316 ± 0.025	J_2/J_1	0.96 ± 0.03
L_2	0.310 ± 0.025	$\sigma_{O.C}$	$0^m.007$

и вычисленными значениями (О-С) в каждой точке. Никаких систематических отклонений не наблюдается.

Параметры обоих компонентов таковы, что отношение радиусов, светимостей и поверхностной яркости звезд очень близки к 1. Вариация коэффициентов потемнения к краю в пределах соседних спектральных классов не изменила соотношения фотометрических радиусов и светимостей компонентов, полученных при вычислении, более чем в пределах ошибок величины. Можно сказать наверняка, что в системе вращаются две очень похожие звезды.

Долгота периастра орбиты очень близка к 360° , орбита расположена на максимальной фазе отклонения по отношению к фазе $0^\circ.5$: $\phi_{||} = 0^\circ 5846$. Эта фаза вторичного минимума практически совпадает с той, которая приведена в предыдущей работе [2]. Таким образом, с момента открытия звезды и до настоящего времени смещение орбиты у этой системы пока не выявлено. Оценка теоретической скорости вращения орбиты у этой звезды, вычисленная аналогично теоретической скорости вращения орбиты GSC 4277 0586 в предыдущем разделе, соответствует апсидальному периоду: $P_a = 1800 \pm 2000$ лет.

Скорость изменения фазы вторичного минимума является производной косинусу угла долготы периастра. Орбита в настоящее время расположена так, что угол долготы периастра близок к значению 360° , вычисление угла в этой точке имеет наибольшие ошибки на протяжении всей орбиты.

Для того, чтобы надежно обнаружить вращение линии апсид у этой звезды придется ждать еще несколько десятков лет.

Наши наблюдения проводились в фильтре R. Никакой информации относительно величины звезд (переменной и двух соседних) в этом

фильтре нет. Но объяснить L_3 , "третий свет" в системе, равный 0.374 от общей светимости L (табл.3) как сумму светимостей двух соседних звезд можно, поскольку есть информация об этих звездах в соседнем с R фильтре J . Переменная GSC 4481 0230 имеет в этом фильтре величину $J=10^m.58$, звезда 2 MASS23013841+6942460 - величину $J=13^m.59$ и звезда 2 MASS23013769+6942524 - величину $J=11^m.86$. Видимо, именно эта звезда и дает основной вклад L_3 в фильтре R .

Момент главного минимума звезды GSC 4481 0230 вычислялся в программе одновременно с остальными фотометрическими элементами. На основании эфемерид работы [2] и момента главного минимума наших наблюдений, получаются новые эфемериды для вычисления главных минимумов:

$$C_1^I = 2455807.1987(2) + 3^d.574973(2) \cdot E. \quad (4)$$

Моменты вторичных минимумов вычисляются, используя формулу (2), параметры для вычислений взяты из табл.3:

$$C_2^I = 2455809.2886(2) + 3^d.574973(2) \cdot E. \quad (5)$$

4. *Заключение.* Обе звезды, рассмотренные в этой статье, являются двойными системами, эксцентричные орбиты которых должны вращаться в плоскости движения звезд-компонентов. Наиболее перспективной, с точки зрения быстрого определения скорости вращения орбиты, является система GSC 4487 0347. Она имеет сравнительно небольшой орбитальный период, что позволяет часто наблюдать кривые блеска внутри обоих минимумов. Если получить кривую блеска и найти фотометрические элементы, то, сравнив их с элементами, полученными для двух предыдущих эпох, можно определить довольно точно скорость вращения, и тем самым подтвердить или опровергнуть наш результат об обратном вращении орбиты.

Для другой системы, GSC 4481 0230, ждать быстрого результата, к сожалению, не приходится, поэтому наблюдения этой системы, с точки зрения поиска вращения орбиты, могут быть отложены на довольно продолжительное время.

Авторы выражают свою признательность А.И.Захарову за участие в обсуждении результатов работы, а также рецензенту статьи за очень полезные замечания.

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

² Национальное космическое агентство, Казахстан, Астрономический институт им. В.Г.Фесенкова, Алматы, Казахстан, e-mail: un7gbd@gmail.com

ECLIPSING BINARY SYSTEM WITH AN ECCENTRIC ORBIT GSC 4277 0586 and GSC 4481 0230 = V0922 Cep

V.S.KOZYREVA¹, A.V.KUSAKIN²

The eclipsing variables and GSC 4277 0586 are recently discovered eclipsing binary systems. In 2010-2011 we have made high-precision CCD observations of them and obtained the light curves. The photometric parameters have been received. Our investigation of the longitude periastron obtained in different epochs of observations have showed that the system GSC 4277 0586 possible has a negative apsidal motion: $\omega_{obs} = -0.8 \pm 0.5^\circ/\text{year}$. The movement of the orbit is quite fast, our result can be checked in the near future. The analysis of the light curve of a binary system GSC 4481 0230 gives the value of longitude periastronis about 360° . The expected theoretical value is: $\omega_{th} \leq 0.2^\circ/\text{year}$. At least some decades is required of a reliable determination of its orbital movement.

Key words: *eclipsing variable stars: photometric elements: apsidal line rotation*

ЛИТЕРАТУРА

1. P.R.Wozniak, W.T.Vestrand, C.W.Akerlof et al., Northern Sky Variability Survey: Public Data Release, Astron. J., 27, 2436, 2004.
2. S.A.Otero, R.Wils, G.Hoogeveen, P.A.Dubovsky, Inf. Bul. Var. Stars, 5681, 1, 2006.
3. V.S.Kozyreva, A.V.Kusakin, L.A.Bagaev, Inf. Bul. Var. Stars, 5909, 2009.
4. V.S.Kozyreva, A.V.Kusakin, T.Krajci, J.Menke, G.V.Komissarova, Astrophysics, 56, 19, 2013.
5. V.S.Kozyreva, A.V.Kusakin, Astrophysics, 57, 221, 2014.
6. I.Bulut, A.Bulut, Astron. Astrophys., 65, 127, 2015.
7. V.S.Kozyreva, A.I.Zakharov, Astron. Lett., 32, 313, 2001.
8. W. van Hamme, Astron. J., 106, 2096, 1993.
9. A.Pickles, E.Depagne, Publ. Astron. Soc. Pacif., 122, 1437, 2010.
10. Z.Kopal, Dynamics of Close Binary, D.Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, p.201, 1978.
11. В.Страйжис "Звезды с дефицитом металлов", Вильнюс, Мокслас, с.299, 1982.
12. A.Claret, A.Gimenez, Astron. Astrophys., 96, 255, 1992.
13. R.Gafoira, C.Patacas, J.Fernandes, Astrophysics Space Sci., 41, 405, 2012.
14. L.Brat, M.Zejda, P.Svoboda, Open European Journal on Variable Stars, 74, 1, 2007.

