

ЗАТМЕННАЯ ПЕРЕМЕННАЯ СИСТЕМА С
ЭКСЦЕНТРИЧНОЙ ОРБИТОЙ
V1176 Cas = GSC 4513 2537

В.С.КОЗЫРЕВА¹, А.В.КУСАКИН², Т.КРАЙСИ³, Д.МЕНКЕ⁴,
Г.В.КОМИССАРОВА⁵

Поступила 1 ноября 2012

Принята к печати 5 декабря 2012

Затменная-переменная GSC 4513 2537 = V1176 Cas - недавно открытая двойная система. Мы провели высокоточные CCD-наблюдения ее в 2009-2010гг. и получили кривые блеска. Получены фотометрические параметры и элементы орбиты, периоды главного и вторичного минимумов, U , B , V величины. Проведена оценка скорости вращения линии апсид: ($\dot{\omega}_{obs} = 0.08 \pm 0.04^\circ/\text{год}$). Она получилась в 5 раз больше, чем величина, полученная из теоретических расчетов: $\dot{\omega}_{theor} = 0.016 \pm 0.005^\circ/\text{год}$. Большая часть (80%) теоретической скорости вращения орбиты приходится на релятивистскую составляющую. К сожалению, точность величины наблюдаемой скорости вращения орбиты невелика, поэтому для получения более надежного результата требуется повторить исследование через несколько лет.

Ключевые слова: *затменные переменные звезды; фотометрические элементы; вращение линии апсид - объект: V1176 Cas*

1. *Введение.* Звезда V1176 Cas открыта как затменная переменная система несколько лет назад на основе анализа данных ROTSE/1/NSVS - обзора переменных звезд северного неба [1]. Звезда вошла в список "50 новых затменных звезд с эллиптическими орбитами, найденными в базе данных ASAS, Hipparcos и NSVS" [2]. Исследование звезд из этого списка актуально, поскольку может существенно пополнить небольшой ряд двойных звезд с известным вращением линии апсид. Исследования затменных двойных звезд с эллиптическими орбитами необходимы для проверки теории внутреннего строения звезд, теории циркуляризации и синхронизации орбит звезд-компонентов, а также поисков других тел в двойных системах. Этой звезде присвоен номер по каталогу ОКПЗ: V1176 Cas.

2. *UBV-величины и фотометрические элементы.* Величина в фильтре V равна $11^m.26$. Фаза вторичного минимума звезды: $0^s.506$. В статье Отеро и др. [2] фаза вторичного минимума указана как: $0^s.494$, но, как мы убедились из наблюдений, более глубоким, а, следовательно, главным, является минимум, который у предыдущих авторов выступал в качестве вторичного (рис.1). Несмотря на то, что фаза вторичного минимума

близка к фазе $0^{\circ}.5$, орбита не является круговой, так как период звезды более 6 дней, а сдвиг вторичного минимума относительно середины периода равен приблизительно одному часу.

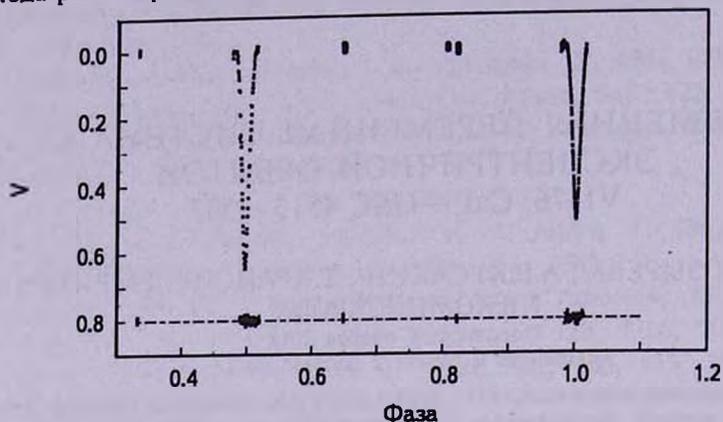


Рис.1. Кривая блеска в фильтре V затменной переменной GSC 4513 2537, величины $O - C$ даны для элементов табл.1, смещены относительно 0 на $0^{\circ}.8$.

Фотометрические наблюдения звезды были получены на двух обсерваториях. На Тянь-Шаньской астрономической обсерватории А.Кусакин и В.Козырева на телескопе системы Ричи-Кретьен -350 с ПЗС матрицей ST-402 получили наблюдения вторичного минимума этой звезды в полосе V в августе 2009г. Наблюдения вне минимумов, а также в главном минимуме в трех полосах B , V , R были сделаны Т.Краузе (Нью Мексико) в декабре 2009г., январе 2010г. Сводная кривая в фильтре V показана на рис.1. В качестве звезд сравнения при обработке кадров использовались близкие по координатам звезды: ТУС 4513-2538-1 и ТУС 4513-2356-1. Каких-либо систематических изменений блеска у этих звезд наши исследования не выявили.

Спектрофотометрические наблюдения для этой звезды были выполнены Д.Менке в Барнесвиле, в 35 милях от Вашингтона, на телескопе системы Ньютона (18 дюймов) с спектрофотометром DSS-7.

К сожалению, полученные спектры имеют низкое разрешение (дисперсия $\geq 7 \text{ \AA}/\text{пик}$), так как получены на телескопе с зеркалом небольшого диаметра. Линии двух компонентов на спектрах не разделяются, линии нескольких элементов сливаются. Методы определения спектральных классов, основанные на отношении полуширины линий в данном случае не применимы, но по этим спектрам все же можно выделить область спектральных классов, к которой принадлежат компоненты.

Имеются спектральные наблюдения звезды вне минимума (рис.2), где присутствуют обе компоненты и наблюдения в главном минимуме (спектр

вторичной компоненты доминирует). Звезда SAO 4834 спектрального класса A0 V использовалась в качестве стандартной звезды сравнения. На рис.2 приведены наблюдаемые спектры стандартной звезды сравнения переменной и спектр переменной после обработки с использованием спектра звезды сравнения. Окончательный спектр звезды приведен в относительных единицах интенсивности. Для его получения были использованы коэффициенты нормировки, полученные делением наблюдаемого

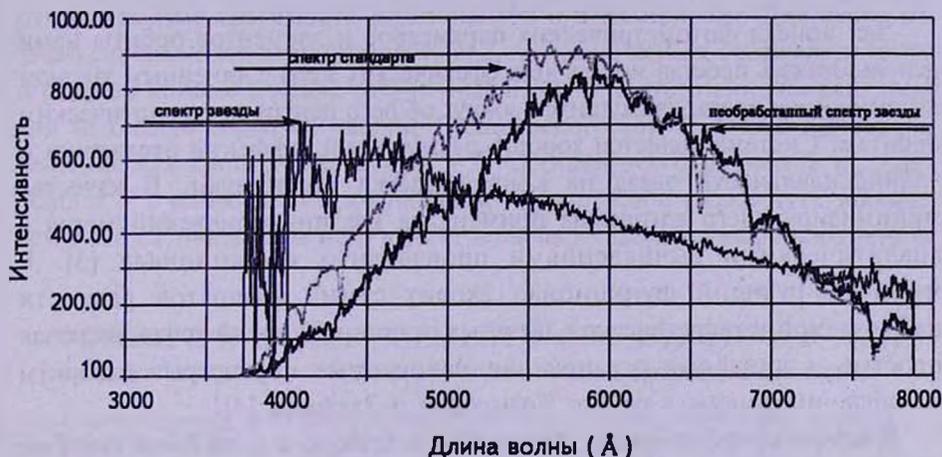


Рис.2. Спектральная кривая GSC 4513 2537 вне минимумов.

спектра звезды сравнения на ее стандартный спектр, взятый из литературы. Теллурические линии из окончательного спектра исключены. Как и на спектре звезды сравнения, бальмеровские линии в спектрах очень широкие, полуширина линии достигает 40 \AA . Наиболее вероятно, что компоненты исследуемой звезды относятся к V-классу светимости. На всех полученных спектрах этой звезды самой выразительной является полоса, куда попадают обе линии магния (P и N с длиной волны 5183 \AA и 5172 \AA) и близко к ним расположенные линии железа. В нашем спектре с его низким разрешением все они сливаются и выглядят как одна линия. Мы сравнили ее по глубине с близко расположенной линией H β , а результат сравнили со стандартными спектрами звезд различных классов. На основании этого был сделан вывод, что спектры звезд - компонентов этой системы попадают в интервал классов звезд от G0V до G6V.

Привязки исследуемой звезды к стандарту HD 22828 в системе *UBV* (табл.1, первая строчка) были сделаны Г.Комиссаровой на Южной наблюдательной станции МГУ на телескопе Цейсс-600 с фотометром, созданным В.М.Лютым. Величины звезд-компонентов (табл.1) были вычислены после получения фотометрических элементов в полосах *B*, *V*, *R* (см.ниже).

Таблица 1

UBV-ВЕЛИЧИНЫ ЗВЕЗД-КОМПОНЕНТОВ GSC 4513 2537

Звезда	V	B	U
GSC 4513 2537	$11^m.26 \pm 0.02$	$12^m.04 \pm 0.03$	$12^m.24 \pm 0.05$
главный компонент	$11^m.79 \pm 0.03$	$12^m.54 \pm 0.04$	-
вторичный компонент	$12^m.30 \pm 0.03$	$13^m.12 \pm 0.04$	-

Для поиска фотометрических параметров и элементов орбиты нами использовалась простая модель двух сферических звезд с линейным законом потемнения к краю, движущихся вокруг общего центра по эллиптическим орбитам. Система является хорошо разделенной, эффекты отражения и эллипсоидальности звезд на кривой блеска отсутствуют. В качестве минимизирующего алгоритма применялся квазиньютоновский метод с аналитическими вычислениями производных функционала [3]. В минимизирующий функционал входит сумма квадратов разности наблюдаемой и теоретической звездных величин в каждой точке, включая простые и линейные ограничения на искомые параметры. Алгоритм вычислений описан в работе Козыревой и Захарова [4].

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 ($\sigma_{\sigma-c} \leq 0^m.005$) и обладающих необходимой полнотой в указанных участках кривой блеска. Точность кривых блеска для исследуемых систем ниже, поэтому мы не варьировали эти параметры, а фиксировали их в соответствие со спектральными классами звезд (G3V-G6V), взяв теоретические значения для u_1 и u_2 [5]. Именно такие спектры звезд-компонентов, как будет показано ниже, получаются из нашего комплексного исследования этой звезды.

Таблица 2

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ GSC 4513 2537 ИЗ АНАЛИЗА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ 2009-2010г. В V

Элемент	Значение	Элемент	Значение
r_1	0.051 ± 0.005	L_1	0.614 ± 0.025
r_2	0.044 ± 0.005	L_2	0.385 ± 0.025
i	$89^{\circ}.4 \pm 0^{\circ}.2$	u_1	0.62(фикс.)
e	0.0145 ± 0.0035	u_2	0.67(фикс.)
ω	$304^{\circ}.3 \pm 0^{\circ}.6$	J_2/J_1	0.467
$\phi_{ }$	$0^{\circ}.5052 \pm 0.0002$	$\sigma_{\sigma-c}$	0.0085

Полная кривая блеска имеется только для полосы V . В табл.2 приведены фотометрические элементы, найденные в свободном поиске всех приведенных параметров, за исключением коэффициентов потемнения к краю. На рис.1 приведена кривая блеска звезды в фильтре V и величина $O-C$ для решения из табл.2.

Так как у этой переменной имеются наблюдения внутри главного минимума еще в полосе B и R , у нас появилась возможность получить относительные светимости компонентов в этих полосах. Для этого мы зафиксировали все элементы из табл.2, за исключением светимости звезд, и решили кривые блеска, полученные в B и R . Потемнение к краю звезд для них было взято из таблиц Рубашевского [6]. В табл.3 приведены решения для кривых блеска B , V и R . Стандартное отклонение σ_{o-c} для полосы V с одним и тем же набором параметров в табл.3 чуть меньше, чем в табл.2, так как на него влияет количество варьируемых параметров.

Таблица 3

ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ GSC 4513 2537 в B , V , R

	B	V	R
r_1	-	0.051	-
r_2	-	0.044	-
i	-	$89^\circ.4$	-
e	-	0.0145	-
ω	-	$304^\circ.3$	-
u_1	0.75	0.62	0.52
u_2	0.84	0.67	0.57
L_1	0.630 ± 0.025	0.614 ± 0.025	0.607 ± 0.030
L_2	0.370 ± 0.025	0.385 ± 0.025	0.385 ± 0.030
L_2/L_1	0.587	0.627	0.634
J_2/J_1	0.437	0.467	0.472
σ_{o-c}	$0^m.0085$	0.0082	0.0087

Светимости обеих компонентов, полученные из решения кривых блеска, позволили вычислить цвета $B-V$ звезд (табл.3): $(B-V)_1 = 0^m.75$ для главного и $(B-V)_2 = 0^m.82$ для вторичного компонентов. Разница полученных величин с учетом данных спектральных наблюдений и привязки звезды к стандартам U, B, V соответствует спектральным классам: $G3 + G6$. Кolor-эксцессы звезд-компонентов в фильтре V равны: $E_{b-v}^1 = 0^m.11$, $E_{b-v}^2 = 0^m.13$, межзвездное поглощение: $A_b^1 = 0^m.34$, $A_b^2 = 0^m.40$, расстояние до звезды: $r = 210 \pm 10$ пк.

3. *Вращение линии апсид.* Момент T_1 главного минимума вычислялся одновременно с другими элементами при решении кривой блеска.

Моменты соединений для вторичных минимумов T_2 получены из

известного соотношения Копала [7] в предположении постоянства скорости изменения долготы периастра ($\dot{\omega}$) с элементами, полученными при фотометрическом решении:

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

Периоды главного и вторичного минимумов вычислены с использованием данных о моментах минимумов, полученных нами, а также приведенных в статье Отеро и др. [2].

$$\text{Min I} = \text{JD}_{\odot} 2455192.84405(20) + 6^{\text{d}}.33443(2),$$

$$\text{Min II} = \text{JD}_{\odot} 2455050.3522(2) + 6^{\text{d}}.33442(4),$$

$$\Delta P = P_{II} - P_I = -0^{\text{d}}.000009(5) = -0^{\text{s}}.8 \pm 0^{\text{s}}.4.$$

Зная разность периодов и используя формулу Руджобина [8]:

$$\frac{\Delta P}{P} = \frac{2P\sqrt{1-e^2}}{\pi(1-e^2\sin^2\omega)^2} e(1-e^2)\sin\omega \frac{d\omega}{dt},$$

можно вычислить скорость вращения линии апсид. Она получается равной: $\dot{\omega}_{\text{obs}} = 0.08 \pm 0.04$ °/год. Если использовать момент вторичного минимума, опубликованный в работе Брата и др. [9] ($\text{Min II} = 2453764^{\text{d}}.46728$), то скорость вращения линии апсид равна: $\dot{\omega}_{\text{obs}} = 0.22 \pm 0.07$ °/год.

Если бы у этой системы имелись полные кривые блеска, полученные в различные эпохи наблюдений, то мы могли бы из фотометрических решений получить независимые параметры долготы периастра и скорость вращения линии апсид. Пока мы только оцениваем ее, исходя из значения разности периодов главного и вторичного минимума. Для данного алгоритма важна точность моментов минимумов и промежутков времени между эпохами наблюдений. Первый результат вычисления скорости вращения опирается на более длительный промежуток времени между наблюдениями, чем второй, поэтому пока мы отдаем предпочтение этому результату, как более точному.

Оценка теоретической величины скорости, вычисленной нами с полученными параметрами из табл.2 с использованием формул из работы Копала [10], получается в 5 раз меньше, чем из наблюдений:

$$\dot{\omega}_{\text{theor}} = 0.016 \pm 0.005$$
 °/год.

Отметим, что для звезды подобной конфигурации, на 70-80% вращение орбиты обусловлено релятивистской составляющей скорости.

4. *Заключение.* Мы исследовали затменную переменную звезду GSC 4513 2537 из списка Отеро и др. [2]). Удалось получить высокоточные фотоэлектрические кривые блеска внутри минимумов и вычислить фото-

метрические элементы, а также получить *UBV*-величины звезды вне минимумов путем привязки ее к фотометрическим стандартам. Получены спектры звезды и, несмотря на их низкое разрешение, из анализа спектральных линий и полос удалось определить спектральный диапазон звезд-компонентов.

Имеется расхождение в 5 раз между оценкой теоретической скорости вращения орбиты и оценкой наблюдаемой скорости, вычисленной с использованием разности периодов главного и вторичного минимумов. Для уверенного определения скорости движения линии апсид у этой звезды требуется получить высокоточную кривую блеска через несколько лет.

Мы благодарим А.И.Захарова, С.Е.Леонтьева за помощь в разработке компьютерных программ, Н.П.Иконникову за консультации в поисках спектров звезд, В.Б.Секирова за создание телескопа системы Ричи-Кретьен, Р.И.Кукумбаеву за помощь в обработке данных, М.А.Кругова за предоставленное техническое оборудование.

¹ Московский государственный университет им. Ломоносова, Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга, Россия, e-mail: valiakozyreva@gmail.com

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

³ Обсерватория Астроколхоз, Нью Мексико, США, e-mail: tomkrajci@tularosa.net

⁴ Обсерватория Старлайт Фарм, Мэриленд, США, e-mail: john@menkescientific.com

⁵ Московский государственный университет им. Ломоносова, Южная наблюдательная станция, Симферополь, Украина, e-mail: komissarovag@mail.ru

THE ECLIPSING BINARY SYSTEM WITH ECCENTRIC ORBIT V1176 Cas = GSC 4513 2537

V.S.KOZYREVA¹, A.V.KUSAKIN², T.KRAJCI³, J.MENKE⁴,
G.V.KOMISSAROVA⁵

The eclipsing variable star GSC 4513 2537 = V1176 Cas is a recently discovered binary system. We carried out observations of the eclipsing binary using a CCD-array in 2009, 2010. The *U*, *B*, *V* magnitudes, the photometric elements and the periods of primary and secondary moments of minima were measured. Our estimations of value of apsidal motions is: $\dot{\omega}_{obs} = 0.08 \pm 0.04^\circ/\text{year}$. The obtained value is almost five times greater than that theoretically predicted:

$\dot{\omega}_{theor} = 0.016 \pm 0.005^\circ/\text{year}$. The relativistic component is a large part of the total velocity (80%). Unfortunately, the accuracy of the observed rotational velocity of the orbit is small. Uncertainty in results requires a repeat study in a few years with new observations.

Key words: *eclipsing-binary systems:photometric elements:apsidal motion - individual:V1176 Cas*

ЛИТЕРАТУРА

1. P.R.Wozniak, W.T.Vestrand, C.W.Akerlof et al., Northern Sky Variability Survey: Public Data Release, AJ, 27, 2436, 2004.
2. S.A.Otero, R.Wils, G.Hoogeveen, P.A.Dubovsky, IBVS, 5681, 1, 2006.
3. P.E.Gill, W.Murray, Math. Program., 14, 349, 1978.
4. В.С.Козырева, А.И.Захаров, Письма в Астрон. ж., 27, 712, 2001.
5. W. Van Hamme, Astron. J., 106, 2096, 1993.
6. А.А.Рубашевский, Препринт института проблем материаловедения АН УССР, Киев, 1984.
7. Z.Kopal, Dynamics of Close Binary Systems, D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, Holland, p.201, 1978.
8. M.Rudkjobin, Ann. Astrophys. J., 22, 111, 1959.
9. L.Brat, M.Zejda, P.Svoboda, B.R.N.O. Contributions, 34, 1, 2007.
10. Z.Kopal, Close Binary Systems, Chapman-Hall, London, Section II.6, 1959.