



ISSN 2411–6602 (Online)

ISSN 1607–2855 (Print)

Том 12 • № 2 • 2016 С. 101 – 104

УДК 524.38

Возможное дополнительное тело в затменной двойной системе HS 2231+2441

А.П. Видьмаченко*, Я.О. Шляхетска, Я.О. Романюк

Главная астрономическая обсерватория НАН Украины

Проведен анализ кривых блеска затменной двойной системы HS 2231+2441, полученных при помощи 36-см телескопа. Методом тайминга затмений получено свидетельство в пользу существования в системе третьего тела.

МОЖЛИВЕ ДОДАТКОВЕ ТІЛО В ЗАТЕМНЮВАНІЙ ПОДВІЙНІЙ СИСТЕМІ HS 2231+2441, Видьмаченко А.П., Шляхетська Я.О., Романюк Я.О. — Проведено аналіз кривих блиску затемнюваної подвійної системи HS 2231+2441, отриманих за допомогою 36-см телескопа. Методом таймінгу затемнень отримано свідчення на користь існування в системі третього тіла.

A POSSIBLE ADDITIONAL BODY IN ECLIPSING BINARY SYSTEM HS 2231+2441, by Vidmachenko A.P., Shlachetska Ya.O., Romanyuk Ya.O. — Analysis of the light curves of eclipsing binary systems HS 2231+2441, obtained with the 36-cm telescope, is made. In processing the photometric data on eclipses by method of timing, obtained evidence for the existence of a third body in the system.

Ключевые слова: кривые блеска; двойная система; HS 2231+2441.

Key words: light curves; binary system; HS 2231+2441.

1. ВВЕДЕНИЕ

К 1 октября 2016 года достоверно подтверждено существование 3533 экзопланет в 2660 планетных системах, из которых в 595 имеется более одной планеты. Но количество кандидатов в экзопланеты значительно больше. Так, по проекту «Кеплер» на начало 2015 года числилось ещё более 4000 кандидатов. Для подтверждения ими статуса планет необходима их повторная регистрация. Сейчас известно [25], что значительная часть открытых экзопланет находятся в двойных системах. В основном, эти системы довольно широкие, с расстояниями между звездами в сотни или даже тысячи астрономических единиц. Существует два типа двойных звездных систем, которые могут содержать планеты [5]. В первом типе планета обращается вокруг одного из компонент двойной звездной системы. И в этом случае наличие дополнительной звезды не оказывает заметного влияния на образование планет вокруг одной из звезд. Такие планеты называют «планетами одной звезды» или планетами S-класса. Такой системой, например, является первая обнаруженная в 2003 году система γ Цефея. Другой тип двойных звездных систем с планетами — это две тесно расположенные звезды. В них минимальное стабильное удаление планеты примерно в два-три раза больше расстояния между звездами. Планеты такого рода называют «планетами двойной звезды», или планетами P-класса. Первой такой системой стал объект Kepler-16b, обнаруженный в системе двух звезд Kepler-16. Он является газовым гигантом. К апрелю 2016 года известно уже около 30 планет, обращающихся в двойных системах, в которых обе звезды находятся на главной последовательности.

2. СВЕТОВОЕ УРАВНЕНИЕ

Поскольку две звезды расположены намного ближе друг к другу, чем к планете, то согласно закону Кеплера они должны обращаться друг вокруг друга быстрее, чем планета вокруг них. Таким образом, планета будет проходить перед быстро движущимися объектами и иногда будет пересекать звездный диск раньше, а иногда позднее. Кроме того, может изменяться и длительность прохождения по дискам звезд. Под воздействием третьего тела, обращающегося по орбите вокруг затменной звезды, положение центра масс системы периодически смещается относительно наблюдателя [15]. Вследствие этого наблюдаемый орбитальный период двойной звезды испытывает колебания около некоторого значения. То есть двойная система совершает периодическое движение относительно центра масс тройной системы. Световое уравнение, возникающее в результате такого движения, хорошо известно и из сравнения наблюдаемых (O) и вычисленных (C) значений моментов прохождения одной звезды по диску другой. Из

* Видьмаченко Анатолий Петрович; ✉ vida@mao.kiev.ua

их сравнения определяются неизвестные параметры светового уравнения (О–С). Так называемый метод тайминга основан на регистрации вариаций периода какого-либо периодического процесса, связанного со звездой [3, 6, 8, 9]. Исследование звездной затменно-двойной системы в течение длительного времени позволяет получить серию из нескольких транзитов, зависящих от орбитального периода меньшего спутника. Гравитационное влияние третьего объекта на первые два приводит к взаимному возмущению орбит и к вариациям времени наступления транзитов. Этот метод тайминга позволяет искать вариации, вызванные наличием третьего тела в каждом явлении транзита [16, 17].

3. ЗАТМЕННЫЕ ДВОЙНЫЕ СИСТЕМЫ ИЗ ЗВЕЗД СУБКАРЛИКОВ

Накопилось достаточное количество доказательств того, что значительная доля звезд субкарликов В обнаруживаются в короткопериодических затменно-двойных системах [10]. Все они показывают глубокие затмения с орбитальными периодами 130–170 минут [4, 11–13]. Система HS 2231+2441 (J2000.0, $22^h34^m21.48^s$ $+24^\circ56'57.4''$ [27]) была четвертой затменно-двойной системой типа HW Vir. Эта новая система аналогична по свойствам трем предыдущим, за исключением того, что в ней карликовый звездный компаньон имел очень малую массу [5].

Одним из методов, при помощи которого можно обнаружить третье тело в системе затменных звезд, является поиск светового уравнения. Периоды главного и вторичного минимумов звезды испытывают колебания из-за изменения расстояния между центром тройной системы и центром исследуемой затменной системы. То есть любое третье тело в системе двойной звезды заставляет центр масс всей системы вращаться с периодом, равным периоду обращения этого тела [18–20]. Цель нашей работы — поиск светового уравнения системы HS 2231+2441, т.е. поиск смещения наблюдаемых моментов минимумов относительно вычисленных. В двойной системе орбита вращается из-за приливных сил между звездами и из-за эффектов, вытекающих из общей теории относительности. В случае эллиптической орбиты это проявляется в движении линии апсид, вследствие чего происходит смещение наблюдаемых моментов минимумов относительно расчетных.

4. ДАННЫЕ НАБЛЮДЕНИЙ HS 2231+2441

Мы представляем фотометрическое изучение системы типа HW Vir HS 2231+2441 со звездной величиной около $V = 14.1^m$. В [1] даны ее физические и геометрические параметры и показано, что она состоит из маломассивной субкарликовой В звезды и коричневого карлика в качестве второго спутника. При значении орбитального периода $P_{orb} = 0,11058798$ суток, угле наклона $i = 80,0^\circ \pm 0,3^\circ$, отношении масс $Q = 0,17 \pm 0,01$ компоненты системы имеют такие параметры:

массы: $M_1 = (0,19 \pm 0,15)M_\odot$, $M_2 = (0,033 \pm 0,3)M_\odot$,
 радиусы: $R_1 = (0,143 \pm 0,0003)R_\odot$, $R_2 = (0,073 \pm 0,09)R_\odot$,
 температура: $T_{1\text{эфф}} = (28\,370 \pm 80)$ К.

Интегральные фотометрические измерения были получены нами в обсерватории Лесники с использованием 0,36-м телескопа [7, 9, 14]. Применялась дифференциальная ПЗС фотометрия при сравнении потоков от программной звезды и попадающей в поле зрения камеры звезды сравнения [2, 9]. Для обработки использованы наблюдения на протяжении 21 ночи в период с 26 июля по 2 декабря 2015 г. Фотометрическая обработка данных была выполнена с использованием программы C-MuniWin Version 1.2.30 [26]. Точность значений для каждой наблюдательной точки находилась в диапазоне $0,003...0,009^m$ для разных ночей. Была выполнена стандартная коррекция за темновой ток и плоское поле. Оригинальные файлы данных аппаратного формата были преобразованы в текстовые файлы, содержащие момент наблюдений и блеск исследуемой системы относительно стандартной звезды на каждом исходном кадре. Затем на основе этих данных были созданы соответствующие кривые блеска; пример одной из них приведен на рис. 1. Далее вычисляли разницу во времени между серединами различных транзитов. Ее временная зависимость показала наличие возможного периодического изменения в отклонении времени середины транзита от рассчитанного среднего момента. Это может указывать на наличие третьего объекта в исследуемой затменнодвойной системе. Для расчетов мы использовали значение эфемериды главного минимума $T_0 = 2456865,40351$ и расчетные значения периода $0,11058798^d$. Тогда моменты главного минимума мы рассчитывали по формуле

$$HJD = 2456865,40351 + 0,11058798^d \cdot E;$$

здесь E — целое число, показывающее порядковый номер главного минимума.

Амплитуда периодического изменения моментов минимумов, возникающего в связи с орбитальным движением тесной пары вокруг барицентра тройной системы, составляет менее $0,0008$ суток ($1,15$ минуты) [2]. Анализ полученных результатов показал наличие периодического изменения О–С орбитального периода для главного и вторичного минимумов практически в одной фазе. Это может быть объяснено гравитационным влиянием третьего компаньона на центральную двойную систему с орбитальным периодом около 97 ± 10^d [23, 24]. Выполненный нами периодограммный анализ [20–22] по методу максимума

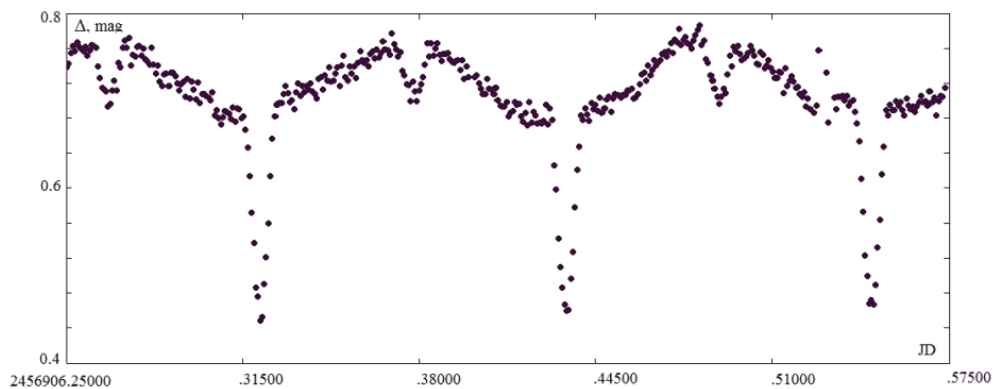


Рис. 1. Вид кривой блеска системы HS 2231+2441

энтропии, подготовленного таким образом наблюдательного ряда, указывает еще и на существование периодичности со значением 48 ± 5^d (возможно, гармоника?), но с существенно меньшей достоверностью. Поэтому требуются дополнительное исследование системы HS 2231+2441, которое, вероятно, сможет помочь всесторонне выяснить влияние дополнительных тел на центральную бинарную двойную систему.

Для преобразования файлов fits в вид, удобный для анализа, был использован программный комплекс IRAF с расширением PyRAF (подпрограмма kerconvert, которая преобразует fits-файл в текстовый файл).

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный нами анализ наблюдательных кривых блеска затменной двойной и полученное нами световое уравнение свидетельствуют о том, что в системе, возможно, присутствует третье тело с периодом обращения вокруг тесной двойной около 97 ± 10^d . Для подтверждения его существования необходимы дополнительные наблюдения.

1. Almeida L.A., Daminieli A., Jablonski F., et al. Modeling photometric and spectroscopic data of HS 2231+2441: an HW Vir type system with a brown dwarf companion // XIV Latin American Regional IAU Meeting (Eds. A. Mateus, J. Gregorio-Hetem & R. Cid Fernandes) Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica (Serie de Conferencias). — 2014. — **44**. — P.35–35.
2. Andruk V.M., Reshetnik V.M., Romanyuk Ya.O., Kleshchonok V.V., Khatko I.V., Yatsenko A.I., Samoylov V.S. Study of the photometric system of the Kiev network telescope // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2012. — **28**, № 6. — P.296–303.
3. Bogomazov A. I., Ibrahimov M. A., Satovsky B. L., et al. Timing of eclipsing binary V0873 Per: a third body candidate // Astrophysics and Space Science. — 2016. — **361**, article id.4. — P.6.
4. Drechsel H., Heber U., Napiwotzki R., Østensen R., Solheim J.-E., Johannessen F., Schuh S. L., Deetjen J., Zola S. HS 0705+6700: A new eclipsing sdB binary // Astron. and Astrophys. — 2001. — **379**. — P.893–904.
5. Eggleton P.P. The evolution of low mass stars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. 1971. — **151**. — P.351.
6. Khaliullin Kh.F., Khaliullina A.I. Orbital circularization of close binary stars on the pre-main sequence // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2011. — **411**, № 4. — P.2804–2816.
7. Krushevskaya V., Kuznyetsova Yu., Matsiaka O., Andreev M., Romanyuk Ya., Vidmachenko A. Determination of parameters of transit exoplanets, using data obtained at the small telescopes // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. — 2014. — **43**, № 3. — P.458–458.
8. Kuznetsova Yu. G., Vidmachenko A.P. Spectra analysis of some sun type stars with planets // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. — 2003. — Suppl. No. 4. — P.101–102.
9. Kuznyetsova Yu., Krushevskaya V., Andreev M., Vidmachenko A., Shliakhetskaya Ya. Photometric researches of chromospheric activity variations for star systems with exoplanets using small telescopes // Contributions of the Astronomical Observatory Skalnaté Pleso. — 2014. — **43**, № 3. — P.408–408.
10. Maxted P.F.L., Heber U., Marsh T.R., North R.C. The binary fraction of extreme horizontal branch stars // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. — 2001. — **326**, Issue 4. — P.1391–1402.
11. Østensen R. H., Oreiro R., Hu Haili, Drechsel H., Heber U. HS 2231+2441: An Eclipsing sdB Binary with a Substellar Companion // Hot Subdwarf Stars and Related Objects. Proceedings of the conference held 23–27 July, 2007, at Otto-Friedrich-Universität, Bamberg, Germany / Edited by Ulrich Heber, C.Simon Jeffery, and Ralf Napiwotzki. — ASP Conference Series. — 2007. — **392**. — P.221.
12. Østensen R., Oreiro R., Drechsel H., Heber U., Baran A., Pigulski A. HS 2231+2441: A New Eclipsing sdB Binary of the HW Vir Type // 15th European Workshop on White Dwarfs. Proceedings of the conference held 7–11 August, 2006 in Leicester, United Kingdom / Edited by Ralf Napiwotzki and Matthew R. Burleigh. — ASP Conference Series. — 2007. — **372**. — P.483.

13. *Rauch T.* NLTE spectral analysis of the sdOB primary of the eclipsing binary system LB 3459 (AA Dor) // *Astronomy and Astrophysics*. — 2000. — **356**. — P.665–675.
14. *Romanyuk Ya.O., Kleschonok V.V., Reshetnyk V.M., Lukyanyk I.V., Svyatogorov O.O., Guziy S.S.* The Kyiv internet telescope project // Second Workshop on Robotic Autonomous Observatories, Astronomical Society of India (ASI), Conference Series. — 2012. — **7**. — P.297–302.
15. *Shliakhetska Y., Kuznyetsova Yu., Vidmachenko A. Krushevska V.* Variability of spectral lines of extrasolar system HD189733 during a transit // *Astronomical School's Report*. — 2014. — **10**, №2. — P.147–151.
16. *Vid'machenko A.P.* A new method for registration of oscillations in atmospheres of Jovian planets // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2000. — Suppl. No. 3. — P.206–208.
17. *Vid'machenko A.P.* Brightness variations on Jupiter and free oscillations in its atmosphere // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2002. — **18**, №3. — P.157–167.
18. *Vid'machenko A.P., Krushevskaya V.N.* Using orbital phase curves of exoplanets for the improvement of estimate of their mass // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2003. — **19**, №4. — P.257–259.
19. *Vid'machenko A.P., Krushevskaya V.N., Kuznetsova Yu.G.* Brightness variations of an extrasolar giant planet orbiting its central star // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 2002. — **18**, №5. — P.294–303.
20. *Vidmachenko A.P.* Variations in the brightness of celestial objects in astronomical observations on Mount Maidanak // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies*. — 1994. — **10**, №5. — P.52–56.
21. *Vidmachenko A.P.* Periodical variations of parameters of Jupiter's and Saturn's Atmospheres: Thesis for Doctor of Sciences, Doctor of Physics and Mathematics Sciences, by specialty 01.03.03 Geliophysics and physics of Solar system; MAO of NAS of Ukraine, Kyiv, 1999. — 36 p.
22. *Vidmachenko A.P.* Seasonal changes and free oscillations of Giant Planets Atmosphere // *Astronomical School's Report*. — 2000. — **1**, №1. — P.91–105.
23. *Vidmachenko A.P., Romanyuk Ya.O., Shliakhetskaya Ya.O.* On a possible additional component in an eclipsing binary system HS 2231+2441 // 18 International scientific conference "Astronomical School of Young Scientists". The program and abstracts. — National Aviation University, Kyiv, Ukraine, May 26-27 2016. — P.21–23.
24. *Vidmachenko A.P., Romanyuk Ya.O., Shliakhetskaya Ya.O.* A possible third component in the eclipsing binary system HS 2231+2441 // International Conference Astronomy and Space Physics in Kyiv University. Book of abstracts. — Kyiv, Ukraine, May 24-27, 2016 — P.60–62.
25. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_exoplanets
26. <https://sourceforge.net/projects/c-munipack/>
27. <https://www.aavso.org>

Поступила в редакцию 10.10.2016
Принята к печати 28.10.2016