

УДК 524.6

## ПЕРВАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ТРАНЗИТОВ ЭКЗОПЛАНЕТ НА 1-М ТЕЛЕСКОПЕ САО РАН

© 2015 Г. Г. Валявин<sup>1\*</sup>, А. Ф. Валеев<sup>1</sup>, Д. Р. Гадельшин<sup>1</sup>,  
А. С. Москвитин<sup>1</sup>, А. О. Граужанина<sup>1,2</sup>, Г. А. Галазутдинов<sup>1,3,4</sup>

<sup>1</sup>Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

<sup>2</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, 420008 Россия

<sup>3</sup>Католический университет Севера, Антофагаста, Чили

<sup>4</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург, 196140 Россия

Поступила в редакцию 30 марта 2015 года; принята в печать 15 июня 2015 года

Представлены результаты пробных наблюдений одиночных транзитов экзопланет, выполненных на 1-м телескопе САО РАН. Исследовались две экзопланеты с разными глубинами затмений: WASP-43b и WASP-104b. Оба транзита зарегистрированы с разной степенью точности в зависимости от глубины затмений и условий наблюдений. Характерная точность регистрации амплитуды транзита в широкополосном фильтре  $V$  системы Джонсона составляет  $0^{\text{m}}001\text{--}0^{\text{m}}003$ . Приводятся времена основных моментов транзитов. На базе полученных результатов формулируется дальнейшая программа развития тематики исследования экзопланет в САО РАН.

Ключевые слова: *планетные системы*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Мы представляем результаты первых наблюдательных тестов по проекту фотометрических исследований экзопланет с использованием метрового телескопа Специальной астрофизической обсерватории Российской академии наук (САО РАН). Мотивация к проведению исследований кратко описана в работе [1]. Из всего комплекса задач программы при наблюдении транзитов экзопланет ставится цель детального изучения уже открытых и поиска новых планет в системах с одиночными гигантскими планетами методом измерения вариаций времени начала их транзитов (другое название — метод тайминга транзитов, Transit Timing Variation method, TTV) [2, 3]. В этой работе описываются и анализируются наблюдения двух экзопланет типа «горячий юпитер» WASP-43b и WASP-104b с разными глубинами затмений. «Горячий юпитер» — это планета юпитерианского размера, вращающаяся в непосредственной близости от родительской звезды.

### 2. НАБЛЮДЕНИЯ

Фотометрические наблюдения программных звезд с экзопланетами WASP-43 и WASP-104

проводились в течение одной ночи с 10 на 11 марта 2015 г. Все наблюдения выполнялись в широкополосном фильтре  $V$  системы Джонсона. Перед наблюдениями экспонировался закатный рассеянный свет для коррекции «плоского поля». Редукция фотометрических данных стандартная [1] и не имеет каких-то особенностей. Единственным критическим условием выполнения программы является наличие идеальных погодных условий. В ночь наблюдений это условие было выполнено, что позволило провести за одну ночь наблюдения двух последовательных транзитов WASP-43b и WASP-104b.

### 3. ПЛАНЕТНЫЕ СИСТЕМЫ WASP-43 И WASP-104

Горячий юпитер WASP-43b был открыт транзитным методом в 2011 г. [4] в ходе осуществления международного наземного широкоугольного обзора SuperWASP [5]. WASP-43b выделяется среди планет типа «горячий юпитер» по двум причинам. Она имеет один из наиболее коротких периодов обращения вокруг своей родительской звезды — 0.81 суток [4]. Второй причиной является принадлежность родительской звезды (видимая звездная величина  $V = 12^{\text{m}}4$ ) к спектральному классу K7 V. Фактически известно очень мало горячих юпитеров у звезд подобного типа с массой меньше  $0.65 M_{\odot}$ .

\*E-mail: gvalyavin@sao.ru

## Результаты наблюдений транзитов WASP-43b и WASP-104b

Планета	Относительная глубина транзита $\Delta m_V$	t1	t2	t3	t4
		JD 2457090 +	JD 2457090 +	JD 2457090 +	JD 2457090 +
WASP-43b	$0.032 \pm 0.003$	$2.339 \pm 0.001$	$2.352 \pm 0.001$	$2.373 \pm 0.0015$	$2.392 \pm 0.001$
WASP-104b	$0.017 \pm 0.003$	$\leq 2.444$	$2.454 \pm 0.002$	$2.494 \pm 0.001$	$2.516 \pm 0.001$

На сегодняшний день, кроме WASP-43b, только WASP-80b и HAT-P-54b вращаются вокруг звёзд позднего K-класса, а также Kepler-45 и HATS-6b — вокруг красных карликов класса M [6]. В остальном параметры WASP-43b являются обычными для горячих юпитеров: масса в 2.03 раза превосходит массу Юпитера, радиус — 1.04 радиуса Юпитера [7].

Планета удалена от звезды на расстояние 0.015 а.е. В предположении нулевого альbedo поверхностная температура планеты оценивается в 1440 К [4]. Изучение атмосферы и альbedo WASP-43b представляет большой интерес: так, например, в 2014 г. в её атмосфере было установлено присутствие водяного пара и измерено его содержание [8]. С помощью телескопа Hubble были измерены глубины прямого и обратного транзитов планеты в зависимости от длины волны.

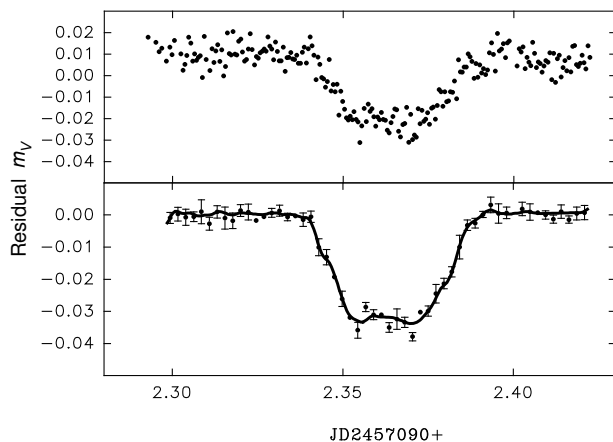
WASP-104b — транзитный горячий юпитер, открытый в обзоре SuperWASP в 2014 г. [9]. Обращается вокруг подобной Солнцу звезды класса G8 ( $V = 11^m$ ) с периодом 1.76 суток, имеет массу, превышающую массу Юпитера в 1.27 раз, и радиус

1.13 радиуса Юпитера. Планету и родительскую звезду разделяет расстояние 0.029 а.е., поверхностная температура оценивается в 1516 К.

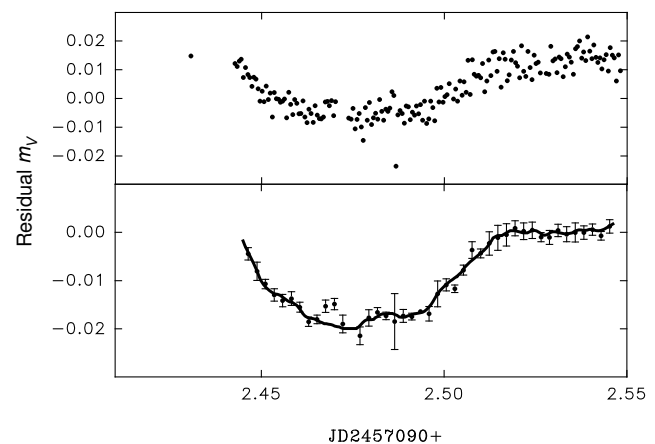
Набор статистики по транзитам WASP-43b и WASP-104b имеет самостоятельную научную ценность как для уточнения эфемериды транзита, поскольку планеты открыты сравнительно недавно, так и для поиска возмущений этих эфемерид от гравитационного воздействия других планет, если таковые существуют.

## 4. РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты наблюдений транзитов WASP-43b и WASP-104b в ночь с 10 на 11 марта 2015 г. проиллюстрированы на рис. 1 и 2 и резюмированы в таблице. В ней представлены глубины транзитов в относительных звездных величинах и основные характерные моменты транзитов: t1 (момент начала транзита — внешнее касание лимба планеты с лимбом родительской звезды), t2 (момент полного входа в транзит), t3 (момент начала выхода из транзита) и t4 (окончание транзита). На кривых блеска с вычтенными трендами обоих горячих юпитеров



**Рис. 1.** Транзит WASP-43b в ночь с 10 на 11 марта 2015 г. Верхняя панель: исходные данные в звездных величинах относительно среднего по всему ряду наблюдений. Нижняя панель: данные с вычтенным трендом вне транзита и усредненные внутри интервалов с характерной длительностью три минуты (черные кружки). Сплошная линия: сглаженные данные с использованием Фурье-преобразования до пятой гармоники.



**Рис. 2.** Транзит WASP-104b в ночь с 10 на 11 марта 2015 г. Верхняя панель: исходные данные в звездных величинах относительно среднего по всему ряду наблюдений. Нижняя панель: данные с вычтенным трендом вне транзита и усредненные внутри интервалов с характерной длительностью три минуты (черные кружки). Сплошная линия: сглаженные данные с использованием Фурье-преобразования до пятой гармоники.

хорошо заметны небольшие увеличения блеска непосредственно во время транзитных событий. Эти отклонения с большой вероятностью являются следствием влияния нестабильности земной атмосферы. Есть, однако, вероятность того, что подобное небольшое усиление блеска является следствием затмения планетой пятна или группы пятен на диске родительской звезды [7, 10]. Тогда пятно (группа пятен) должно быть очень большим. Для звёзд главной последовательности более позднего, чем Солнце, типа, к которым и принадлежат WASP-43 и WASP-104, это может быть вполне обычным явлением [11, 12]. Что именно представляют собой подобные «отпечатки» на транзитах данных горячих юпитеров, можно будет выяснить в будущих исследованиях.

## 5. ОБСУЖДЕНИЕ

Мы представили результаты фотометрической регистрации транзитов планет у звезд WASP-43 и WASP-104 на 1-м телескопе САО РАН. По результатам наблюдений получены новые данные по характерным временам основных моментов транзитов горячих юпитеров WASP-43b и WASP-104b. По мере накопления эти данные будут в дальнейшем использованы для уточнения эфемерид транзитов и для поиска других тел в системах с помощью метода TTV. Результаты, представленные в статье, можно также рассматривать как отчет о старте в САО РАН программы исследования экзопланет методом наблюдений транзитов. Программа предполагает проведение наблюдений транзитов в рамках следующих трех пунктов.

- Наблюдения транзитов экзопланет-юпитеров (не только горячих) у звезд ярче  $m_V = 15^m$ :

(1) регистрация основных моментов транзитов  $t_1, t_2, t_3, t_4$ , как это описано в настоящем исследовании;

(2) накопление наблюдательного материала для исследования эффектов переменности фотометрического профиля транзита и момента его наступления.

- Наблюдения транзитов экзопланет—уранов/нептунов у звезд ярче  $m_V = 14^m$  с теми же целями.
- Наблюдения транзитов самых крупных экзопланет типа «суперземля» у самых ярких звезд. Цели те же.

Обоснование возможности проведения сформулированной задачи см. также в [1].

## БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Российский научный фонд (проект 14-50-00043, направление «Экзопланеты») за поддержку проводимых исследований. Наблюдения на 1-метровом телескопе САО проводятся при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (соглашение № 14.619.21.0004, идентификатор проекта RFMEFI61914X0004).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. F. Valeev, K. A. Antonyuk, N. V. Pit, et al., *Astrophysical Bulletin* **70**, 318 (2015).
2. J. Miralda-Escudé, *Astrophys. J.* **564**, 1019 (2002).
3. M. J. Holman and N. W. Murray, *Science* **307**, 1288 (2005).
4. C. Hellier, D. R. Anderson, C. A. Collier, et al., *Astron. and Astrophys.* **535**, L7 (2011).
5. R. A. Street, D. L. Pollaco, A. Fitzsimmons, et al., *ASP Conf. Ser.* **294**, 405 (2003).
6. J. D. Hartman, D. Bayliss, R. Brahm, et al., *Astron. J.* **149**, 166 (2015).
7. M. Gillon, A. H. M. Triaud, J. J. Fortney, et al., *Astron. and Astrophys.* **542**, A4 (2012).
8. L. Kreidberg, J. L. Bean, J.-M. Desert, et al., *Astrophys. J.* **793**, L27 (2014).
9. A. M. S. Smith, D. R. Anderson, D. J. Armstrong, et al., *Astron. and Astrophys.* **570**, A64 (2014).
10. K. F. Huber, S. Czesla, U. Wolter, and J. H. M. M. Schmitt, *Astron. and Astrophys.* **514**, A39 (2010).
11. R. Sanchis-Ojeda, J. N. Winn, and D. C. Fabrycky, *Astronomische Nachrichten* **334**, 180 (2013).
12. R. Sanchis-Ojeda, J. N. Winn, G. W. Marcy, et al., *Astrophys. J.* **775**, L54 (2013).

## First Detection of Exoplanet Transits with the SAO RAS 1-m Telescope

G. G. Valyavin, A. F. Valeev, D. R. Gadelshin, A. S. Moskvitin,  
A. O. Grauzhanina, and G. A. Galazutdinov

We present the results of observations of single exoplanet transits conducted with the SAO RAS 1-m telescope. We studied two exoplanets with different eclipse depths: WASP-43b and WASP-104b. Both transits were detected with different degrees of accuracy depending on the eclipse depth and observing conditions. The typical accuracy of registration of the transit amplitude in the broadband V filter of the Johnson system is  $0^m001-0^m003$ . We also present the characteristic time moments of the transits. Based on the obtained results, a further program of exoplanet research at SAO RAS has been developed.

Keywords: *planetary systems*