

НАБЛЮДЕНИЯ ТРАНЗИТОВ ЭКЗОПЛАНЕТ В КОУРОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ

Ю. В. Сысолина

Уральский федеральный университет

Во втором полугодии 2022 г. на телескопе MASTER-Ural Коуровской обсерватории УрФУ продолжались наблюдения транзитов экзопланет в рамках программы ExoFOP-TESS. Наземные наблюдения проводятся с целью верификации кандидатов и исследования параметров экзопланетных систем. За время наблюдений удалось подтвердить транзит девяти объектов, показать, что период определен с ошибкой у четырех, и выявить необходимость в дополнительных наблюдениях семи объектов для уточнения их периода. В двух случаях требуется наблюдение с угловым разрешением лучше, чем позволяет телескоп MASTER-Ural. У одного объекта удалось исключить ложный период.

OBSERVATIONS OF EXOPLANET TRANSITS AT THE KOUROVKA OBSERVATORY

J. V. Sysolina

Ural Federal University

In the second half of 2022, the MASTER-Ural telescope at the Kourovka Observatory of UrFU continued observations of exoplanet transits as part of the ExoFop-TESS program. Ground-based observations are conducted to verify the candidates and study the parameters of exoplanet systems. During the observations, we were able to confirm the transit of nine objects, show that the period is determined with an error in four, and identify the need for additional observations of seven objects to clarify their period. In two cases, the observation of two objects requires a better angular resolution than the MASTER-Ural telescope can provide. For one object it was possible to exclude a false period.

Введение

Спутник Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) [1] — это миссия НАСА под руководством Массачусетского технологического института. Основная задача миссии — поиск кандидатов в экзопланетные системы. Кроме того, данные TESS позволяют изучать переменные звезды и исследовать астросейсмическую активность. Для поддержки миссии TESS была организована коллаборация ExoFOP-TESS, которая проводит дополнительные наземные наблюдения обнаруженных космической обсерваторией кандидатов с целью проверки и уточнения параметров транзитов. Коуровская обсерватория УрФУ участвует в ExoFOP-TESS с апреля 2019 г. Наблюдения по программе ExoFOP-TESS в Коуровской обсерватории осуществляются на телескопе MASTER-Ural [2].

Описание методики

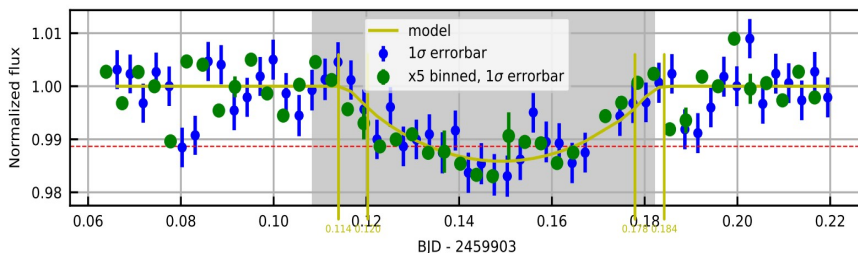
MASTER-Ural входит в сеть телескопов MASTER, основной задачей которого являются проведение синоптических обзоров неба и поиск различных оптических транзиентов (сверхновых, оптических послесвечений гамма-всплесков и астероидов), однако в рамках работы коллаборации ExoFOP-TESS телескоп используется для наблюдения конкретных

кандидатов в экзопланетные системы по эфемеридам с целью проверки и уточнения параметров транзитов. Характеристики инструмента позволяют проводить фотометрические наблюдения звезд 11–14^m с точностью до 0.25 % в полосах V и R одновременно. Наблюдения транзитов экзопланет одновременно в двух фильтрах имеет преимущество как для анализа качества полученных данных, так и для верификации кандидатов и изучения экзопланетных систем, поскольку могут рассматриваться как два независимых наблюдения.

Фотометрические наблюдения транзитов планируют на основе данных сервиса TESS Transit Finder¹. Используются такие данные, как координаты системы, время начала и окончания транзита, предполагаемая продолжительность транзита и его глубина, а также яркость транзитной звезды. Получение калибровочных кадров, наблюдения и предварительная калибровка данных выполняется полностью в автоматическом режиме. После завершения наблюдений проводится апертурная фотометрия объекта и звезд сравнения в нескольких апертурах. Оптимальная апертура выбирается по критерию минимального стандартного отклонения блеска звезд сравнения. Дальнейшая обработка результатов наблюдений включает относительную фотометрию с ансамблем звезд сравнения [3], формирование отчета с данными для поправки кривой блеска (так звезды, имеющие аномально большие отклонения кривых блеска, исключаются из ансамбля), получение кривой блеска и других полезных для последующего анализа данных [4].

Результаты наблюдений и выводы

С августа по декабрь 2022 г. при моем непосредственном участии проводились наблюдения с использованием данных сервиса TESS. Результаты наблюдений приведены в таблице. Удалось наблюдать полный или частичный транзит в соответствии с эфемеридами у девяти объектов. У четырех объектов наблюдения показали, что период определен с небольшой ошибкой и может быть уточнен. Семь объектов нуждаются в дополнительных наблюдениях для уточнения периода, так как период был определен неверно (например, на рисунке видно, что начало и окончание транзита TIC65981892.01 не соответствует эфемериде, следовательно, требуется уточнение периода). В двух случаях требуются наблюдения с угловым разрешением лучше, чем позволяет телескоп MASTER-Ural, так как рядом есть звезда поля. У одного объекта был исключен ложный период.



Наблюдавшаяся кривая блеска и модель транзита TIC65981892.01

¹<https://astro.swarthmore.edu/transits/>

Результаты обработки данных наблюдений транзитов экзопланетных систем.
 t — время экспозиции; n — количество полученных кадров; RMS — среднеквадратичная ошибка кривых блеска

№	Начало наблюдений UTC	t с	n	Окончание наблюдений UTC	Объект	RMS _{<i>m</i>}	Фильтр	Информация
1	02.08.2022 18:20:00	120	64	02.08.2022 21:53	TOI-1812	0.004	V	Транзит не обнаружен. Исключен один из ложных периодов
2	09.08.2022 17:45:00	30	97	09.08.2022 22:08:49	TOI-4465.01	0.006	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
3	11.08.2022 17:45:00	30	62	11.08.2022 19:35:50	TOI-4465.01	0.006	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
4	27.08.2022 16:45:04	180	36	27.08.2022 19:52:47	TOI-1812	0.004 0.003	V R	Транзит не обнаружен
5	28.08.2022 18:33:04	180	48	28.08.2022 22:02:05	TIC427153307.01	0.004	R	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой. Требуется наблюдение высоким угловым разрешением, так как рядом есть звезда
6	28.09.2022 18:51:56	180	32	28.09.2022 21:02:18	TIC312345863.01	0.003	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
7	28.09.2022 21:05:21	180	36	28.09.2022 23:29:12	TIC82622707.01	0.004	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
8	16.11.2022 13:44:02	180	45	16.11.2022 16:54:07	TIC352469839.01	0.003	R, V	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой
9	16.11.2022 17:07:04	180	62	16.11.2022 21:27:23	TIC266401846.01	0.004	V	Требуется наблюдение с высоким угловым разрешением, так как рядом есть звезда
10	16.11.2022 21:28:04	180	30	16.11.2022 23:26:58	TIC103096524.01	0.004	V, R	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой
11	17.11.2022 14:57:37	120	183	17.11.2022 19:03:21	TIC149833117.01	0.004	V, R	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой
12	17.11.2022 19:03:37	180	44	17.11.2022 22:03:19	TIC82622707.01	0.004	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
13	17.11.2022 22:03:37	180	58	18.11.2022 2:02:12	TIC354293303.01	0.004	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
14	18.11.2022 14:00:00	180	46	18.11.2022 17:34:38	TIC320281287.01	0.0025	R, V	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой
15	18.11.2022 17:36:00	180	34	18.11.2022 21:14:34	TIC355008856.01	0.004	R, V	Наблюдалось начало транзита в соответствии с эфемеридой
16	18.11.2022 21:18:00	180	72	19.11.2022 2:14:32	TIC444558604.01	0.003	R, V	Транзит подтвержден, наблюдался полный транзит в соответствии с эфемеридой
17	19.11.2022 13:30:00	180	54	19.11.2022 17:11:10	TIC65981892.01	0.0035	R, V	Наблюдался полный транзит, начало с задержкой относительно эфемериды
18	19.11.2022 17:15:00	180	76	19.11.2022 22:26:55	TIC245509452.01	0.0025	R, V	Наблюдалось начало транзита в соответствии с эфемеридой
19	20.11.2022 13:15:00	180	55	20.11.2022 18:00:07	TIC280254984.01	0.004	R, V	Полный транзит, но раньше, чем указано в эфемериде
20	20.11.2022 22:15:00	180	35	21.11.2022 2:13:18	TIC445807396.01	0.003	R, V	Наблюдалось окончание транзита в соответствии с эфемеридой
21	28.11.2022 14:30:00	180	53	28.11.2022 18:11:08	TIC203096531.01	0.005	R, V	Транзит не обнаружен. Требуется уточнение периода
22	28.11.2022 18:12:00	180	55	28.11.2022 21:58:33	TIC87827371.01	0.004	R, V	Полный транзит, но раньше, чем указано в эфемериде
23	28.11.2022 22:00:00	180	44	29.11.2022 2:26:51	TIC62740096.01	0.004	R, V	Наблюдалось окончание транзита в соответствии с уточненной эфемеридой
24	13.12.2022 15:50:47	180	58	13.12.2022 20:07:59	TIC308613965.01	0.004	I, B	Наблюдалось окончание транзита позже, чем предсказано эфемеридой

Библиографические ссылки

- [1] *Ricker George R., Winn Joshua N., Vanderspek Roland et al.* Transiting Exoplanet Survey Satellite (TESS) // Journal of Astronomical Telescopes, Instruments, and Systems. — 2015. — Vol. 1. — P. 014003.
- [2] *Lipunov Vladimir, Kornilov Victor, Gorbovskoy Evgeny et al.* Master Robotic Net // Advances in Astronomy. — 2010. — Vol. 2010. — P. 349171. 0907.0827.
- [3] *Burdanov A. Y., Krushinsky V. V., Popov A. A.* Astrokitt-an efficient program for high-precision differential CCD photometry and search for variable stars // Astrophysical Bulletin. — 2014. — Vol. 69, № 3. — P. 368–376. 1408.0664.
- [4] *Parviainen Hannu.* PYTRANSIT: fast and easy exoplanet transit modelling in PYTHON // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2015. — Vol. 450, № 3. — P. 3233–3238. 1504.07433.