

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРАНЗИТНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЭКЗОПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМАХ TRES-3 И WASP-10

¹К.И. Иванов, ²А.Ю. Бурданов, ²В.В. Крушинский, ³О.А. Гресс

STUDY OF TRANSIT EFFECTS IN EXOPLANET SYSTEMS TRES-3 AND WASP-10

¹K.I. Ivanov, ²A.Yu. Burdanov, ²V.V. Krushinsky, ³O.A. Gress

Проект МАСТЕР (Мобильная астрономическая система телескопов-роботов) – единственная на территории России система автоматизированных телескопов, способная решать множество научных задач современной астрономии. Одной из самых интересных и современных задач, решаемых в рамках проекта МАСТЕР, является наблюдение экзопланетных систем методом транзитов. четырехсотмиллиметровые телескопы МАСТЕР-II дают возможность прецизионной фотометрии транзита экзопланеты по диску родительской звезды, что позволяет выявить ряд тонких эффектов, сопровождающих транзит. В докладе представлены первые результаты фотометрии транзитов экзопланет TrES-3b и WASP-10b, выдвигаются предположения о возможной природе наблюдаемых транзитных эффектов.

The MASTER project (Mobile Astronomical System of Telescopes-Robots) is a unique in Russia the system of automatic telescopes, capable to solve set of scientific problems of modern astronomy. One of the most interesting and modern problems solved by the MASTER project is a research of exoplanet systems by the transit method. 400-millimetric telescopes MASTER-II makes possible a precision photometry of exoplanet transit through a disk of a parent star that allows to reveal a number of the thin effects accompanying transit. In the report the first photometry results of TrES-3b and WASP-10b exoplanets transits are represented, assumptions of the possible origin of this transit effects are put forward.

Экзопланетные системы TrES-3, WASP-10 и «транзитные эффекты»

Экзопланетные системы TrES-3 и WASP-10 представляют собой соответственно желтый и оранжевый карлики спектральных классов G и K с массами соответственно 0.92 и 0.71 массы Солнца. Каждая из звезд имеет на орбите планету-газовый гигант, по массе несколько превосходящую Юпитер. Обращаясь вокруг родительских звезд по очень низкой орбите, планеты совершают транзит по их дискам с периодами 2.5 и 3 земных суток соответственно, вызывая периодические падения уровня блеска. Основная причина вариаций блеска – экранирование потока излучения планетным диском – не является единственной. На фоне общего снижения оптического потока от звезды во время транзита могут наблюдаться флуктуации яркости на временных масштабах от единиц до десятков минут – так называемые транзитные эффекты, природа которых на сегодняшний день остается до конца не выясненной.

Среди гипотез, претендующих на объяснение возникновения транзитных эффектов, особо выделяется предположение о том, что некоторые из наблюдаемых эффектов, возможно, возникают вследствие взаимодействия магнитосфер планеты и звезды, что вызывает возмущение последней и, как следствие, вспышечную активность. С целью проверки этой гипотезы было начато исследование фотометрических характеристик вышеупомянутых объектов с помощью телескопа МАСТЕР-II.

Проект МАСТЕР

Астрономический комплекс МАСТЕР – один из самых эффективных в своем классе и активно развивающихся проектов в области прикладной астрономии на территории России. Созданный учеными ГАИШ МГУ в 2002 г. с целью изучения космических гамма-всплесков, сегодня проект представляет собой мощную сеть инструментов наблюдения и систем анализа и обработки данных.

Телескоп МАСТЕР-II [Lipunov et al., 2010], составляющий основу проекта, представляет собой систему из двух одинаковых телескопов системы Гамильтона с диаметром объектива 400 мм. Фокусное расстояние объектива 1000 мм, поле зрения 4 кв. град. для каждой трубы. Конструкция телескопа укреплена на экваториальной монтировке NTM-500 фирмы «Astelco», телескоп снабжен набором светофильтров, соответствующих международной фотометрической системе Джонсона, двумя ПЗС-приемниками «Arogee Alta» с разрешением 4096×4096 пикселей и способен работать в полностью автоматическом и дистанционном режимах. Техническое оснащение телескопа позволяет осуществлять поиск новых и более детальное исследование уже известных экзопланетных систем методом транзитов.

Наблюдения и результаты

Наблюдение экзопланетных систем с последующей прецизионной фотометрической обработкой – нетривиальная задача для астрономических систем с широким полем зрения, в число которых входит телескоп МАСТЕР-II. Как правило, стандартные алгоритмы фотометрической обработки изображений оказываются неприменимы в данном случае и потому требуют адаптации под конкретный инструмент и условия наблюдений. В целях проверки применимости стандартных алгоритмов обработки, используемых в системе МАСТЕР в ходе планового обзора неба, в конце августа 2011 г. были проведены наблюдения экзопланетной системы TrES-3. Наблюдения проводились в удовлетворительных погодных условиях (легкая дымка), съемка исследуемого объекта осуществлялась параллельно в фильтрах V и R с экспозицией 180 с. Обработка полученных изображений выполнена с помощью программного пакета IRAF [Tody, 1993]. Неустойчивый характер кривой блеска, полученной в результате первых наблюдений, не позволил точно определить поправки, внесение которых необходимо для улуч-

шения качества фотометрии. Калибровочные наблюдения системы TrES-3 были повторены спустя несколько дней в более благоприятных погодных условиях с сохранением прочих параметров наблюдений. Кривая блеска в фильтре R представлена на рис. 1.

Несмотря на то, что отношение сигнал/шум во втором случае возросло вдвое по сравнению с первыми наблюдениями, кривые блеска сохранили выбросы на масштабе одного кадра, что свидетельствует в пользу предположения о неверной центровке апертуры в процессе фотометрической обработки кадров. Первые 40 % времени транзита исключены в процессе обработки ввиду высокого уровня шума, связанного с флуктуациями атмосферного фона. Высокая степень разброса данных на кривой блеска также явилась причиной невозможности определения наличия транзитных эффектов.

На основании результатов первых экспериментов были внесены существенные изменения в методику проведения наблюдений и обработки кадров. В начале сентября 2011 г. проведены наблюдения системы WASP-10 в фильтрах R и V. С целью большего накопления тонких эффектов время экспозиции было увеличено со 180 до 210 с. В общей сложности произведено 62 измерения потока WASP-10, кривая блеска в фильтре R представлена на рис. 2.

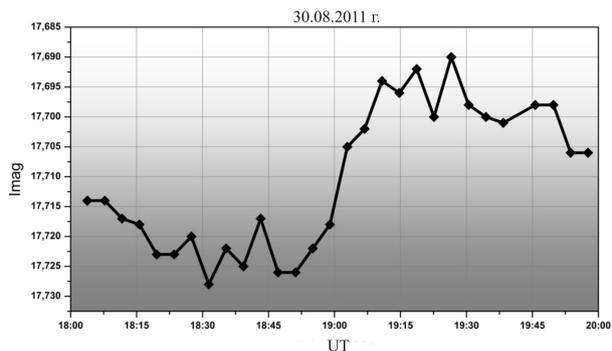


Рис. 1. Кривая блеска транзита экзопланеты TrES-3b по диску материнской звезды, фильтр R. Видны многочисленные выбросы на масштабах одной экспозиции, являющиеся результатом ошибок центрирования фотометрической апертуры.

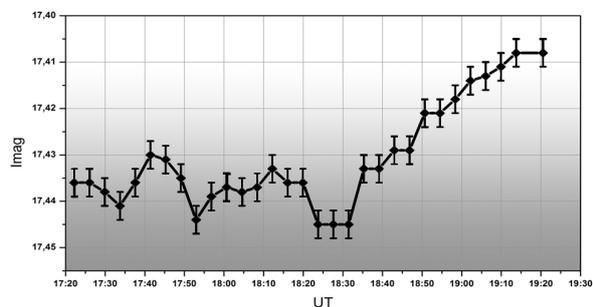


Рис. 2. Кривая блеска транзита экзопланеты WASP-10b по диску материнской звезды, фильтр R. В фазе транзита отчетливо видны два всплеска на масштабах 15 и 30 мин, так называемые транзитные эффекты. Стандартное отклонение равно 0.003. Начало транзита потеряно ввиду неблагоприятных условий наблюдений.

Обработка полученных кадров выполнялась средствами пакета IRAF с использованием оптимизированных настроек. В ходе обработки были применены методы прецизионной фотометрии. В частности, были минимизированы погрешности центрирования апертуры путем применения трехточечной медианной фильтрации данных по большому числу опорных звезд. Исправление данных за неравномерность прозрачности атмосферы в пределах кадра осуществлялось по алгоритму, описанному в [Everett, Howell, 2001].

В результате применения усовершенствованного алгоритма получения и обработки данных были построены кривые блеска системы WASP-10 в стадии транзита. Отношение S/N на уровне исследуемой звезды равно 100, стандартное отклонение фона для измерений в фильтрах R и V составило 0.003 и 0.004 соответственно. Отчетливо видны вариации блеска звезды в фазе транзита – транзитные эффекты, происходящие на временных масштабах 15 и 30 мин. Плавный характер кривой блеска и отсутствие пикообразных выбросов свидетельствуют об успешном исправлении критических ошибок позиционирования апертуры и низком уровне остаточного шума.

Выводы

На основании результатов первых наблюдений экзопланетных систем TrES-3 и WASP-10 оптимизирован процесс обработки кадров, методами прецизионной фотометрии получены кривые блеска транзитов экзопланет TrES-3b и WASP-10b по диску родительских звезд, выявлен ряд транзитных эффектов. Объяснение природы обнаруженных эффектов требует дальнейших наблюдений, однако высокая степень свободы конечных данных от шума уже сейчас позволяет с высокой долей вероятности предположить физическую природу данного явления. Стоит отметить, что некоторые солнечные вспышки действительно развиваются на сходных масштабах времени. Также вариации яркости могут быть следствием покрытия планетой пятнистых и факельных полей. Работа по данной теме продолжается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Everett M.E., Howell S.B. A Technique for Ultrahigh-Precision CCD Photometry // Publ. Astron. Soc. Pacific. 2001. V. 113, Iss. 789. P. 1428–1435.
- Lipunov V., Kornilov V., Gorbvskoy E., et al. MASTER Robotic Net // Adv. Astron. 2010. V. 2010. article id. 349171.
- Tody D. IRAF in the Nineties // Astronomical Data Analysis Software and Systems II / Eds. R.J. Hanisch, R.J.V. Brissenden, J. Barnes. 1993. P. 173. (ASP Conf. Ser. V. 52).

¹Астрономическая обсерватория Иркутского государственного университета, Иркутск

²Коуровская астрономическая обсерватория, Екатеринбург

³Научно-исследовательский институт прикладной физики Иркутского государственного университета, Иркутск