

УДК 520.25, 523.4-1, 523.4-325

ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЙ ЭКЗОПЛАНЕТ С ПОМОЩЬЮ СЕТИ ТЕЛЕСКОПОВ-РОБОТОВ МАСТЕР

¹К.И. Иванов, ²Е.С. Горбовской, ¹С.А. Язев, ²В.М. Липунов, ²В.Г. Корнилов, ²А.А. Белинский,
²Д. Кувшинов, ²Н.И. Шатский, ²А. Крылов, ²Н.В. Тюрина, ²П. Балануца, ²В. Чазов, ²П. Кортуннов,
²А.А. Тлатов, ²А. Пархоменко, ³В.В. Крушинский, ³И.С. Заложных, ³Т.Г. Копытова, ³А. Попов

PROGRAM FOR OBSERVING EXOPLANETS BY MEANS OF ROBOTIC TELESCOPE NETWORK MASTER

¹K.I. Ivanov, ²E.S. Gorbovskey, ¹S.A. Yazev, ²V.M. Lipunov, ²V.G. Kornilov, ²A.A. Belinsky,
²D. Kuvshinov, ²N.I. Shatskiy, ²A. Krylov, ²N.V. Tyurina, ²P. Balanutsa, ²V. Chazov, ²P. Kortunov,
²A.A. Tlatov, ²A. Parkhomenko, ³V.V. Krushinsky, ³I.S. Zalozhnykh, ³T.G. Kopytova, ³A. Popov

Кратко описаны возможности сети автоматизированных телескопов-роботов МАСТЕР. Изложены результаты наблюдения экзопланеты средствами системы МАСТЕР и проект будущих наблюдений, нацеленных на исследование экзопланет.

Capabilities of the network of automatic robotic telescopes MASTER are briefly presented. Results of exoplanet observation by means of "MASTER" system and project of future exoplanetary explorations are discussed.

Введение

Проект МАСТЕР (мобильная астрономическая система телескопов-роботов) – единственная на сегодняшний день система на территории России, позволяющая эффективно решать задачи наблюдений оптических транзиентов с помощью роботизированных инструментов. Созданная учеными ГАИШ (Государственного астрономического института им. П.К. Штернберга) при МГУ совместно с Московским объединением «Оптика», она представляет собой сложную систему телескопов-роботов, разнесенных по долготе на значительные расстояния и образующих единую сеть в масштабах страны [1].

Рождение проекта связано с необходимостью проведения наблюдений синхронных и близких по времени к моменту регистрации космических гамма-всплесков [2]. В современной комплектации система МАСТЕР состоит из роботизированного телескопа МАСТЕР–MOSCOW–Vostryakovo [3], двух телескопов МАСТЕР-II [4] и трех установок сверхширокого поля МАСТЕР-VWF [5, 6], расположенных в Подмоскowie (Востряково), на Урале (обсерватория Коуровка УрГУ) и в Иркутске (АО ИГУ). Во второй половине 2009 г. установлены новые телескопы сети в Благовещенске и Тункинской долине (Республика Бурятия). Все системы работают благодаря специализированному программному обеспечению, которое позволяет дистанционно управлять роботом-телескопом и его укрытием, определять стратегию наблюдений, производить первичную обработку получаемых изображений и хранить полученную информацию. Программное обеспечение каждого элемента системы имеет свою специфику, определяемую решаемой задачей, и разрабатывается с учетом особенностей технического исполнения инструмента.

Современное техническое оснащение телескопов системы МАСТЕР дает возможность решать много интересных и важных задач, в числе которых следует отметить:

- поиск предсвечения внегалактических гамма-всплесков. На сегодняшний день такие наблюдения недоступны для больших телескопов, имеющих сравнительно малое поле зрения;
 - постоянный мониторинг неба с целью обнаружения и дальнейшего исследования любых транзитных явлений;
 - наблюдения метеоров;
 - наблюдения искусственных спутников Земли;
 - наблюдения оптического послесвечения ярких гамма-всплесков;
 - наблюдения комет и астероидов;
 - наблюдения экзопланет транзитным методом.
- Круг решаемых задач постоянно расширяется.

О возможности исследования экзопланет средствами системы МАСТЕР

Одной из актуальных и интересных задач, решаемых в рамках проекта, является наблюдение экзопланет (планет, обращающихся вокруг других звезд). С целью экспериментальной проверки пригодности 355-миллиметрового телескопа установки МАСТЕР–MOSCOW–Vostryakovo для исследования экзопланет 29 марта 2008 г. были проведены наблюдения экзопланетной системы TrES-2 методом транзитов. Данный метод является наиболее простым, легко реализуемым и в то же время достаточно мощным средством обнаружения и исследования экзопланет. Он основан на том, что при наблюдении планетной системы «с ребра» планета, с точки зрения земного наблюдателя, может периодически проходить по диску звезды, незначительно (обычно на 1–3 %) ослабляя ее блеск (рис. 1). Точные фотометрические наблюдения позволяют построить кривую блеска, а также найти период обращения планеты и ее радиус.

На основании данных, полученных в ходе эксперимента, была построена кривая блеска транзита экзопланеты TrES-2 по диску материнской звезды (рис. 2). Анализ полученной кривой позволил установить, что аппаратное и программное обеспечение комплекса МАСТЕР–MOSCOW–Vostryakovo по-

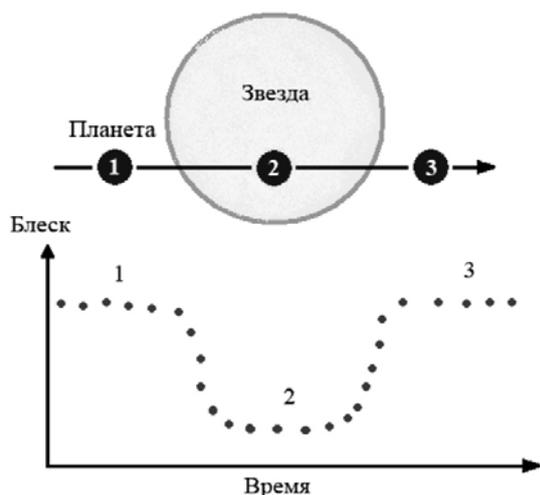


Рис. 1. Схема транзита экзопланеты по диску звезды.

звляет осуществлять качественную фотометрию исследуемого объекта, обеспечивая регистрацию изменения его блеска с точностью до 0.005^m . Для регистрации большинства известных на сегодняшний день экзопланет этого вполне достаточно.

Возможность исследования экзопланет также рассматривалась и в отношении телескопов MASTER-II, сравнительно недавно вошедших в состав сети МАСТЕР. На данный момент оптические характеристики этих инструментов тщательно изучаются, вырабатывается методика получения и обработки наблюдательных данных. Однако уже сейчас полученные сведения позволяют предположить, что имеющееся аппаратное и программное обеспечение телескопов MASTER-II позволит проводить прецизионную фотометрию кадров с точностью не ниже $0.003^m-0.004^m$, что создаст широкие перспективы для наблюдений экзопланет методом транзитов. Помимо прочего, телескоп оснащен скоростной монтировкой, благодаря которой становится возможным применение оригинального метода поиска новых экзопланетных систем, разработанного первым автором при содействии команды МАСТЕР и подробно описанного ниже.

Проект поиска новых экзопланет методом транзитов

На сегодняшний день чрезвычайно интерес представляет проблема поиска новых экзопланетных систем, и метод транзитов – один из самых простых методов ее решения. Однако, несмотря на простоту метода, для его осуществления необходимо выполнение сразу нескольких обязательных условий:

- 1) как можно большее поле зрения;
- 2) длительное отслеживание определенной области неба;
- 3) необходимость достаточно быстрой фотометрии большого количества звезд;
- 4) как можно большая светосила инструмента.

Реализация метода поиска новых экзопланетных систем планируется на базе комплексов MASTER-II, учитывая уникальные технические характеристики инструментов такого типа. Данный инструмент

удовлетворяет большинству перечисленных выше требований: два независимых телескопа системы Гамильтона при фокусном расстоянии 1000 мм имеют апертуру 400 мм, оборудованы ПЗС-матрицами «Apogee Alta» 16 Мпкс, что дает возможность за 5 с экспозиции получать качественные снимки областей звездного неба глубиной до 14^m и площадью 8 кв. град. Единственным недостатком инструмента в контексте использования для поиска новых экзопланет является относительно малое поле зрения, и в обычном режиме наблюдения шансы открыть новую экзопланету будут близки к нулю. Эту проблему можно успешно решить, используя одно из преимуществ инструмента – скоростную монтировку Astelco. Данная техническая особенность инструмента обеспечивает крайне малое время перенаведения телескопа на масштабах поля зрения, что дает возможность вести наблюдения с использованием так называемого режима сканирования. Именно этот режим лежит в основе разработанного первым автором метода поиска неизвестных экзопланет.

Реализация предлагаемого метода осуществляется в четыре основных этапа. На первом этапе производится выбор исследуемой области неба. Ввиду того, что вероятность наблюдения экзопланетной системы «с ребра» достаточно мала, возникает необходимость одновременной фотометрии как можно большего количества звезд, верхний предел которого ограничивается вычислительными мощностями комплекса. Выбранный участок небесной сферы должен иметь среднюю плотность звездной заселенности не более 8–10 тысяч объектов на квадратный градус, что обеспечит оптимальный режим использования вычислительной мощности комплекса.

В рамках второго этапа производится наблюдение выбранных областей небесной сферы с применением режима сканирования. Данный режим позволяет охватить большое поле при малом поле зрения телескопа при сохранении всех прочих достоинств оптической схемы. Суть его состоит в следующем. Телескоп ведет наблюдение выбранной области неба, последовательно регистрируя площадки, равные его полю зрения, после чего быстро перенаводится на следующую площадку, примыкающую к предыдущей, и т. д. Телескоп последовательно производит съемку определенного числа площадок, после чего возвращается к первой, и цикл повторяется. В процессе съемки кадры обрабатываются, производится их фотометрия, и для каждой звезды, снятой телескопом, точка за точкой строится профиль яркости. Таким образом, за N полных циклов съемки для каждой звезды будет построена кривая блеска, состоящая из N точек.

На третьем этапе производится программная обработка полученных кривых блеска, в процессе которой автоматически анализируются кривые блеска, полученные в ходе наблюдений. Все объекты, имеющие характерный профиль кривой блеска, подобный профилю на рис. 2, сравниваются с каталогом открытых экзопланет, и в случае несовпадения заносятся в таблицу кандидатов в экзопланетные системы.

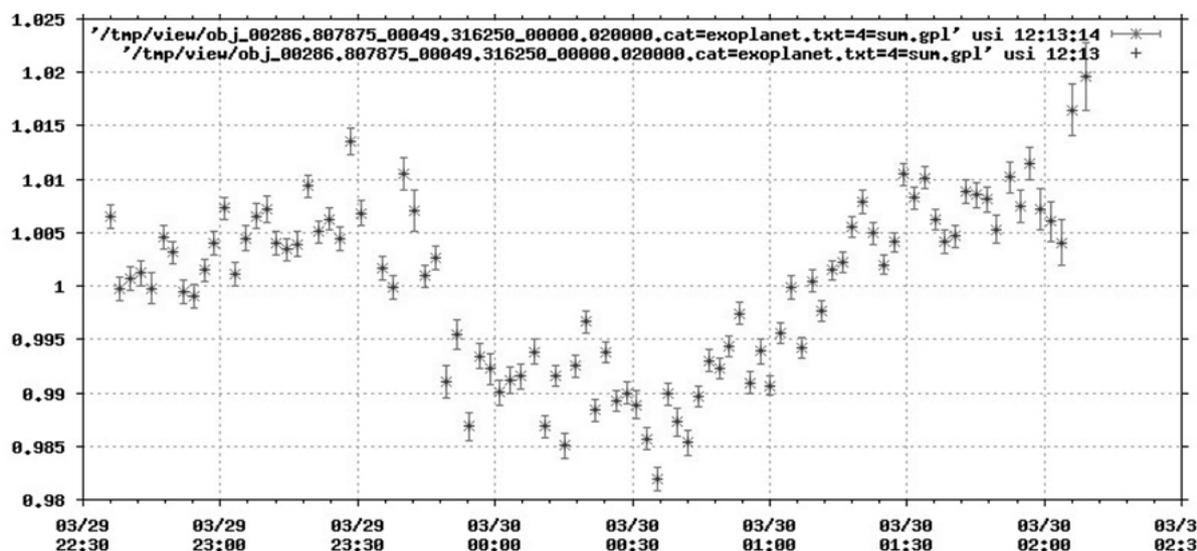


Рис. 2. Кривая блеска TrES-2, нормированная на средний поток излучения в инструментальных единицах. Используются результаты измерений, полученные программой автоматической обработки с учётом фотометрических поправок.

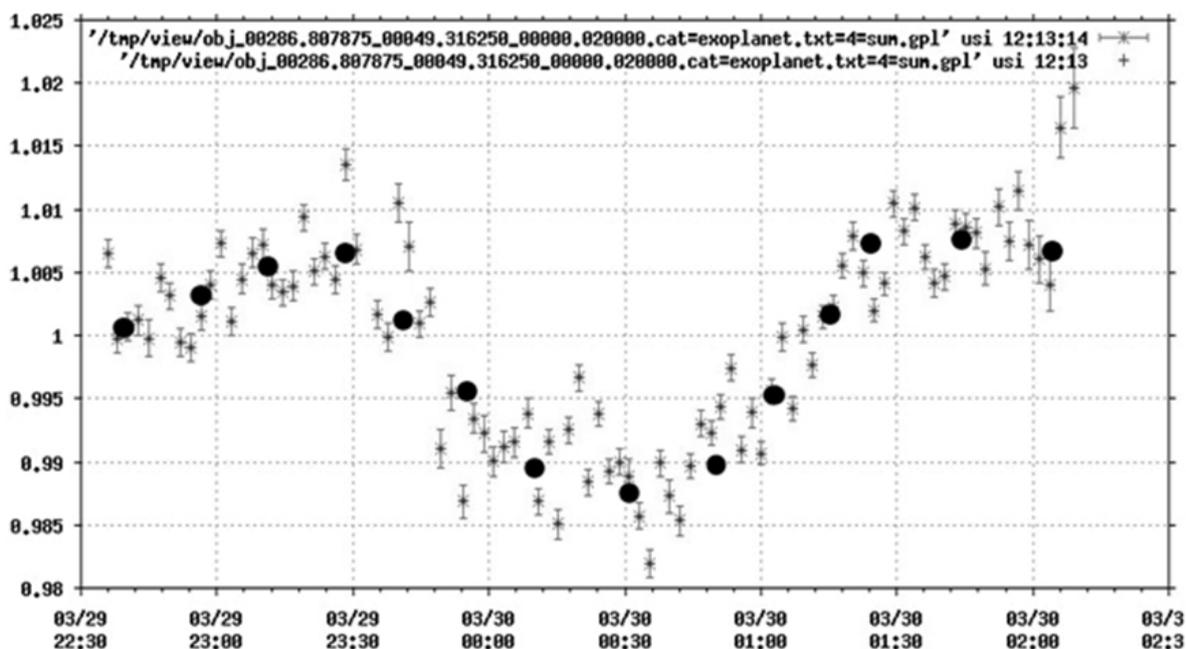


Рис. 3. Возможный вариант вида кривой блеска транзита TrES-2 в случае наблюдения с применением режима сканирования.

На четвертом этапе планируется более тщательное исследование обнаруженных кандидатов как средствами проекта МАСТЕР, так и с помощью более мощных инструментов других обсерваторий. В частности, рассматривается вариант использования для этих целей инфракрасного телескопа АЗТ-33 ИК, расположенного на территории Саянской солнечной обсерватории ИСЗФ СО РАН близ поселка Монды на границе с Монголией. Дополнительные исследования кандидатов необходимы с целью исключения переменных звезд, а также для более подробного изучения открытых экзопланетных систем.

В случае наблюдения экзопланеты TrES-2 комплексом МАСТЕР-II с применением режима сканирования результат мог бы быть следующим. Суммарное время экспозиции области площадью 8 кв. град. и

считывания изображения составляет около 25 с, время перенаведения – 0.3 с. Для качественного отождествления факта транзита достаточно иметь кривую блеска, состоящую из 14 точек с шагом 15 мин. Это время и будет временем одного полного цикла сканирования. По результатам наблюдений кривая блеска экзопланеты может иметь вид, представленный на рис. 3. Кроме того, в ходе цикла сканирования будет последовательно снято 36 площадок по 8 кв. град., суммарное поле зрения составит 288 кв. град., а число подвергнутых фотометрии звезд при их средней плотности 8000 на кв. град. достигнет 2304000.

Таким образом, применение вышеописанного метода дает возможность увеличить исследуемую область неба в десятки раз при сохранении всех преимуществ

ществ оптической схемы телескопа MASTER-II, что в рамках решения задачи поиска новых экзопланет позволяет успешно конкурировать с такими мощными проектами, как KEPLER [7] и SuperWASP [8].

Заключение

Описанный метод прежде не применялся в целях поиска экзопланет, потому в полной мере оценить все его достоинства и недостатки можно только в ходе эксперимента. На момент подготовки настоящей работы телескопы MASTER-II находятся в стадии отладки, также ведутся разработки программного обеспечения. Первые попытки реализации вышеописанного метода будут предприняты после выхода их в штатный режим. В случае успешной реализации программы исследования экзопланет проект MASTER станет первым в России астрономическим комплексом, способным вести подобного рода наблюдения. Полученная база данных может быть полезной для развития современной планетной астрономии не только в России, но и во всем мире.

Работа выполнена в рамках госконтракта № 02.740.11.0249, а также в соответствии с тематическим планом НИР ИГУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://observ.pereplet.ru/>
2. Липунов В.М., Горбовской Е.С. Исследование гамма-всплесков при помощи робота-телескопа MASTER / Избранные проблемы астрономии: материалы научно-практической конференции. Иркутск, 2004. С. 112–119.
3. <http://observ.inetcomm.ru/n/>
4. <http://217.107.51.130:8000/>
5. <http://apollo.sai.msu.ru/>
6. <http://81.18.119.127/>
7. <http://kepler.nasa.gov/>
8. <http://www.superwasp.org/>

¹Астрономическая обсерватория ИГУ, Иркутск

²Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ, Москва

³Коуровская астрономическая обсерватория УрГУ, Екатеринбург