

ИСТОЧНИКИ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН. ИХ ПОИСК В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ С ПОМОЩЬЮ ГЛОБАЛЬНОЙ СЕТИ МАСТЕР

Ю.В. Ишмухаметова, В.М. Липунов, Н.В. Тюрина, Е.С. Горбовской

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия
yuliavi38@gmail.com

SEARCHING FOR SOURCES OF GRAVITATIONAL WAVES IN THE OPTICAL RANGE BY MASTER

Yu.V. Ishmukhametova, V.M. Lipunov, N.V. Turina, E.S. Gorbovskoy

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia
yuliavi38@gmail.com

Аннотация. Работа посвящена локализации гравитационно-волновых событий в оптическом диапазоне с помощью сети телескопов-роботов МАСТЕР. В работе исследовано 12 событий, зарегистрированных Ligo, Virgo в 2015–2017 гг. Возможные оптические источники данных событий локализованы до нескольких быстропеременных объектов (транзиентов). Источник GW170817 точно локализован до килоновой в галактике NGC 4993.

Ключевые слова: гравитационные волны, МАСТЕР, килоновая, оптические транзиенты.

Abstract. The work is devoted to the localization of gravitational-wave events in the optical range by the MASTER network. There are 12 events recorded by Ligo, Virgo in 2015–2017. Possible optical sources of event data are localized to several rapidly variable objects (transients). Source GW170817 is precisely localized to kilonova in the galaxy NGC 4993.

Keywords: gravitational waves, kilonova, MASTER, Ligo, Virgo, GW170817, GW151022, GW151226, GW170104, GW170104, GW170502, GW170825, GW 170313, GW 170227, GW 170225, GW 170217, GW170120.

Мобильная астрономическая сеть телескопов-роботов (МАСТЕР) — это первая глобальная российская система полностью роботизированных обсерваторий. Система оснащена алертной системой. Алерт — это сообщение, которое автоматически посылаются телескопам с других обсерваторий.

Основной целью данной работы является исследование областей ошибок гравитационно-волновых событий и поиск возможных источников гравитационных волн в оптическом диапазоне.

С сентября 2015 г. МАСТЕР участвует в инспектировании событий, найденных гравитационно-волновыми обсерваториями LIGO, Virgo. Инспектирование проводилось с помощью алертной системы. Так, в результате исследования 11 алертов найден ряд транзиентов (оптических быстропеременных объектов)-возможных оптических источников (таблица). Также построены карты покрытия областей ошибок данных событий и рассчитан объем покрытия по каждому событию.

Стоит пояснить, что так как большинство исследуемых сигналов вероятно испущены столкновением черных дыр, мы не можем утверждать сопровождаются ли они оптической вспышкой. Если это так, то нам удалось локализовать данные источники всего до нескольких объектов. Гравитационно-волновая астрономия только начинает зарождаться и скорые теоретические открытия, позволят верно интерпретировать результаты наших наблюдений. В любом случае, МАСТЕР внес большой вклад в статистику этих наблюдений, покрыв большие площади областей ошибок гравитационно-волновых сигналов.

Особое внимание в работе уделяется событию, природа которого отличается от всех рассмотренных выше.

17 августа 2017 г. обсерватории LIGO и Virgo впервые зарегистрировали гравитационные волны

от столкновения двух нейтронных звезд [Abbott et al., 2017]. После открытия источника гравитационной волны GW170817 тремя лазерными интерферометрами МАСТЕР получил первое изображение галактики NGC 4993. Оптический транзиент MASTER OTJ130948.10-232253.3/SSS17a (рис. 1) является килоновой. Ее появление подтверждает, что сигнал вызван слиянием двух нейтронных звезд [Lipunov et al., 2017].

Открытый через 12 ч. после слияния в галактике NGC 4993 оптический объект (рис. 2, 3) ни по поведению, ни по яркости, ни по спектру не был похож на любую из исследованных сверхновых. Полученные вскоре оптические спектры подтвердили, что оболочка килоновой разлетается со скоростью 100 000 км/с, т. е. треть скорости света, что соответствует второй космической скорости на поверхности нейтронных звезд.

Итак, в рамках данной работы были исследованы наблюдения телескопами-роботами сети МАСТЕР квадратов ошибок гравитационно-волновых событий 2015–2017 гг.

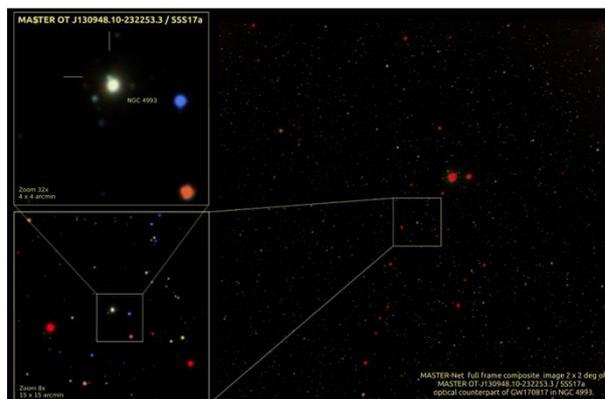
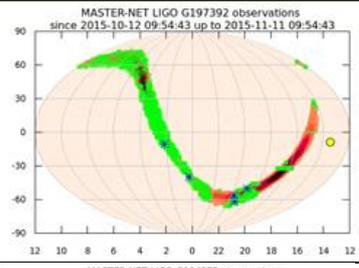
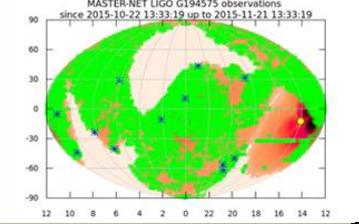
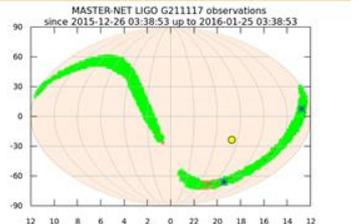
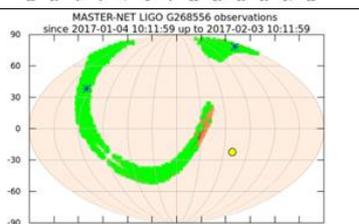
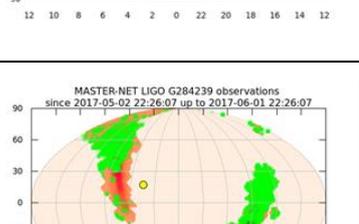
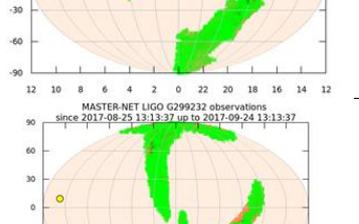
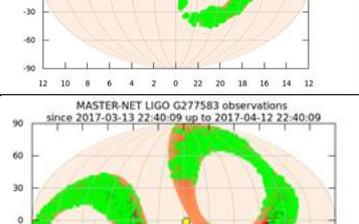
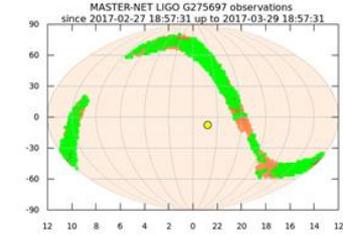
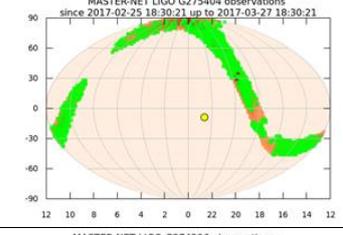
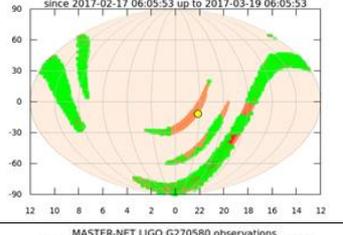
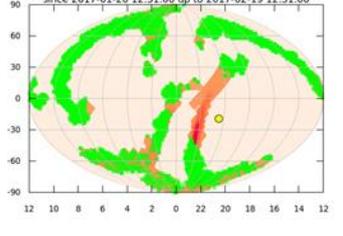


Рис. 1. Локализация килоновой в галактике NGC 4993

Результаты инспектирования гравитационно-волновых событий 2015–2017 гг., источниками которых являлись столкновения черных дыр

Событие	Покрытие	Карта покрытия	Найденные оптические транзиенты
LVT151012 (G197392)	2124.3 кв.гр. (36.5 %)		1. МАСТЕР от J191535.00-620318.7 2. МАСТЕР от J020836.79-3. 104018.8 4. МАСТЕР от J194142.51-563815.7 5. МАСТЕР от J184709.24-495633.9 6. МАСТЕР от J001858.94-402211.9
GW151022 (G194575)	19521.1 кв.град (45.8 %)		1. МАСТЕР от J060553.93+283325.6
GW151226 (G211117)	2914.5 кв.град (82.4%)		1. МАСТЕР от J124246.31+111448.6 2. МАСТЕР от J034313.67+320044.9 3. МАСТЕР от J025756.02+285337.6 4. МАСТЕР от J150113.71-734333.8 5. МАСТЕР от J142741.38-330531.7 6. МАСТЕР от J201539.32-693614.7 7. МАСТЕР от J165420.77 -615258.0
GW170104 (G268556)	3421.3 кв.град (79.8 %)		1. МАСТЕР от J090021.21+635049.7 2. МАСТЕР от J105811.78+811432.6 3. МАСТЕР от J072347.17+041144.0 4. МАСТЕР от J073310.71-012307.3 5. МАСТЕР от J080700.56+162008.7 6. МАСТЕР от J075227.62+113311.6 7. МАСТЕР от J074554.47+283123.8 8. МАСТЕР от J084411.47+670931.6 9. МАСТЕР от J081506.13+381123.3 10. МАСТЕР от J063256.50-212333.4
GW170502 (G2984239)	4629.9 кв.град (55,2%)		1. МАСТЕР от J171752.02-070654.6 2. МАСТЕР от J082736.60+662332.6 3. МАСТЕР от J181624.72+073252.7
GW170825 (G299232)	4124 кв.град (82.2 %)		1. МАСТЕР от J033744.97+723159.0
GW 170313 (G277583)	8224.1 кв.град (53.3 %)		1. МАСТЕР от J184906.73-273334.9

Событие	Покрытие	Карта покрытия	Найденные оптические транзиенты
G275697 GW 170227	2742 кв.град (72.1 %)		1. MASTER OT J135023.27-433602.0 2. MASTER OT J184906.73-273334.9 3. MASTER OT J113739.04-442929.9 4. MASTER OT J225444.27+755459.8 5. MASTER OT J104304.78+020550.2
G275404 GW 170225	4259,9 кв.град (74,7%)		1. MASTER OT J173532.70+103810.5 2. MASTER OT J105958.00-115756.5 3. MASTER OT J192402.43+421720.0
(G274296) GW 170217	3368.1 кв.град (70.3 %)		1. MASTER OT J111410.86+383448.2 2. MASTER OT J104314.39+241518.4 3. MASTER OT J105519.53+365834.1 4. MASTER OT J144935.82+343749.9 5. MASTER OT J082950.02+274024.3 6. MASTER OT J184722.28-834543.4 7. MASTER OT J072511.84-881702.0 8. MASTER OT J042250.16-820415.4
G270580 GW170120	7194.8 кв.град (70.4 %)		1. MASTER OT J191712.82+393006.4 2. MASTER OT J134513.91-551738.0 3. MASTER OT J081447.89-583624.2 4. MASTER OT J020404.19+741804.6

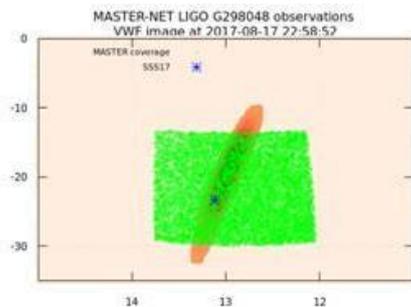


Рис. 2. Карта покрытия (зеленый — поле зрения камеры, оранжевый — поле ошибок, синий показано положение галактики)

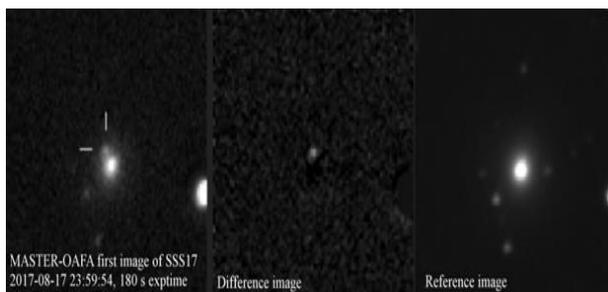


Рис. 3. Первое изображение килоновой, полученное телескопом-роботом МАСТЕР-ОАФА в Аргентине 2017.08.17 23:59:54 UT. Слева снимок 17 августа, справа — опорный кадр, посередине — разность кадров

Наблюдения сети телескопов МАСТЕР внесли существенный вклад в исследование гравитационно-волновых событий по полученным алертам от обсерваторий LIGO, Virgo.

Приведены карты покрытия исследуемых областей ошибок, проведен подробный анализ найденных транзиентов. Примечательно, что сеть МАСТЕР опережает все оптические телескопы по площади покрытия данных областей ошибок.

Важным вкладом является то, что источник гравитационной-волны, вызванной слиянием нейтронных звезд, точно локализован в оптическом диапазоне. Сеть телескопов МАСТЕР независимо открыла соответствующую килоновую в галактике NGC 4993. Если остальные гравитационно-волновые события сопровождались оптической вспышкой, то они также попали в список приведенных в работе оптических транзиентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Abbott B.P., et al. Multi-messenger observations of a binary neutron star merger // *Astrophys. J. Lett.* 2017. V. 848. P. 12–71.
Lipunov V.M., Kornilov V., Gorbovskoy E., et al. Master optical detection of the first ligo/virgo neutron star binary merger gw170817 // *Astrophys. J. Lett.* 2017. V. 850, N 1. P. 1.