

20.11.2017

Как поймать гамма-всплеск на небе?

Местоположение источника гамма-всплеска GW170817, который сопровождался детектированием гравитационных волн, одними из первых уточнили сотрудники ФТИ им. А.Ф. Иоффе РАН. Используя метод триангуляции для определения координат гамма-всплесков, Дмитрий Свинкин, научный сотрудник лаборатории экспериментальной астрофизики, смог ограничить область неба, откуда поступали гравитационные волны.

С помощью этой информации удалось увеличить достоверность ассоциации гамма-всплеска и источника гравитационных волн.

Это событие оказалось замечательным примером нового этапа развития астрономии — так называемой астрономии «в режиме онлайн» или multi-messenger astronomy. Это значит, что данные разных телескопов буквально сразу поступают в специальную сеть научного сообщества. А значит, практически сразу можно обработать поступившую информацию различными методами и продолжить наблюдения с помощью других инструментов.

17 августа 2017 года гравитационно-волновой эксперимент LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) в США зарегистрировал прохождение гравитационных волн — колебания в структуре пространства-времени, вызванные мощными событиями, происходящими в космосе. Примерно через две секунды после регистрации LIGO слияния двух нейтронных звезд короткий всплеск гамма-излучения был зарегистрирован орбитальными обсерваториями «Интеграл» (Европейское космическое агентство) и «Ферми» (НАСА).

Такое совпадение наблюдалось впервые. До августа 2017 не удавалось найти соответствия между событиями, которые регистрировал LIGO, и астрономическими объектами. Говоря иначе, детекторы LIGO «чувствовали» колебания пространства-времени, но увидеть, что именно «возмутило» его, не получалось.

В августе дела обстояли иначе, но ни «Ферми», ни «Интеграл» не могли дать достаточно точного положения на небе источника гамма-всплеска. Хотя область неба, в которой он должен находиться (область локализации), которую получила обсерватория «Ферми», перекрывается с положением источника, определённом по данным LIGO/Virgo, это совпадение не было достаточно надёжным. Площадь области локализации гамма-всплеска составляла около одной десятой площади всего неба, так что источник гравитационных волн мог бы попасть в неё и случайно. Говоря иначе, это значило бы, что LIGO на Земле наблюдал другой объект, а не тот, что «увидели» «Интеграл» и «Ферми» в космосе.

Чтобы ответить на этот вопрос, нужно было точнее определить положение гамма-всплеска. Это удалось сделать, используя задержку распространения гамма-излучения между «Ферми» и «Интегралом». Окончательная достоверная локализация гамма-всплеска, которая позволила надёжно отождествить источники и гамма-, и гравитационного излучений, была получена международной группой учёных из ФТИ им. А.Ф. Иоффе (Санкт-Петербург, Россия) и университета Калифорнии (Беркли, США).

Применялся метод триангуляции, который был разработан для межпланетной сети детекторов (IPN, Interplanetary Network), используемой для наблюдениях гамма-всплесков и других вспыхивающих источников гамма-излучения. Зная, когда был зарегистрирован всплеск на нескольких (в данном случае — двух) космических аппаратах, можно построить несколько так называемых триангуляционных колец, область пересечения которых содержит источник всплеска.

Эта методика схожа с методикой получения координат системами глобального позиционирования (GPS, ГЛОНАСС).

После этого в работу включилось множество оптических телескопов, а также инструменты, работающие в других диапазонах, от радио- до рентгеновского.

Правда, поскольку область локализации находилась на южном небе, где во время регистрации гравитационно-волнового сигнала был день, то наблюдения с Земли удалось начать только на закате. Тем не менее, довольно быстро, примерно через 10 часов был обнаружен сравнительно яркий новый источник, получивший обозначение SSS17a, вблизи галактики NGC 4993 (примерно 130 миллионов световых лет от Земли).

Характеристики его оптического излучения достаточно хорошо соответствовали тому, что ожидалось увидеть. Гравитационный сигнал, зарегистрированный LIGO в августе 2017, был характерен для пары сливающихся нейтронных звёзд. Это компактные объекты с малыми размерами и огромной для таких размеров массой. Вмещающая примерно 1-2 массы Солнца, они сжаты до радиуса 10-12 км. Как и чёрные дыры, они являются компактными остатками массивных звёзд.

Массы нейтронных звёзд, которые участвовали в слиянии 17 августа, были определены в диапазонах 1,36–2,26 и 0,86–1,36 массы Солнца, а объекта, который появился в результате слияния — около 2,7 массы Солнца. При этом всплеск гамма-лучей, который «видели» телескопы, был достаточно слабым. Это может означать, что они смотрели на событие немножко под углом, так что основная часть гамма-излучения прошла «мимо».

Сигналы от этого источника были зарегистрированы практически во всём диапазоне спектра, от инфракрасного до рентгеновского, и построены модели, объясняющие спектры. В частности, удалось наблюдать свидетельства того, что после слияния начался синтез тяжёлых элементов — лантаноидов. В целом, такое явление называют «килоновой», и наблюдаемые спектры хорошо соответствовали теоретическим представлениям о её развитии.

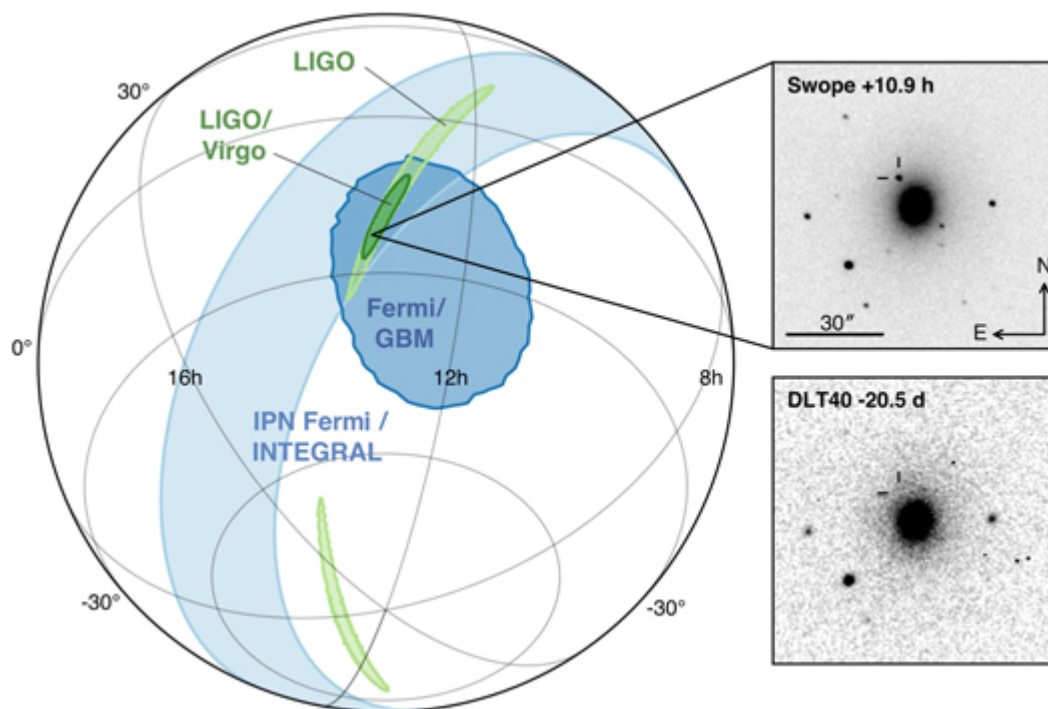
Это первое в истории наблюдения слияния нейтронных звёзд с помощью гравитационно-волнового эксперимента, и одно из первых событий, когда к работе практически мгновенно подключилось множество астрономических инструментов в разных точках мира. Огромное число исследователей, в числе которых и российские учёные, сработали как единая научная группа, и это само по себе замечательно.

Как рассказал Дмитрий Свинкин на семинаре в ФТИ, с начала сентября источник SSS17a находится за Солнцем и недоступен для наблюдений. Дальнейшие исследования станут возможны с конца ноября. Тогда можно будет проверить теоретические предсказания о том, что могло образоваться в результате слияния двух нейтронных звёзд: возникла ли в результате чёрная дыра (ещё более массивный компактный объект) или образовался магнитар — нейтронная звезда с очень сильным магнитным полем.

Метод IPN-триангуляции, который использовался для определения положения объекта, исследователи из ФТИ давно и успешно используют для обработки данных о гамма-всплесках, которые регистрируются на разных космических аппаратах. В международную сеть наблюдений космических гамма-всплесков как один из ключевых элементов входит и российский прибор КОНУС на американском аппарате «Винд» — самый длительный российский научный эксперимент, успешно работающий с ноября 1994 г. С 1994 г. по 2017 г. он зарегистрировал порядка 430 коротких гамма-всплесков, из них около 20% (одна пятая часть) похожи на всплеск 17 августа 2017 года. К сожалению, сам «Конус» не зарегистрировал этот последний из-за его относительно малой яркости. Ожидается, что в будущем, с повышением чувствительности

гравитационно-волновых детекторов, число зарегистрированных слияний нейтронных звёзд составит уже несколько в год. Тогда сеть IPN будет играть очень важную роль для отождествления их с источниками электромагнитного излучения.

1. Циркуляр сети IPN *LIGO/Virgo G298048: IPN triangulation of Fermi/GBM trigger 524666471/170817529* <https://gcn.gsfc.nasa.gov/gcn/gcn3/21515.gcn3>
2. Страница лаборатории экспериментальной астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе <http://www.ioffe.ru/LEA/index.ru.html>



Карта небесной сферы с обозначенными областями локализации источников гравитационных волн, гамма- и оптического излучений. Слева: область локализации по данным LIGO (190 кв.градусов, светло-зелёный), LIGO/Virgo (31 кв.градус, тёмно-зелёный), IPN-триангуляции по задержке сигнала между обсерваториями «Интеграл» и «Ферми» (светло-голубой) и по данным прибора GBM (обсерватория «Ферми»). Справа: галактика NGC 4993 на изображении оптического телескопа Swope (сверху, 10,9 часа после слияния) и телескопа DLT40 (20,5 дней до слияния). Крестиком отмечено положение источника, названного SSS17a, который был обнаружен после слияния. Рисунок из статьи В. Р. Abbott et al. Multi-messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger *The Astrophysical Journal Letters*, V.848, N.2, <http://iopscience.iop.org/article/10.3847/2041-8213/aa91c9/meta#top>

Пресс-релиз подготовила О.В. Закутняя