

1. Прямая регистрация гравитационных волн

С помощью гравитационно-волнового детектора LIGO впервые напрямую зарегистрированы гравитационные волны от слияния двух чёрных дыр. Гравитационные волны были предсказаны А. Эйнштейном в 1916 г., но до настоящего времени их существование обнаруживалось лишь косвенно по эффекту изменения орбиты двойного пульсара PSR B1913+16. Первая прямая регистрация осуществлена 14 сентября 2015 г. двумя независимыми лазерными интерферометрами, находящимися в США на расстоянии 3 тыс. км друг от друга. Сигнал, получивший обозначение GW150914, был зарегистрирован двумя детекторами с задержкой по времени 7 мс, объясняемой распространением гравитационной волны со скоростью света. Если учесть этот сдвиг по времени и различную ориентацию детекторов, то форма сигнала в двух детекторах совпадает с точностью до шумов измерения. Принципиальная схема интерференционного эксперимента для обнаружения гравитационных волн, которая реализована в детекторах LIGO, была предложена М.Е. Герценштейном и В.И. Пустовойтом в 1962 г., а фундаментальный вклад в разработку методик регистрации сверхслабых сигналов внесли В.Б. Брагинский, К. Торн и их коллеги (см., например, обзоры *УФН* 86 433 (1965); *УФН* 170 743 (2000); *УФН* 171 3 (2001)). Детекторы представляют собой модифицированные интерферометры Майкельсона с плечами длиной 4 км, тщательно изолированные от сейсмических и других помех. Гравитационная волна изменяет длину плеч, вызывая тем самым сдвиг фаз распространяющихся по ним лазерных сигналов, что приводит к сдвигу наблюдаемой интерференционной картины. Чувствительность интерферометров LIGO позволяет заметить удлинение их плеч на величину всего 10^{-17} см. Частота сигнала GW150914 за время его наблюдения ($\sim 0,2$ с) нарастала от 35 до 250 Гц и имела пиковую амплитуду $h = 1,0 \times 10^{-21}$. Форма GW150914 в точности соответствует предсказанию общей теории относительности для последней стадии перед слиянием двух чёрных дыр, обращающихся друг вокруг друга по орбите, а также сигнала, производимого затухающими колебаниями образующейся после слияния вращающейся чёрной дыры. Было установлено, что слились чёрные дыры с массами $36M_{\odot}$ и $29M_{\odot}$ на расстоянии 410^{+160}_{-180} Мпк от Земли. Отношение сигнал/шум в данных наблюдениях достигало величины 24, а статистическая значимость регистрации сигнала составила $5,1\sigma$. Таким образом, продемонстрировано существование двойных систем, состоящих из чёрных дыр с массами вблизи максимальных масс, которые могли бы появиться при взрывах коллапсирующих сверхновых в результате стандартной звёздной эволюции. Не исключено, однако, что чёрные дыры родились в результате коллапсов массивных догалактических звёзд или образовались в результате слияний чёрных дыр меньших масс в плотных звёздных скоплениях. В качестве сопутствующего результата получено ограничение на массу гравитона $m_g < 1,2 \times 10^{-22}$ эВ. Это ограничение, однако, меньше, чем ранее было получено из динамики скоплений галактик и слабого линзирования. Локализация GW150914 по данным LIGO имела на небе вид полосы площадью 600 кв. град. Спустя время 0,4 с после GW150914 с помощью Монитора гамма-всплесков (GBM) космической обсерватории им. Э. Ферми из участка этой полосы была зарегистрирована слабая гамма-вспышка. Каких-либо земных или астрофизических источников вспышки обнаружено не было. Пока не ясно, как при слиянии двух чёрных дыр мог бы быть сгенерирован гамма-сигнал, если он не являлся случайной проекцией. Наблюдение GW150914 открывает эру гравитационно-волновой астрономии и позволит в будущем проверить модификации общей теории относительности. В коллаборации LIGO принимают участие российские исследователи из МГУ и Института прикладной физики (г. Нижний Новгород).

Источники: *Phys. Rev. Lett.* **116** 061102 (2016)

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102>

<http://arxiv.org/abs/1602.03920>

2. Тетранейтрон

Возможность существования стабильных или короткоживущих связанных состояний четырёх нейтронов — тетранейтрон $4n$ — давно изучается как теоретически, так и экспериментально, но лишь

в одном эксперименте (Ф.М. Marques и др., 2002 г.) было объявлено о наблюдении связанного состояния $4n$ в реакции $^{14}\text{Be} \rightarrow ^{10}\text{Be} + 4n$. В последующих исследованиях этот результат, однако, подтвердить не удалось. К. Kisamori (Университет Токио и Институт физико-химических исследований RIKEN, Япония) и др. выполнили новый эксперимент и, возможно, зарегистрировали рождение резонансного состояния $4n$ в реакции $^4\text{He}(^8\text{He}, ^8\text{Be})$. Пучок ионов ^8He получался при взаимодействии пучка ^{18}O с бериллиевой мишенью, и затем, в свою очередь, сталкивался с мишенью из жидкого гелия. По методу совпадений регистрировались ^8He и конечные продукты реакции — две альфа-частицы, на которые распадалась ^8Be . Системы $4n$ напрямую не регистрировались, а были выявлены на основе законов сохранения. Обнаруженный максимум в спектре продуктов реакции соответствует, скорее всего, резонансному состоянию $4n$, хотя нельзя исключать и стабильное состояние. Было зарегистрировано четыре события рождения $4n$, и статистическая значимость результата оценивается на уровне $4,9\sigma$. Результаты эксперимента согласуются с данными Ф.М. Marques и др., но требуется их проверка в независимых экспериментах.

Источник: *Phys. Rev. Lett.* **116** 052501 (2016)

<http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.052501>

3. Дальняя передача тепла на квантовом пределе

Квантовая механика устанавливает фундаментальное ограничение (квант теплопроводности) на максимальный поток тепла, который можно передать по одному каналу. В предшествующих экспериментах тепло вблизи квантового предела удавалось передавать лишь на малые расстояния, меньше 100 мкм. М. Mottonen (Университет Аалто, Финляндия) и его коллеги впервые продемонстрировали передачу тепла с потоком, приближающимся к квантовому пределу, на макроскопические расстояния — до 1 метра. В качестве носителя тепла использовались фотоны микроволнового излучения, передаваемые по сверхпроводящему волноводу, закрученному в спираль. Фотоны электрически нейтральны, поэтому они слабее взаимодействуют с окружающим веществом, что уменьшает потери по сравнению с электронами. В качестве чувствительных термометров использовались сверхпроводящие туннельные контакты. Результаты эксперимента находятся в хорошем согласии с теоретическими расчётами и могут найти применение для охлаждения элементов в нанoeлектронике.

Источник: *Nature Physics*, онлайн-публикация от 1 февраля 2016 г.

<http://dx.doi.org/10.1038/nphys3642>

4. Наблюдения с угловым разрешением 21 угл. мкс на радиотелескопе Радиоастрон

Представлены первые результаты наблюдений по методу интерферометрии с очень длинной базой (VLBI), выполненные с помощью 10-метрового космического радиотелескопа Радиоастрон и 15 наземных радиотелескопов. Нахождение Радиоастрона на борту российского спутника Спектр-Р создаёт базу длиной 7,9 диаметров Земли, что позволило выполнить наблюдения с рекордным на сегодняшний день угловым разрешением 21 угл. мкс. Наблюдалась структура джетов у BL Lacertae — галактики с активным ядром, которая дала название всему классу галактик-бلاзаров. На расстояниях 40, 100 и 250 угл. мкс от основания джета видны узлы, которые могли возникнуть под влиянием ударных волн. На расстоянии 0,5 угл. мкс от ядра наблюдаются две компоненты поляризованного излучения. В наземно-космических наблюдениях на разных частотах был обнаружен градиент в мере фарадеевского вращения. Это говорит о наличии в джете спирального магнитного поля. Также был сделан вывод об отсутствии равномерного распределения энергии между магнитным полем и излучающими частицами, поскольку яркостная температура в ядре превышает 3×10^{12} К. Проект Радиоастрон выполняется исследователями из Астрокосмического центра ФИАН в коллаборации с российскими и зарубежными коллегами.

Источник: *The Astrophysical Journal* **817** 96 (2016)

<http://arxiv.org/abs/1512.04690>