

## **Гравитационные волны обнаружены через 100 лет после их предсказания А. Эйнштейном.**

LIGO открывает новое окно во Вселенную через наблюдение гравитационных волн от сливающихся черных дыр – основной вклад ученых сообщества Макса Планка и Ляйбницовского Университета (г. Ганновер).

Впервые ученые обнаружили гравитационные волны на земле произошедшие от грандиозного катаклизма в далекой Вселенной. Это прямое подтверждение одного из основных предсказаний Общей Теории Относительности А. Эйнштейна предложенной в 1915 году, и это открытие дает нам возможность по-новому взглянуть на Вселенную.

Гравитационные волны несут информацию об их источнике и о природе гравитации, которую невозможно получить никаким другим способом. Физики заключили, что источником этих гравитационных волн стало слияния двойной системы черных дыр, которое длилось долю секунды и в результате чего возникла более тяжелая вращающаяся черная дыра. Возможность образования и слияния пар черных дыр была предсказана теоретически но никогда раньше не наблюдалась.

Гравитационные волны были детектированы 14ого сентября 2015ого года в 5:51 утра EDT (9:51 UTC) обоими детекторами LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory: гравитационная обсерватория на основе лазерной интерферометрии) находящимися вблизи г. Ливингстон (штат Луизиана, США) и г. Ханфорде (штат Вашингтон, США). Обсерватории LIGO построены и управляются Калифорнийским Институтом Технологий (Caltech) и Массачусетским Институтом Технологий (MIT) при финансовой поддержке NSF (национальный научный фонд США). Открытие было сделано в рамках научного сотрудничества LIGO (включающую GEO600 и Австралийскую консорциум по гравитационной астрономии) и VIRGO проектов и оно будет опубликовано в журнале "Physical Review Letters" .

Сотрудники обоих филиалов института Макса Планка по гравитационной физике (Институт Альберта Эйнштейна, АЕИ) в г. Ганновер и в г. Потсдам (Германия) и сотрудники института гравитационной физики Ляйбницкого Университета (г. Ганновер) внесли значительный вклад в это открытие. В том числе: разработка и управление чрезвычайно чувствительным детектором, разработка эффективных методов анализа данных и их применение на супер-мощных компьютерных кластерах, сверх-точное моделирование гравитационно-волнового сигнала от сливающихся черных дыр и астрофизическая интерпретация результатов наблюдений.

### **Улучшенные технологии на базе GEO600**

GEO600 -- это германо-британский проект, где Германия представлена сотрудниками института Альберта Эйнштейна и Ляйбницкого Университета. Они смоделировали и управляют 600-метровым гравитационно-волновым детектором GEO600 около г. Ганновер (Германия). Во многом этот детектор послужил прототипом для разработки и тестирования новейших технологий, которые были приняты в LIGO для улучшения чувствительности (advanced LIGO (aLIGO), улучшенный LIGO) и в итоге позволили детектировать гравитационные волны. Например, в рамках проекта GEO600 разработаны: (1) "signal recycling" (специальное зеркало создающее дополнительный резонанс позволяющий улучшить (настроить) чувствительность в определенном частотном диапазоне) (2) "resonant sideband extraction" (резонансное выделение вторичных частот) (3) монолитные подвески для зеркал. Сотрудники АЕИ в сотрудничестве с Лазерным Центром г. Ганновер разработали и установили

высоко-мощные лазерные системы в aLIGO детекторе, которые являются одним из основных компонентов для ультра-точных измерений. “Уже более десяти лет ученые пытались обнаружить гравитационные волны, но только недавно, благодаря улучшенным технологиям использованным в aLIGO, мы смогли “услышать” очень “слабое эхо” дошедшее до нас из Вселенной”, - говорит проф. Карстен Данцманн, директор AEI (г. Ганновер) и директор института гравитационной физики Ляйбницкого Университета г. Ганновер. “Это открытие не произошло бы если бы не научный вклад и технологии разработанные в проекте GEO600.”

### **Вычислительный центр и методика анализа данных.**

Ученые AEI разработали и используют самые передовые и эффективные методики по анализу данных полученных с aLIGO. Обнаружение очень слабого гравитационно-волнового сигнала требует специальных алгоритмов и больших компьютерных мощностей. Большая часть вычислительных ресурсов была предоставлена для aLIGO компьютерным кластером Атлас (AEI г. Ганновер), который является самым большим вычислительным центром в мире для детектирования гравитационных волн. Атлас предоставил более 24 миллионов процессор-часов для обработки данных полученных aLIGO.

“Я горжусь тем, что гравитационно-волновой сигнал был первым обнаружен учеными из AEI, и что наш институт сыграл лидирующую роль в этом открытии”, - говорит проф. Брюс Аллен, директор AEI (г. Ганновер). “Эйнштейн думал, что гравитационные волны слишком слабы что бы быть обнаруженными, и не верил в существование черных дыр, но я не думаю, что он бы расстроился узнав что он заблуждался.”

### **Высокоточное моделирование гравитационно-волнового сигнала -- путь к обнаружению сливающихся черных дыр**

Сотрудники института Макса Планка разработали высокоточные модели гравитационных волн излучаемых парой черных дыр в последние моменты их столкновения и слияния. Эти модели были реализованы и использовались для поиска сливающихся компактных двойных систем в данных LIGO. Во время анализа наблюдений и было обнаружено слияние двух черных дыр, которое стало известно как GW150914, с достоверностью в 5 сигма (стандартных отклонений). Ученые из института Макса Планка использовали те же модели чтобы вывести параметры астрофизического источника, например массы и угловые моменты вращения черных дыр, ориентацию их орбиты и расстояние от Земли, а так же массу и угловой момент вращения остаточной черной дыры созданной слиянием. Модели сигнала также применялись для проверки соответствия GW150914 предсказаниям Общей Теории Относительности.

“Многие годы мы моделировали излучение гравитационных волн от самых экстремальных событий во Вселенной: пары черных дыр на взаимной орбите и их последующие слияние. И именно таким оказался обнаруженный сигнал.” - говорит проф. Алессандра Буонанно, директор Института Гравитационной Физики имени Макса Планка (г. Потсдам). “Потрясающе увидеть отражение Теории Относительности Эйнштейна в природе. GW150914 -- это великолепный шанс наблюдать поведение гравитации в самых экстремальных условиях” .

Исследования в рамках проекта LIGO ведут более 1000 ученых из многих университетов США и из 14ти других стран объединенных вместе сотрудничеством LSC (научное сотрудничество LIGO). Более 90 Университетов и исследовательских институтов разрабатывают технологии и анализируют поступающие данные; около 250 аспирантов вовлечены в проект и ведут активную научную работу. LSC принадлежат 3 детектора (2 LIGO и GEO600). В проект GEO входят AEI, Ляйбницкий Университет (г. Ганновер), Университет Глазго, Кардиффский

[www.aei.mpg.de/gwdetection](http://www.aei.mpg.de/gwdetection)

Университет, Университет г. Бирмингем, другие университеты Великобритании и Университет Балеарских островов (Испания).

LIGO, как лазерный интерферометр для детектирования гравитационных волн, предложили в 80х проф. Рэйнер Вайс (MIT), проф. Кип Торн (Caltech) и проф. Рональд Древер (Caltech). VIRGO, изначально франко-итальянский проект, сейчас включает в себя более 250 ученых и инженеров из 19ти европейских групп: 6 групп во Франции (Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS)), 8 групп в Италии (Istituto Nazionale di Fisica Nucleare (INFN)), 2 группы в Нидерландах (Nikhef), 1 группа в Венгрии (Wigner RCP) и POLGRAW группа в Польше. VIRGO находится в Италии недалеко от г. Пиза под управлением Европейской Гравитационной Обсерватории (EGO).

Открытие гравитационных волн стало возможным благодаря недавнему значительному улучшению LIGO, которое повысило чувствительность детектора увеличив почти в десять раз объем Вселенной доступной к наблюдению. Национальный научный фонд США -- основной спонсор проекта LIGO. Финансовые научные фонды в Германии (сообщество Макса Планка), в Великобритании (Science and Technology Facilities Council, STFC) и в Австралии (Австралийский исследовательский комитет) также вложили значительные средства в развитие проекта LIGO. Несколько ключевых технологий используемых в aLIGO были разработаны в рамках германо-британского проекта GEO600. Значительные вычислительные ресурсы для обработки данных предоставили AEI (г. Ганновер), LIGO лаборатория, Сиракузский Университет (США) и Университет Висконсин-Милуоки (США). Несколько технологий используемых в aLIGO были так же разработаны в Австралийском Национальном Университете, в Аделаидском Университете, в Университете Флориды, в Станфордском Университете, Колумбийском Университете (г. Нью-Йорк) и в Луизианском Государственном Университете.