

От редактора

11 февраля 2016 года на пресс-конференции в США и в Европе было объявлено коллаборацией LIGO (Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory) о крупнейшем научном достижении – первой прямой регистрации гравитационных волн, которые были предсказаны почти 100 лет назад Альбертом Эйнштейном. Коллаборация объединяет 1400 специалистов из 15 стран. Проект был предложен в 1980-е годы профессорами Калифорнийского университета Кипом Торном (Kip Thorne), Рональдом Древером (Ronald Drever) и профессором Массачусетского технологического института Райнером Вайссом (Rainer Weiss). Было объявлено, что зарегистрированные гравитационные волны испущены 1.3 миллиарда лет назад при слиянии двух чёрных дыр массами 29 и 36 солнечных масс. После слияния общая масса стала около 60 солнечных масс, причем вещество массой в 3 солнечных превратилось в гравитационное излучение. Замечу, что чёрные дыры вызывали у исследователей некоторое раздражение: вроде бы они должны существовать, но не было доказательств, что наблюдаемые объекты чёрные дыры. Теперь появился новый канал информации, идущий из космоса, появилась новая наука – геометродинамика – нелинейная динамика пространства-времени.

Согласно Общей теории относительности, тяготение возникает из-за искривления пространственно-временного континуума. Тогда волны тяготения – это флуктуации пространственно-временной метрики, проявляющие себя как колебания гравитационного поля, поэтому их часто называют пространственно-временной рябью.

У гравитационных волн интересные свойства. Вот главные из них.

1) Гравитационные волны распространяются со скоростью света, которая практически всегда сохраняется при встрече с материальными объектами. Лишь сверхплотное вещество может уменьшить их скорость. Амплитуды этих волн уменьшаются при удалении от источника, но не падают до нуля, то есть они живут вечно. Это значит, что Вселенная пронизана реликтовыми волнами тяготения, что в них есть информация о строении «зародышевой» Вселенной. Но как её расшифровать? Появилось новое направление – исследование гравитационных волн от реликтового излучения.

2) Гравитационные волны поперечны. Следовательно, такая волна искажает структуру пространства в плоскости, перпендикулярной вектору распространения. В самом простом случае пространство растягивается и сжимается вдоль двух взаимно перпендикулярных направлений в этой плоскости. А это значит, что вы и всё вокруг вас сжимается по одной оси и расширяется по другой от проходящих через вас волн. Но растяжение и сжатие составляет одну миллиардную триллионной доли метра.

3) Гравитационные волны уносят энергию, которую они отбирают от излучаемого объекта. Но от земных источников излучение слабое. Если взять стальную колонну массой 10 тыс. т и, подвесив её за центр горизонтальной плоскости, раскрутить до десяти оборотов в секунду (намного быстрее нельзя – сталь начнётся рваться), мощность гравитационного излучения такой гигантской вертушки всего-то 10^{-24} Вт. Поэтому источник гравитационного излучения и следовало искать в космосе. Так, при слиянии двух нейтронных звёзд максимальная мощность порядка 10^{52} Вт. Но самый лучший источник излучения – столкновение чёрных дыр.

Как же измерили гравитационные волны? Для этого использовали интерферометр Майкельсона – крест, в соседних плечах которого располагается источник света

(лазер) и детектор, а в длинных – два зеркала: в конце с полным отражением, а ближе к перекрестью с очень высокой отражательной способностью. В 1962 году идею использовать лазер и подвешенные зеркала первыми предложили мои коллеги – советские физики М.Е.Герценштейн и В.И. Пустовойт, а двумя годами позже Джозеф Вебер (Joseph Weber) – профессор Мэрилендского университета. В установке LIGO луч делится на два луча с идентичными характеристиками и, пройдя длинные плечи и отразившись от зеркал, лучи возвращаются на полупрозрачное зеркало и интерферируют. Если два луча, отправившиеся в разные плечи интерферометра, после отражения гасят друг друга (в простейшем случае там, где у одной волны максимум амплитуды, а у другой – минимум), то на детектор свет не попадает. Гравитационная волна расширяет одно плечо и сжимает другое. Лучи не приходят точно в противофазе, часть света попадает на детектор, и он фиксирует сигнал. Американский комплекс LIGO состоит из двух обсерваторий на расстоянии 3000 км. Одна находится на Тихоокеанском побережье США в Ханфорде в штате Вашингтон, другая в Ливингстоне в штате Луизиана. Длина длинных плеч достигает 4 км, расстояние от лазера до пересечения плеч составляет десятков метров. Применяется масса способов для достижения максимальной чувствительности, в частности, в плечах откачен воздух, опоры заглублены на 20 м до стабильных пластов земли и др. Установка способна почувствовать отклонение зеркала 10^{-19} м (одна десятиллиардная часть метра). Что увидели детекторы LIGO? 14 сентября 2015 года был зафиксирован сигнал с амплитудой 10^{-21} (на такую долю изменились плечи интерферометра) и длительностью примерно 20 мс на частоте от 35 до 250 Гц. Разнесенные на 3000 км интерферометры засекали волну с разницей 7 мс. Как выглядит зависимость относительного растяжения интерферометра от времени?* Сначала идет шум, в котором начинают проявляться волны, которые идут всё чаще и чаще, а потом заканчиваются (каждая волна пол-оборота чёрных дыр, которые быстро сближаются, и время между пиками уменьшается). Последняя волна – это уже почти одна чёрная дыра, сильно деформированная. Чудо, что такой сигнал можно услышать!

В исследовании гравитационных волн необычайно велик вклад члена-корреспондента РАН профессора МГУ Владимира Борисовича Брагинского и его группы. В проекте LIGO с 1992 года участвовали исследователи этой группы и Нижегородского Института прикладной физики РАН. Об их исследованиях нужно писать не одну статью.

Что нам даёт открытие? Народному хозяйству – ничего, никаких «гравицап» (вспомните фильм «Кин-дза-дза»). Триумфу Эйнштейна это тоже ничего не добавит – профессиональные физики знали, что рано или поздно это будет.

Значение эксперимента заключается во взаимоотношении науки и общества. Оно огромно, поскольку обнаружение гравитационных волн демонстрирует мощь науки. Предсказали и обнаружили, вычисляли самый сложный процесс, связанный с огромными искривлениями пространства, и все оказалось правильно.

По словам Дэвида Рейнце, исполнительного директора LIGO, «Для науки – это посадка на Луну, и мы сделали это. Мы сели на Луну».

Научный руководитель ИРЭ РАН,
академик РАН

Ю.В. Гуляев

*Замечу, что масштаб по вертикали 10^{-21} , что соответствует растяжению плеча интерферометра на $4 \cdot 10^{-18}$ см. И какой бы фантастикой это ни казалось, умеют измерять растяжения до 10^{-17} см!