

УДК 53.01

## ГРАВИТАЦИОННЫЕ ВОЛНЫ

**Галиуллина Альбина Шамилевна, Васильев Артем Петрович,  
Коваленко Игорь Андреевич, Сбитнева Алена Александровна**

*Томский Государственный университет систем управления и радиоэлектроники, г. Томск*

В данной статье рассматриваются вопросы, касающиеся гравитационных волн, а именно природа их возникновения, дается ответ на вопрос, почему их достаточно трудно заметить. Также описывается способ работы детектора проекта LIGO, который может измерить колебания в  $1/1000$  ядра атома. И дается краткий ответ на вопрос, зачем нужно измерять гравитационные волны.

**Ключевые слова:** гравитационные волны, LIGO, сигнал, пространство-время, линейка.

## GRAVITATIONAL WAVES

**Galiullina A.Sh, Vasilyev A.P., Kovalenko I.A., Sbitneva A.A**

This article discusses issues related to gravitational waves, namely the nature of their occurrence, gives an answer to the question of why they are difficult to notice. The method of operation of the LIGO detector, which can measure oscillations in  $1/1000$  atomic nuclei, is also described. And a brief answer is given to the question of why it is necessary to measure gravitational waves.

**Keywords:** gravitational waves, LIGO, signal, space-time, ruler.

Гравитационные волны предсказал Альберта Эйнштейна в 1916 году и это маленькая часть его общей теории относительности. На протяжении всего времени люди продолжают использовать физику Ньютона, потому что она удобнее и вполне подходит для наших земных дел, но на самом деле в науке безраздельно править теории относительности, чтобы ее понять нужно потратить не мало времени, но в данной статье будет приведен краткий обзор про гравитационные волны.

Что можно понять про гравитационные волны? А, главное, зачем их измерять? Начнем с того, что необходимо доказать то, что Эйнштейн был прав, так стоит отметить, что теории относительности используется не только для изучения далекой вселенной и ядерных реакций, она имеет более осязаемое доказательство это GPS в нашем телефоне. И все дело в кривизне пространства-времени, на очень высоких орбитах и скоростях как у спутников GPS, время течет немного быстрее чем на земле, отличие крохотное 38 микросекунд/сутки, но GPS нужна точность в 50 наносекунд, если бы Эйнштейн ошибался в своей теории, то система GPS просчитывалась на 10 км в сутки и стала бы бесполезной вещью. Вот и приведено доказательство [5].

Что такое гравитационные волны? Волна - это такое периодическое колебание, которое переносит энергию на расстояния. Одни волны распространяются сквозь материю, как волны на

---

море, а другие сквозь энергетические поля, как электромагнитные волны: радиосигналы, свет, рентген и так далее. Но гравитационные волны особенные, их особенность заключается в том, что они заставляют колебаться не какое-то поле и даже не материю, они колеблют саму ткань пространства-времени, это та самая ткань, в которой знания Ньютона ничем помочь не могут. Так если одна из таких волн проходит сквозь человека, то он меняет длину и ширину. Проблема в том, что пространство-время достаточно жесткая вещь, если бы люди каким-то образом попытались ее согнуть, то оно оказалось бы в 700 миллиардов раз жестче, чем алмаз, поэтому гравитационные волны такие слабые, их почти невозможно заметить, даже если бы человек был с размером с атом, то он бы их всё равно их не почувствовали.

Но почему гравитационные волны такие слабые? Ведь, как известно гравитация удерживает вместе звёзды, планеты и галактики. Дело в том, что волны это всего лишь побочный эффект гравитации, как рябь на воде побочный эффект движения корабля. И тем не менее ученые давно доказали существование гравитационных волн. Это стало возможным благодаря радиотелескопу АРЕСИБО, именно он нашёл особые двойные пульсары, они выбрасывали гравитационную энергию так быстро, что сближались на глазах у ученых, и всё-таки напрямую засечь и измерить гравитационные волны, было невозможным.

Как же их тогда измерить? Это достаточно просто, необходимо очень большая «линейка» причём она должна быть прямой и не искажаться, а также со 100% точностью, ожидать пока она сожмется или растянется. Под данные критерии этой «линейки» подходит лазерный луч, именно так работает детектор проекта LIGO. По сути это две трубы с зеркалами на концах каждая длиной в 4 км. Один лазерный луч делят на двое и запускают в эти трубы, а затем лучи вновь объединяются и образуют особый узор, который называется интерференция света. При малейших изменениях в длине луча и узор сразу меняется, поэтому из труб откачан воздух, а сам детектор тщательно изолирован от любых вибраций, вроде сейсмических толчков проезжающих поездов или ветра. Поэтому интерферометры LIGO очень точны, они могут измерять колебания, которые равны 1/1000 ширины протоны, чтобы было понятно, протон – это часть ядра атома, ядро примерно в 100000 раз меньше самого атома, а один атом в 1000000 раз меньше ширины человеческого волоса. Также достаточно важный факт того, что таких «линеек» нужна две, чтобы одна подтверждала результаты другой. Кроме того, два детектора работают как наши уши по задержке прибытия сигналом и другим отличиям они могут определить откуда этот сигнал прилетел, но даже с такими «линейками» человек может уловить только самые сильные гравитационные волны во Вселенной, например, столкновение черных дыр или нейтронных звезд [1].

Но откуда взялся данный сигнал и что его породило? А также зачем все-таки необходимо измерять гравитационные волны? Так больше миллиарда лет назад столкнулись две черные дыры,

---

каждая из них была массой примерно в 30 раз тяжелее солнца, но при этом они имели крохотный размер, для сравнения они были меньше Московской области. Ученые предполагают, что это бывшие сверхновые, то есть когда-то каждая из них на секунду затмила своим взрывом целые галактики. Данные дыры миллионы лет вращались друг вокруг друга, из-за того, что они имели сверхбольшую массу и вращались так быстро, вследствие чего теряли гравитационную энергию, поэтому со временем становились всё ближе. По мере приближения их вращение увеличивалось и наконец этот «танец» длиной в 1000000 лет закончился, причём всего за несколько секунд. Под конец дыры оказались всего в 10 км друг от друга, а крутились они так быстро, что делали десятки даже сотни оборотов в секунду, достигая при этом почти скорость света, создавая определенный звук. Перед столкновением дыры крутились так быстро, что буквально дёргали пространство-время вокруг себя с невероятной силой, а значит гравитационная рябь и вокруг них становилась все сильнее. Ученые подсчитали, что всего за одну последнюю секунду они высвободила примерно 5 триллион в четвертой степени джоулей гравитационной энергии, а это в три раза больше чем энергия солнца за всю ее жизнь прошлую и будущую. Для сравнения вращение нашей планеты вокруг солнца вырабатывается 200 Вт гравитационных волн, а это всего лишь энергия двух лампочек, а также это в несколько раз меньше утюга или чайником [2].

Самое интересное в данной истории, что она чуть ли не была пропущено, это произошло из-за того, что в 2010 году детекторы LIGO отключили, чтобы сделать им апгрейд, а именно увеличить чувствительность, потом LIGO снова запустили, но лишь в тестовом режиме. Руководители программы даже пробовали подбрасывать операторам фальшивые сигналы, чтобы проверить не примут ли ученые желаемы за действительное. И вот буквально за 3 дня до настоящего официального запуска LIGO, эхо ужасного столкновение черных дыр долетело до земли, при этом остальные лазерные «линейки» в мире тогда не работали или были слишком слабыми, так детектор LIGO всё же смог уловить весточку, которая шла к нам миллиард лет [3].

Но всё-таки зачем человеку сейчас нужны гравитационные волны? Что они меняют? Почему об этом все говорят? Эйнштейн и его коллеги смотрели далеко будущее, как в бинокль, а людям, которые смотрели под ноги казалось, что их теории являются бесполезными исследованиям, но сейчас люди знают, что из этих теорий вышла ядерная энергия, GPS-компьютеры, и еще большое количество вещей, без которых сейчас трудно представить нашу реальность. Также многие люди в 18 веке думали, что электричество годится только для забавных фокусов, например, для экспериментов над лягушками, а паровой двигатель изобрели ещё в Древней Греции, но он стал всего лишь игрушкой для богатых. Сейчас мы тоже, как и тогда смотрим себе под ноги, если бы к нам прилетели ученые из будущего и рассказали, где и как пригодились гравитационные волны, было бы для нас также непонятно, как и для древних греков

---

GPS, ядерные электростанции, поэтому изучать гравитационные волны - тоже смотреть в бинокль будущего. Люди пока не знают, что гравитационные волны создадут в дальнейшем, но уже понимают, что они могут рассказать в ближайшие годы, например, сигнал LIGO стал первым надежным доказательством того, что чёрные дыры и правда существуют, так как раньше находили их только с помощью косвенных признаков. В этом есть и своя ирония при жизни сам Эйнштейн был против гипотезы о существовании черных дыр [4].

Также у человека появились новые «глаза» для наблюдения за вселенной: телескопы, оптика, рентген, УФ/ИК. Например, многие считают, что в центре галактики находится сверхмассивная черная дыра, так если с ней что-нибудь произойдет, то человек сможет это услышать. Также есть предположение, что с помощью гравитационных волн даже получится доказать или опровергнуть знаменитую теорию струн. Уже сейчас строится новый гравитационный телескоп Эйнштейна. А через 20 лет в космос полетит новая гравитационная лазерная «линейка» - eLisa, только в этот раз длиной в 1000000 км, она будет в 1000 раз точнее, сможет ловить сотни сигналов в год, а также точно показывать откуда они прилетели. Поэтому если сегодня существуют вопросы о необходимости измерять гравитационные волны, просто нужно вспомнить о том, что может быть когда-нибудь люди сами смогут искривлять пространство и время.

### Список литературы

1. Почему открытие гравитационных волн так важно? [Электронный ресурс]. URL: <https://naked-science.ru/article/interview/sergey-kopeykin-pochemu-otkrytie> (дата обращения: 01.01.18).
  2. Гравитационные волны [Электронный ресурс]. URL: <https://hi-news.ru/tag/gravitacionnye-volny> (дата обращения: 04.01.19).
  3. В поисках гравитационных волн: проект ЛИГО [Электронный ресурс]. URL: <https://www.nkj.ru/archive/articles/7118/> (дата обращения: 05.01.18).
  4. Гравитационные волны: что это такое, в чем ценность открытия и как утроен детектор волн ЛИГО [Электронный ресурс]. URL: <https://blog.mann-ivanov-ferber.ru/2016/02/12/gravitacionnye-volny-cto-eto-takoe-v-chem-cennost-otkrytiya-i-kak-ustroen-detektor-voln-v-ligo/> (дата обращения: 05.01.19).
  5. Гравитационные волны и медленный ход научных революций [Электронный ресурс]. URL: <https://inosmi.ru/science/20180703/242656628.html> (дата обращения: 06.01.18).
-