

УДК 53.072.8; 53.072.21

ПРИБОР ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ МЕХАНИЧЕСКИХ ВОЛН КАК АНАЛОГ ИНТЕРФЕРОМЕТРА LIGO

Пирогов Д. В.

*Учреждение образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»
филиал «Минский радиотехнический колледж»,
г. Минск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель: Комяк Е.Н. – преподаватель высшей категории дисциплин
естественно-математического цикла*

Аннотация. В статье рассмотрено понятие гравитационных волн, строение интерферометров на примере интерферометра LIGO. Представлен прибор для регистрации механических волн. Описан эксперимент с механическими волнами.

Ключевые слова: гравитационные волны, интерферометр, пространство-время.

Введение. С самого зарождения человечества людей интересовали звёзды и процессы, которые в них происходят. Вначале люди смотрели на них, даже не имея простейших линз, но всё кардинально изменилось в 1609 году с изобретением телескопа. Точно так же наш мир изменился в 2015 году, когда интерферометры LIGO обнаружили гравитационные волны от слияния предположительно двух чёрных дыр [1].

Гравитационные волны – это "рябь" в пространстве-времени, вызванная некоторыми из самых сильных и энергичных процессов во Вселенной. Альберт Эйнштейн предсказал существование гравитационных волн в 1916 году в своей общей теории относительности. Математика Эйнштейна показала, что массивные ускоряющиеся объекты (такие как нейтронные звезды или черные дыры, вращающиеся вокруг друг друга) нарушают пространство-время таким образом, что "волны" волнообразного пространства-времени будут распространяться во всех направлениях от источника. Эти космические волны будут распространяться со скоростью света, неся с собой информацию об их происхождении, а также ключи к разгадке природы самой гравитации.

Но почему для нас настолько важны эти гравитационные волны? Представьте, что люди – это вид, у которого есть только глаза и нет ушей. Вы можете многое узнать об окружающем вас мире, просто изучая свет, исходящий от предметов. И вот однажды кто-то изобретает то, что они называют ухом. Это устройство улавливает вибрации в воздухе или воде, о существовании которых вы раньше и не подозревали. Это ухо открывает совершенно новую область наблюдений, к которой у вас не было доступа, просто изучая электромагнитное излучение! Как антенна, способная улавливать вибрации в "среде" пространства-времени, интерферометр сродни человеческому уху, способному улавливать вибрации в такой среде, как воздух или вода. И именно поэтому мне стало интересно создать устройство, способное также весьма точно воспринимать колебания окружающей среды (в моём случае это была вода).

Основная часть. Каждый массивный объект, который ускоряется, создаёт гравитационные волны. Это включает людей, автомобили, самолёты и т.д., но массы и ускорения объектов на Земле слишком малы, чтобы гравитационные волны были заметными для обнаружения с помощью интерферометров. Поэтому для того чтобы увидеть эти изменения мной была выбрана вода в качестве среды проведения моего эксперимента. Давайте для начала разберёмся, как работает интерферометр LIGO и почему я был вынужден строить устройство абсолютно на него не похожее.

Принцип действия интерферометра заключается в следующем: пучок электромагнитного излучения (света, радиоволн и т. п.) с помощью того или иного устройства пространственно разделяется на два или большее количество согласованных пучков. Каждый из пучков проходит различные оптические пути и направляется на экран, создавая интерференци-

онную картину, по которой можно установить разность фаз интерферирующих пучков в данной точке картины (рисунок 1). Ну а, чтобы вы понимали масштаб этого устройства, то в интерферометре LIGO конечные пробные зеркала располагаются на расстоянии 4 км [2].

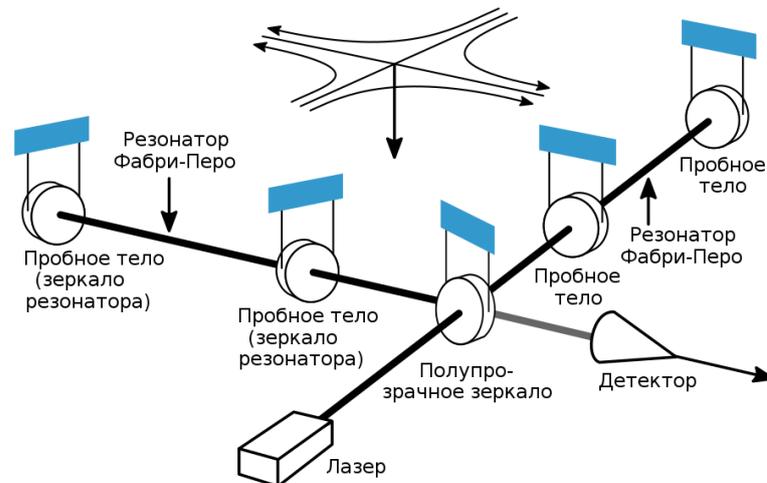


Рисунок 1 – Схема интерферометра LIGO

А теперь почему именно мне пришлось отказаться от макета интерферометра. Я использую воду как несжимаемую жидкость для иллюстрации пространства-времени. Однако волны на воде не способны искривить его. Следовательно, разность фаз не будет видна. А для меня в эксперименте было особенно важно показать принцип работы этого устройства, а именно саму интерференцию, с чем мой измерительный буйёк отлично справился.

Принцип работы моего устройства крайне схож с устройством интерферометра. Так же, как и в этом высокотехнологичном устройстве, данные фиксируются в момент, когда один из буйков или зеркал находится в отличном положении от остальных, что в реальности достигается благодаря гравитационным волнам и чего я достиг искусственно, создавая колебания на водной глади.

Устройство моего измерительного буйка крайне просто: с трёх сторон от основания на расстоянии 12 сантиметров от него расположены буйки, удерживающие всю конструкцию на воде. В основании находится измерительная стрелка для точной фиксации колебаний водной глади. По бокам ванночки расположены 2 штатива, удерживающие лист бумаги для фиксации колебаний на водной глади (рисунок 2).

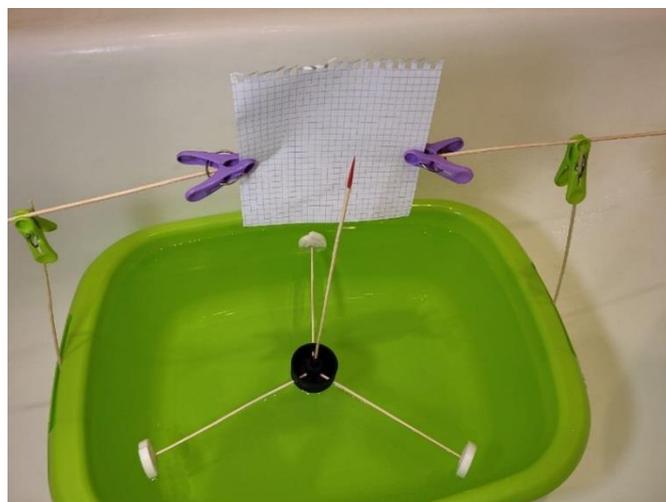


Рисунок 2 – Фотография конструкции измерительного буйка

Перейдём к результатам опытов. В первом опыте я слева кидал один груз в воду. Волны, созданные при падении объекта в воду, переместили буйёк на 13 клеток (6.5 см). Рисунок 3 (до опыта) и рисунок 6 (после опыта) демонстрируют поведение буйка.

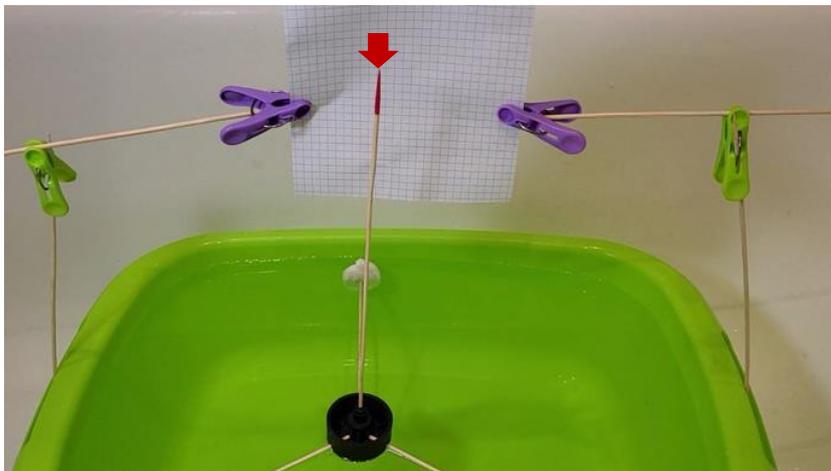


Рисунок 3 – Фотография буйка до 1-го эксперимента

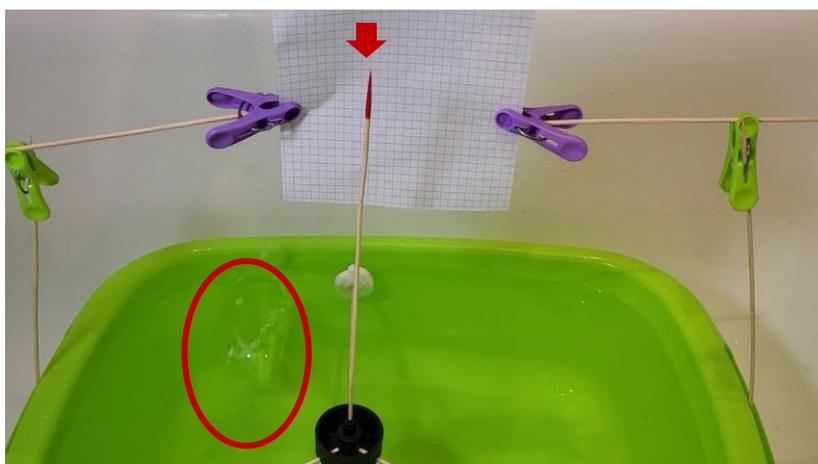


Рисунок 4 – Фотография буйка в момент падения груза в 1-м эксперименте

На рисунке 5 мы явно видим, как волны, вызванные падением объекта уже через короткое время, значительно передвигают стрелку.

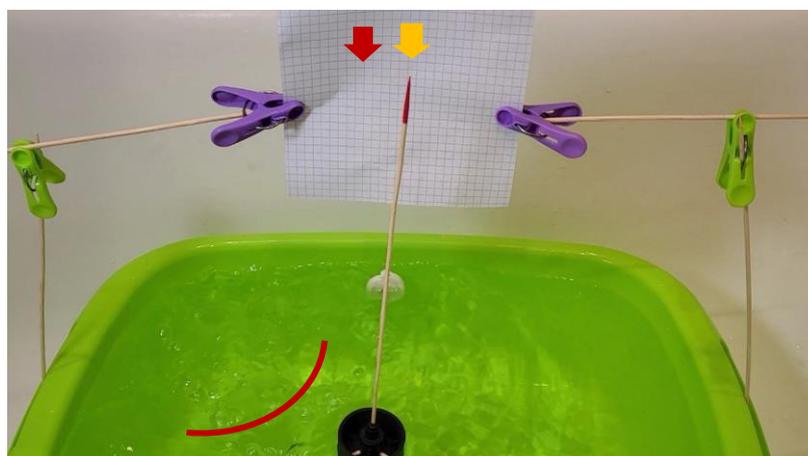


Рисунок 5 – Фотография буйка в момент падения груза в 1-м эксперименте

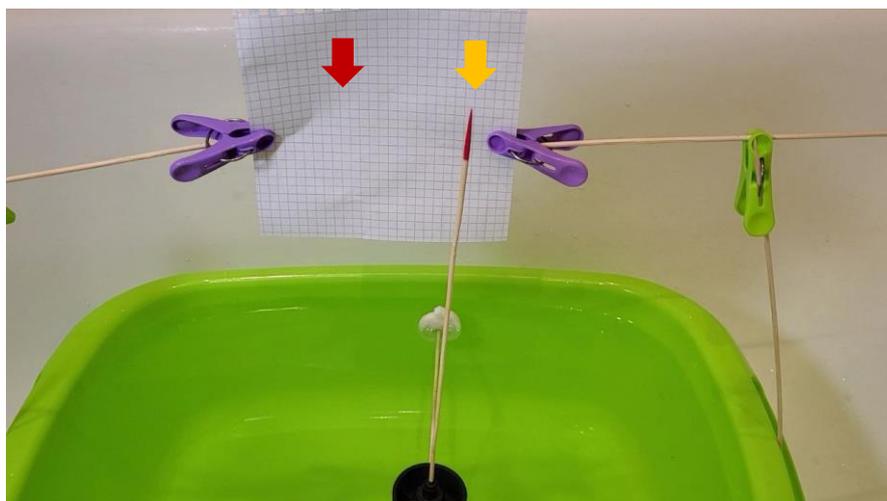


Рисунок 6 – Фотография буйка после 1-го эксперимента

Проведённый эксперимент позволил убедиться в том, что наше измерительное устройство исправно работает. Приблизим условия к более реальным и посмотрим, как поведёт себя буйёк при интерференции волн.

Уроним в воду два груза. На рисунке 7 виден момент падения. Заметно, что один из грузиков упал в воду раньше второго.

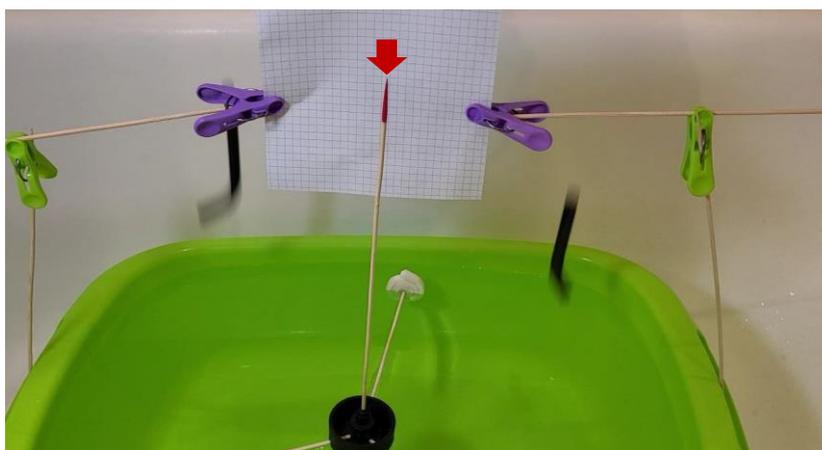


Рисунок 7 – Фотография буйка до 2-го эксперимента

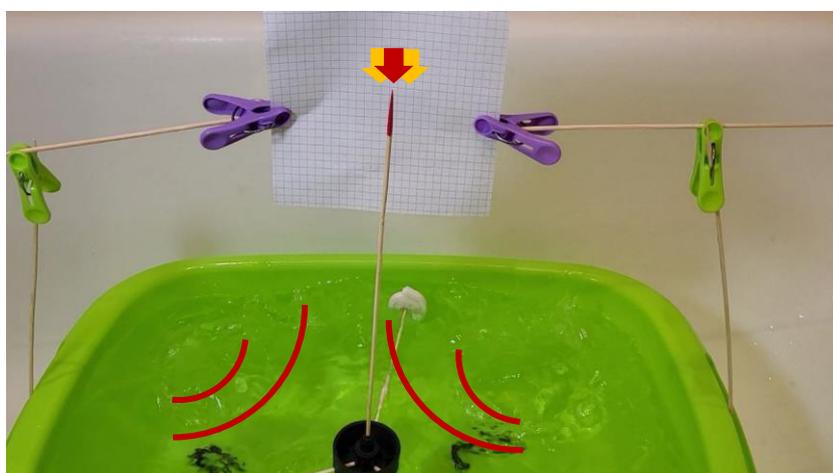


Рисунок 8 – Фотография буйка в момент 2-го эксперимента

Можно заметить (рисунок 9), что в отличие от первого эксперимента стрелка переместилась всего на 7 клеток (3.5 см). Это произошло из-за влияния волн от первого груза на волны второго и т.к. они были разнонаправлены, то получилось так, что колебания от одного груза существенно уменьшили колебания другого. Тем самым мы наблюдали интерференцию волн.

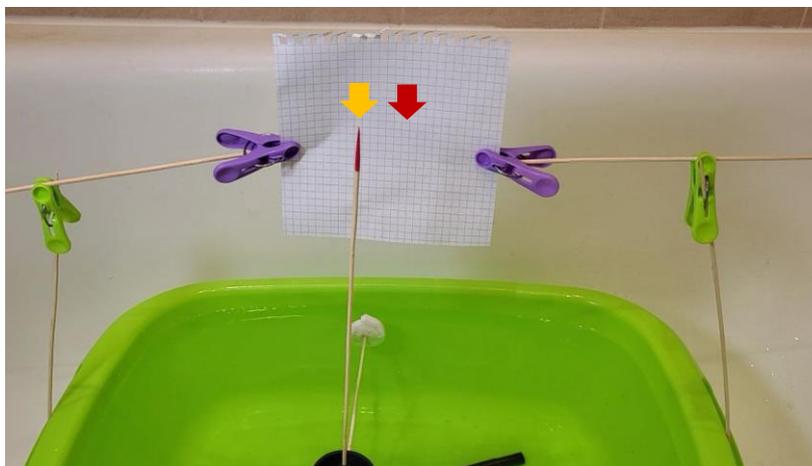


Рисунок 9 – Фотография буйка после 2-го эксперимента

Заключение. Целью моих экспериментов стало описать гравитационные волны и устройство для их регистрации. Также в своих опытах я рассмотрел принципы, по которым устроены интерферометры и постарался перенести их на воду для лучшего понимания их устройства. Принцип интерференции, который используется в их работе, также был зафиксирован и моим буйком. Таким образом было реализовано устройство для наблюдения интерференции волн на поверхности воды как макета интерферометра.

Список литературы

1. NASA science [Electronic resource] / What is a Gravitational Wave, NASA Official: Kristen Erickson, 1984. – Режим доступа: <https://spaceplace.nasa.gov/gravitational-waves/en/>. – Дата доступа: 13.03.2022.
2. LIGO – A Gravitational-Wave interferometer [Electronic resource] / LIGO laboratory, MC 100-36 California Institute of Technology Pasadena, 1986. – Режим доступа : <https://www.ligo.caltech.edu/page/ligo-gw-interferometer>. – Дата доступа : 12.03.2022.

UDC 53.072.8; 53.072.21

A DEVICE FOR RECORDING MECHANICAL WAVES AS AN ANALOGUE OF THE LIGO INTERFEROMETER

Pirogov D.U.

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Affiliate "Minsk Radioengineering College" Minsk, Republic of Belarus

Scientific supervisor: Kamyak E.N. – teacher of the highest category of disciplines of natural and mathematical cycle

Annotation. The article considers the concept of gravitational waves, the structure of interferometers on the example of the LIGO interferometer. A device for registration of mechanical waves is presented. An experiment with mechanical waves is described.

Keywords. gravitational waves, interferometer, space-time.