Краевая научно-практическая конференция учебно-исследовательских и проектных работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

# Изучение стоячих волн в системе “сосуд с жидкостью”

Мишталь Екатерина,
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Герцен Татьяна Анатольевна,
к.х.н., доцент ПНИПУ

Пермь. 2013.

## Введение

**Гармоника Франклина**, или гласкорд, – старинный музыкальный инструмент, представлял собой вал, помещённый в продолговатый футляр, до определённого уровня наполненный водой. На этом валу было укреплено до сорока полушарий, постепенно увеличивающихся в размере и вдвинутых друг в друга . Вал с прикреплёнными к нему полушариями приводился во вращательное движение с помощью ножной педали. Перед началом игры стеклянные полушария смачивали и, прикасаясь пальцами к тому или иному полушарию, извлекали желаемые звуки. Звуковой объём этого инструмента имел до трёх-четырёх октав, в зависимости от числа стеклянных чаш (от 37 до 46).

В XVIII в. этот инструмент стал особенно популярен в Англии, где его появлению предшествовало увлечение игрой на стеклянных бокалах (в 1746 г. К.-В.Глюк дал концерт на 26 бокалах). Считается, что Б.Франклин усовершенствовал этот инструмент в 1761–1763 гг. и подарил г-же Дэвис, которая показывала его в 1765 г. сначала в Англии, а потом во Франции и Германии. Позже следы гармоники, сделанной Франклином, затерялись, но в конце XVIII – начале XIX вв. инструмент был достаточно популярен: и В.-А.Моцарт, и Л.Бетховен, и М.И. Глинка вводили его в партитуру своих произведений. В середине XIX в. гармоника вышла из моды, однако она не пропала бесследно. Более того, экземпляры этого инструмента можно увидеть в Петербурге, в Музее музыки в Шереметевском дворце («Фонтанный дом»), и услышать – в июле 2006 г. в Пярну и Риге прошли концерты Томаса Блоха (Франция) на стеклянной гармонике .

Набор простейших музыкальных инструментов, доступных каждому – звучащие бокалы, – могут быть с успехом использованы и на уроках физики для демонстрации звуковых явлений. С их помощью можно показать (т.е. дать возможность ученикам увидеть и услышать):

- связь между высотой тона и частотой колебаний;

- зависимость частоты колебаний от параметров колебательной системы;
- различие между простым звуком и сложным;
- возникновение стоячих волн в акустических музыкальных инструментах при излучении звука.

Но, к сожалению, объяснение физики поющего бокала достаточно сложно и не может быть во всей полноте представлено в рамках школьного курса.

## 1. Цель работы

Изучить взаимосвязь характеристик звуковых колебаний с параметрами акустической системы.

## 2. Задачи

1. Научиться извлекать звуки с помощью стеклянного сосуда
2. Измерить частоту и амплитуду колебаний, получившихся волн
3. Составить набор акустических систем

## 3. Теоретическая часть

### 1.1 Обзор научной литературы

Рассмотрим волны

Отдельные участки любого тела – твердого, жидкого или газообразного – взаимодействуют друг с другом. Поэтому, если в каком-либо участке упругой среды возникает деформация, то по прекращении внешних воздействий она не останется на месте, а начнет распространяться в среде во всех направлениях.

А значит, можно сказать, что волна – это изменение состояния среды, распространяющееся в пространстве с течением времени.

Волна характеризуется такими величинами, как:

1. Длина волны – наименьшее расстояние, между точками, колеблющимися с одинаковыми фазами;

2.Скорость волны – равна произведению ее длины на частоту колебаний.

Нас интересуют стоячие волны

Если плоская монохроматическая волна падает нормально на плоскую границу раздела двух сред, то в результате отражения от границы возникает также плоская волна, которая распространяется в обратном направлении. Аналогичное явление происходит при отражении волны, распространяющейся в струне и стержне, от закрепленного или свободного конца. На рис. 1.1 изображен процесс образования стоячей волны в шнуре, один конец которого закреплен.

Отраженная волна распространяется в обратном направлении и в каждой точке среды складывается с падающей волной. Если затухание в среде мало, амплитуды падающей и отраженной волн практически одинаковые. В этом

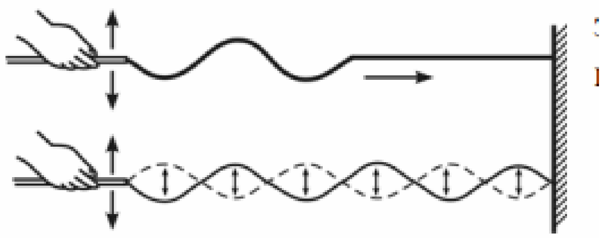

рис. 1.1.

случае в результате интерференции образуется стоячая волна.

Пусть падающая и отраженная волна распространяются в среде с таким малым затуханием, что амплитуды их практически одинаковые. Направление распространения волн свяжем с направлением оси X. Начало координат возьмем в точке, где встречные волны имеют одинаковые фазы, а начало отсчета времени

выберем так, что их начальные фазы равны нулю. Тогда уравнения плоских волн, которые распространяются в противоположных направлениях, будут иметь вид:

$$x_1 = A_0 \sin(\omega t - kx);$$

$$x_2 = A_0 \sin(\omega t\ k + x).$$

Сложив оба уравнения и преобразовав результат по формуле суммы синусов, получим

$$x = x_1 + x_2 = 2A_0 \sin(kx) * \cos(\omega t). \quad (1.2.)$$

Заменив волновое число k его значением 2π λ, выражению для X можно придать следующий вид:

$$x = (2A_0 \sin(2\pi * x/\lambda) * \cos(\omega t). \quad (1.3.)$$

Уравнение (1.3) и есть уравнение стоячей волны. Из него видно, что в каждой точке стоячей волны происходят колебания той же частоты, что и во встречных волнах. Если зафиксировать некоторую точку, которая имеет координату 1x , то для частицы, находящейся в этом точке, получим уравнение гармонического

колебания с амплитудой

$$A = 2A_0 \left| \sin(2\pi * x/\lambda) \right|.$$

λ . Как видим, амплитуда стоячей волны зависит от координаты *x*. Знак модуля

означает, что амплитуда — всегда положительна.

В точках, где $2\pi\, x/\lambda = \pm n\pi$ ($n = 0, 1, 2, 3\ldots$), амплитуда колебаний обращается в нуль. Эти точки называются узлами. Точки среды, которые находятся в узлах, колебаний не совершают. В эти точки падающая и отраженная волны приходят в противоположных фазах. Координаты узлов имеют следующие значения:

$x_у = \pm n\lambda/2$. Расстояние между соседними узлами $x_{n+1} - x_n = \lambda/2$ .

В точках, где $2\pi x/\lambda = \pm(n+1)\pi/2$, амплитуда колебаний достигает максимального значения $2A_0$. Эти точки называют пучностями стоячей волны. В

них падающая и отраженная волны приходят в одной фазе. Координаты пучностей $x_п = \pm(2n+1)\lambda/4$, а расстояние между двумя соседними пучностями также равно $\lambda/2$. Пучности и узлы смещены относительно друг друга на четверть

длины волны: $x_у - x_п = \lambda/4$.

Таким образом, стоячая волна представляет периодическое во времени колебание с характерным пространственным распределением амплитуды — чередованием узлов (нулей) и пучностей (максимумов). В линейных системах

стоячая волна может быть представлена как сумма двух бегущих волн равной амплитуды, распространяющихся навстречу друг другу.

Стоячие волны, которые возникают под действием одноразового импульса, в реальной системе постепенно затухают. Их называют собственными стоячими волнами. Стоячие волны с незатухающими амплитудами могут существовать в реальных системах только при наличии периодического внешнего воздействия, которое компенсирует потери энергии в системе. Это вынужденные стоячие волны, они аналогичны вынужденным колебаниям.

## 4. Экспериментальная часть

### 2.1 Оборудования

1. Стеклянный бокал с тонкими стенками без рисунка

2. Вода, для заполнения бокала

3. Масло, для заполнения бокала

4. Микрофон, для записи звука

5. Программа для обработки звука

### 2.2. Ход работы

2. Нальем в бокал воды, высотой столба 4см.

3. Проведем чистыми пальцами, смоченными водой, по краям стенок бокала до получения звука.

4. Включим запись звука, при помощи микрофона.

5. Запишем звук, получаемый при проведении пальцами по краям стенок бокала.

6. Обработаем звук в соответствующей программе.

7. Повторим пункты 2-5 для высоты столба воды 3см, 2см и 1см.
   Повторим пункты 1-6, используя вместо воды масло.

8. Сравним полученные результаты.