

Управление образования города Пензы

МУНИЦИПАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ

УЧРЕЖДЕНИЕ ГИМНАЗИЯ № 44 ГОРОДА ПЕНЗЫ

11 А Класс

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ ПРОЕКТ

по теме:

Исследование звуковых волн на примере фигур Хладни

Табаченков Андрей Михайлович

Пенза 2021

Оглавление

| | |
|---|----|
| 1. Введение | 1 |
| 2. Основная часть | 3 |
| 2.1. Теоретическая часть | 3 |
| 2.2. История звуковых волн..... | 4 |
| 2.3. Фигуры Хладни | 4 |
| 2.4. Опыты с фигурами Хладни..... | 6 |
| 2.5. Практическая часть (исследование зависимости фигур Хладни от характеристик источника)..... | 8 |
| 2.5.1. Исследование фигур Хладни на бумаге..... | 8 |
| 2.5.2. Исследование фигур Хладни на пластине из полистирола | 11 |
| 2.6. Лабораторная работа | 13 |
| 2.6.1. Уровень А..... | 13 |
| 2.6.2. Уровень В..... | 14 |
| 2.6.3. Уровень С..... | 15 |
| 3. Заключение | 15 |
| 4. Список использованных источников | 15 |
| Приложение | 16 |
| Приложение А. Основная часть | 16 |
| Приложение Б. Фото фигур Хладни | 16 |

1. Введение

На уроках физики в средней и старшей школах большую часть времени изучается раздел механики, в котором учащиеся знакомятся со многими явлениями, закономерностями, происходящими в природе, законами, объясняющими их суть и происхождение.

Одним из таких явлений являются колебания и волны, в частности, звуковые волны. Хотя в современной школьной программе изучаются только основные свойства и характеристики звуковых волн, их изучение важно не только для понимания окружающего мира, но и для применения их в различных приборах, устройствах и механизмах.

Многие явления и закономерности в разделе звуковых волн, не изучаемые в школьной программе, имеют довольно большую значимость при изучении этой темы в институте и разработке различных научно-технических проектов и исследований в будущем времени. От того, насколько глубоко ученик разбирается в данной теме сейчас, зависит, как продуктивно и эффективно будет проходить её изучение в дальнейшем.

Поэтому основанием для проведения исследования является необходимость в углубленном изучении звуковых волн, повышении уровня знаний учащихся в данном разделе физики.

Исходные данные для разработки темы приняты на основании анализа научной литературы о звуковых волнах.

Планируемый научно-технический уровень разработки – школьный, так как главным назначением исследования является помощь в углубленном изучении школьниками звуковых волн.

Актуальность моего исследования состоит в том, что в сегодняшнее время особенно важны не только базовый уровень знаний, но и углубленные знания и умение применить эти знания на практике. Новизна состоит в том, что явления и закономерности, с которыми ученики до этого не сталкивались на школьном курсе физики, будут ими усвоены в процессе проделывания исследовательской (лабораторной) работы на данную тему.

Целью исследования является углубленное изучение звуковых волн при помощи исследования фигур Хладни – одного из важнейших явлений в разделе колебаний, которому в школьной программе не уделяется время.

Основными задачами являются:

1. изучить теоретический материал про звуковые волны и фигуры Хладни;
2. сделать установку, необходимую для проведения исследований фигур Хладни;
3. провести исследование зависимости фигур Хладни от характеристик источника звуковых волн;
4. собрать, систематизировать и объяснить теоретически полученные в результате исследования данные, создать лабораторную работу для углубленного изучения школьниками Фигур Хладни.

Методами выполнения и являются:

1. сбор установки для генерирования на ней фигур Хладни;
2. наблюдение за фигурами Хладни и их анализ при различных характеристиках источника, генерирующего фигуры.

Объектом моего исследования являются фигуры Хладни, а предметом исследования – зависимость фигур Хладни от характеристик источника. Продукты моего исследования – установка для получения фигур Хладни, исследовательские данные о зависимости фигур Хладни от частоты.

Моя гипотеза состоит в том, что фигуры Хладни действительно напрямую зависят от характеристик источника.

Теоретическая значимость исследования состоит в получении зависимости фигур Хладни от частоты, которая необходима для других исследований и разработки приборов и устройств.

Практическая значимость состоит в том, что полученные исследовательские данные и установка могут быть использованы учащимися не только для исследования ими зависимости Фигур Хладни от характеристик источника, но и для проведения схожих исследовательских работ с фигурами Хладни с целью углубленного изучения звуковых волн

2. Основная часть

2.1. Теоретическая часть

Перед изучением фигур Хладни необходимо обратиться к базовым понятиям раздела звуковых волн и колебаний.

Колебания – периодически повторяющиеся движения в противоположные стороны.

Волны – процесс распространения колебаний в пространстве.

Фаза – характеризует состояние колебательной системы в данный момент времени.

Амплитуда – максимальное отклонение от положения равновесия.

Период – время, за которое тело совершает 1 колебание.

Частота – количество колебаний в единицу времени.

Длина волны – расстояние, которое проходит волна за период.

Продольные волны – волны, в которых частицы среды колеблются в плоскости, расположенной вдоль направления распространения волн.

Поперечные волны – волны, в которых частицы среды колеблются в плоскости, расположенной перпендикулярно направлению распространения волн.

Звуковые волны – продольные волны, частота которых изменяется от 17 до 20000 Гц.

Когерентные волны – волны одинаковой частоты и постоянной разности фаз.

Волны имеют ряд свойств. Интерференция – наиболее важное из них для нашего исследования, так как с ним напрямую связан процесс образования фигур Хладни.

Свойства волн:

- 1) Прямолинейное распространение (любая волна распространяется по прямой линии);
- 2) Отражение (волна способна отражаться от поверхности);
- 3) Преломление (при переходе из одной среды в другую меняется угол между направлением движения волны и нормалью);
- 4) Поглощение (при переходе из одной среды в другую часть волны способна поглощаться);
- 5) Интерференция (явление наложения двух или нескольких когерентных волн, сопровождающееся перераспределением энергии в пространстве.);
- 6) Дифракция (явление огибания волнами препятствия);
- 7) Поляризация (нарушение симметрии в распределении смещений и скоростей в поперечной волне относительно направления ее распространения);
- 8) Дисперсия (зависимость скорости распространения волн в данной среде от длины волны и частоты).

2.2. История звуковых волн

История изучения звуковых волн насчитывает более 2500 лет. Первооткрывателями можно считать Пифагора и Аристотеля. Первый установил в VI веке до нашей эры связь между высотой тона и длиной струны, издающей звуки; второй предположил, что звук распространяется от источника по воздуху, отражаясь от препятствий, что было подтверждено в 1660 году Робертом Бойлем. Важное значение имеют исследования Леонардо да Винчи.

В 18 веке было совершено действительно много важнейших открытий в области звуковых волн. В начале века были опубликованы мемуары Жозефа Савёра, где он исследовал периодические совпадения звуков, гармонические тоны, граничные значения частот.

После этого последовал ряд важных теоретических открытий. Ньютон провел первые расчеты длины звука; Брук Тейлор вывел знаменитую формулу зависимости частоты колебаний струны от длины; Эйлер исследовал зависимость скорости распространения звуковой волны от длины волны звука.

Однако отцом экспериментальной акустики считают Эрнеста Флореса Фридриха Хладни. Кроме всемирно известных фигур Хладни, ему принадлежат исследования колебаний стрелы, исследования эха и объяснение его природы, открытие продольных колебаний в твердых телах, измерения скорости распространения звука в различных средах (в воздухе, газах и твердых телах). В 1827 году также была измерена скорость распространения звука в воде: Ж. Колладон и Я. Штурм установили её значение в 1450 м/с.

19 век преимущественно известен открытиями в области применения звуковых волн. В 1876-1878 гг. Александр Белл и Т. Ватсон создали первый телеграф и осуществили звонок на целые 500 метров. В 1878 году Томас Эдисон изобрел угольный микрофон, а за год до этого сделал фонограф, способный воспроизводить свою запись (первый фонограф Мартинвилля, изобретённый им в 1857 году, не мог воспроизводить запись и носил чисто экспериментальный характер). Кроме того, в 1888 году Эмиль Берлинер изобрёл граммофон, а в 1927 году Фриц Пфлеймер – магнитофон. [1], [2]

2.3. Фигуры Хладни

Как говорилось ранее, Эрнест Хладни особенно известен своими исследованиями так называемых фигур Хладни. Сам учёный говорил о своих опытах так:

«Мне удалось найти средство, при помощи которого всевозможные виды звуков подобных тел, без примеси других, можно не только слышать, но и видеть; и потому я надеюсь сообщением об этих моих наблюдениях дать хоть несколько правильных указаний для более точного исследования этого мало разработанного отдела механики».

Хладни, зная что звуковые волны недостаточно изучены, решил провести это исследование Фигур Хладни, которые не только визуализируют явление звуковых колебаний, но и основаны на другом, неизученном до него явлении стоячих волн.

Необычное явление появления узоров из песка на пластине при её вибрации было впервые замечено ещё в 17 века не менее известным Робертом Гуком. Однако фигуры носят имя Эрнеста Хладни, так как именно его исследования пролили свет на многие неизвестные в то время в

акустике явления и закономерности, наиболее важное из них – именно стоячая волна. После Хладни исследованиями стоячей волны и вибрации твердых тел занимались Пуассон, Савар, Фурье и многие другие учёные. А сами фигуры Хладни и по сей день используются в дефектоскопии (топографический метод исследования пластинок и оболочек при помощи нанесения на них порошка для визуализации звуковых колебаний), также используются в архитектуре (фигуры Хладни имеют большую важность для создания необычных красивых узоров).

В ходе эксперимента на тонкую металлическую пластинку насыпали некоторое количество песка. Затем учёный проводил по краю пластины смычком, тем самым вызывая в ней распространение звуковых волн. В результате на пластине частицы песка стали образовывать узоры. (Прил. 1)

Чтобы объяснить данное явление, необходимо обратиться к тому самому понятию стоячей волны. Стоячие волны – колебания в колебательной системе, возникающие в результате наложения прямых и отражённых волн. При подаче звуковых волн в колебательную систему (в данном случае металлическую пластинку) часть волн отражается от границы нашей системы (в данном случае – от краев пластинки). В результате ближе к центру колебательной системы происходит наложение исходных прямых волн и отражённых. Вследствие этого в колебательной системе происходит распределение пучностей (где волна находится в состоянии амплитуды, то есть имеет наибольшую скорость) и узлов (неподвижные места стоячей волны). Поэтому частицы песка перемещаются к пучностям (где скорость волны максимальна), тем самым и образуются так называемые фигуры Хладни. (Прил. 2)

В своём исследовании я хочу исследовать зависимость фигур Хладни от характеристик источника, генерирующего стоячие волны в пластинке, однако на образование этих узоров влияют и многие другие факторы:

1. **Толщина пластины.** При довольно большой толщине очень мало волн, которые движутся от источника вибраций к краям пластины, отражаются от них и накладываются на прямые волны (при большой толщине сопротивление движению волн со стороны пластины слишком большое). В результате малого числа таких наложений образуется не так много пучностей и узлов, а узоры на пластине либо примитивны, либо и вовсе отсутствуют. Поэтому стоит использовать довольно тонкие пластины, как это и делал Эрнест Хладни (1-2 мм).
2. **Материал пластины.** Наверное, самый важный фактор из всех, так как он влияет не только на характеристики фигур Хладни, но и на успешность их образования в принципе. Так же, как и с толщиной пластины, следует учитывать, насколько хорошо волны распространяются в данной пластине. Поэтому во время создания установки для фигур Хладни нужно уделять особое внимание выбору материала пластины, ориентируясь не только на физические свойства материала, но и на размеры пластины и характеристики источника вибраций. Например, Хладни использовал металл. В моём случае на металлической пластине довольно мало частот, при которых образуются фигуры Хладни: только 70 и 700 Гц. Это связано с тем, что пластинка имеет довольно большую массу и при малых частотах почти не колеблется, при средних и больших частотах колебания слишком медленные. Поэтому я решил использовать бумагу и пененый полистирол, так как они легче металла и на них образование фигур Хладни получается лучше.

3. **Размеры пластины.** В данном случае не рекомендуется использовать бумагу и пластины небольших размеров. При небольших размерах точек наложения прямых и отраженных волн на единицу площади чересчур много, поэтому наблюдать за образованием фигур Хладни довольно проблематично. (Оптимальный размер для квадратной пластины – ширина в 20-30 см).
4. **Форма пластины.** Чаще всего используют квадратные или круглые пластины. Выбор формы пластины определяет форму узоров. В круглых пластинах расстояние от центра до краев одинаковое, поэтому узоры чаще всего имеют симметричную форму «звезд». (Прил. 3) В квадратных расстояние разное, поэтому фигуры бывают самые разнообразные (квадраты, окружности, дугообразные и прямые линии и т. д.). (В своём опыте я буду использовать по этой причине лист бумаги и полистирол в форме квадрата 25 на 25 см). Если использовать пятиугольные, шестиугольные, семиугольные или восьмиугольные пластины, то фигуры Хладни будут ещё более сложными и разнообразными. (Прил. 4)
5. Не стоит забывать про выбор вибрирующего вещества (который при вибрации пластины или бумаги образует фигуры Хладни). Чаще всего используют песок или соль. Я же использовал песок, так как крупинцы песка имеют меньшие размеры, чем крупинцы соли, поэтому они лучше перемещаются по поверхности (однако здесь также не стоит забывать про материал пластины, так как песок может после долгого времени на поверхности пластины прилипнуть к ней). Кроме того, необходимо при выполнении опытов сыпать на поверхность пластины или бумаги среднее количество песка. При большом количестве образуются чересчур большие пучности песка и фигуры становятся неровными, если насыпать мало песка, то фигуры будут нечеткими.

Поэтому при создании установки для фигур Хладни нужно внимательно подходить к выбору формы, размеров, материала пластины, к выбору вибрирующего вещества. [1], [2], [3], [4]

2.4. Опыты с фигурами Хладни

В своей работе я буду исследовать зависимость фигур Хладни от характеристик источника стоячих волн. Однако стоит отметить ряд других опытов с фигурами Хладни, которые довольно полезны при изучении стоячих волн и распространений колебаний в различных средах.

1. Стоячие волны в различных материалах.

Как говорилось ранее, довольно большое влияние на фигуры Хладни оказывает материал пластины. Для того, чтобы лучше понимать физические свойства, сходства и различия этих материалов, нужно провести опыт с образованием на них фигур Хладни.

В качестве материалов можно использовать уже знакомые нам бумагу или металл, полистирол, а также латунь, древесину, стекло, пластик и другие материалы по личному выбору. Необходимо сравнить фигуры Хладни, образующиеся на них. Для этого пластины из разных материалов должны иметь одинаковую форму (все пластины должны быть квадратными, хотя можно использовать и круглые пластины для исследования различий между распространениями стоячих волн в колебательных системах с круглыми и квадратными границами), одинаковые

размеры (около 30 см в ширину, не более 3-4 мм толщиной), одинаковый источник вибраций и один и тот же песок для образования узоров. (Это позволит сравнить фигуры Хладни при разных материалах пластин, не ориентируясь на другие факторы).

Необходимо рассматривать фигуры на пластинах при низких, средних и высоких частотах. Сравнение должно происходить по нескольким критериям:

- Время образования фигур
- Успешность образования
- Число узлов и пучностей
- Форма и сложность геометрических узоров

Проведя опыт, можно сделать вывод о многих физических свойствах материалов (плотность, распространение стоячих волн, прочность, гибкость и др.)

2. Получение фигур Хладни с помощью духового инструмента.

В опытах с фигурами Хладни можно использовать самые разные источники вибраций. Эрнест Хладни использовал смычок, чаще всего используют динамики. Однако в данном опыте нужно использовать духовой инструмент.

Рекомендуется использовать стеклянную пластину с натянутой на нее резиновой мембраной. Чтобы вызывать вибрацию пластины и привести частицы песка на мембране в движение, нужно держать духовой инструмент на расстоянии 5 см под углом 30-45 градусов, извлечение звука должно происходить при постоянной амплитуде и частоте в течение около 30 секунд. Если расстояние будет слишком большим или малым, а время недостаточно большое, то вероятность появления узоров крайне мала.

По итогам опытов можно сделать вывод о действии духового инструмента на пластину с мембраной.

В данном опыте можно также исследовать зависимость фигур Хладни от высоты тона и нот духового инструмента.

3. Получение фигур Хладни в жидкости.

Во всех предыдущих опытах мы рассматривали распространение стоячих волн в твердых пластинах. Однако они могут распространяться и в жидких средах, поэтому опыт с получением фигур Хладни в жидкости становится возможным.

В качестве жидкости можно использовать воду, но рекомендуется лучше использовать смесь крахмала с водой, так как она более плотная и тягучая и в ней лучше будут видны фигуры Хладни (можно также использовать неньютоновскую жидкость).

Эту смесь необходимо налить в чашу и поставить ее на динамик. Включив его и настроив на оптимальную частоту, мы будем наблюдать образование фигур Хладни в жидкой среде.

Этот опыт вероятно даже лучше показывает явление стоячей волны, так как фигуры Хладни образуются не частицами песками, а самой поверхностью жидкости, тем самым пучности и узлы видны более четко, чем в опытах с твердыми пластинами. [4]

2.5. Практическая часть (исследование зависимости фигур Хладни от характеристик источника)

В процессе создания установки я использовал источник звуковых волн с 3 характеристиками:

- 1) Частота
- 2) Напряжение
- 3) Форма звуковых колебаний

Поэтому я буду исследовать зависимость фигур Хладни именно от частоты, напряжения и форм колебаний источника. (Прил. 5)

Гипотеза: фигуры Хладни зависят от всех трех характеристик источника.

Цель работы: исследовать зависимость фигур Хладни от частоты, напряжения и формы колебаний источника звуковых волн.

2.5.1. Исследование фигур Хладни на бумаге

Приборы и материалы: источник звуковых волн, лист бумаги в форме квадрата 25 на 25 см, динамик, песок.

Ход работы:

- 1) аккуратно расположим лист бумаги на динамике
- 2) подключим динамик к источнику звуковых волн
- 3) включим источник и зададим на нём нужные нам характеристики
- 4) аккуратно и равномерно посыпаем лист бумаги песком
- 5) фотографируем получившиеся фигуры Хладни
- 6) повторяем 3-5 пункты, меняя характеристики источника

Формы колебаний: как говорилось ранее, одной из характеристик источника является форма звуковых колебаний. Всего имеется 4 типа (на источнике они изображены справа в виде 4 графиков-осциллограмм): синусоидальная, треугольная, меандр, пила. Форма колебаний представляет собой качественную характеристику звуковых колебаний, в то время как напряжение и частота – количественные характеристики. (Прил. 6)

Результаты опытов: в ходе эксперимента мною было получено 36 различных фигур Хладни при частотах 200, 400, 600, 742, 800, 1000, 1500 и 2000 Гц, напряжениях 1; 1,5; 2; 2,5 и 3 В и всех формах колебаний. (Фото фигур Хладни смотрите в приложении Б).

- 1) **Зависимость фигур Хладни от частоты.** При исследовании данной зависимости я выбрал напряжение, равное 2,5 В и синусоидальную форму колебаний.

| | | | | | | | | |
|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Частота, Гц | 200 | 400 | 600 | 742 | 800 | 1000 | 1500 | 2000 |
| Фигура Хладни | Рис. 1 | Рис. 2 | Рис. 3 | Рис. 4 | Рис. 5 | Рис. 6 | Рис. 7 | Рис. 8 |

При частоте от 200 до 400 Гц узловые линии практически отсутствуют, основная часть крупинок расположена в больших пучностях, причём с увеличением частоты эти пучности расположены ближе друг к другу, их количество уменьшается, а их размеры увеличиваются.

При частоте в 600 Гц появляется больше узловых линий, но основная часть крупинок всё ещё располагается в виде больших пучностей, расположенных рядом друг с другом. Их размеры уже меньше.

При частоте в 742 Гц пучностей гораздо больше, их размеры небольшие, они расположены равномерно по большей части листа. Теперь отчетливо видны узловые линии.

При больших частотах узловые линии и пучности с увеличением частоты вновь располагаются ближе друг к другу. Узловые линии отчетливо видны, однако размеры пучностей больше, поэтому часть из них образуют большие скопления песка. При частоте в 2000 Гц расположение пучностей наиболее сложное и упорядоченное.

2) **Зависимость фигур Хладни от напряжения.** При исследовании данной зависимости я выбрал синусоидальную форму колебаний. При этом зависимость я исследовал при частоте 200, 742, 1000 и 2000 Гц.

- 200 Гц

| | | | | | |
|---------------|--------|---------|---------|--------|---------|
| Напряжение, В | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Фигуры Хладни | Рис. 9 | Рис. 10 | Рис. 11 | Рис. 1 | Рис. 12 |

- 742 Гц

| | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Напряжение, В | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Фигуры Хладни | Рис. 13 | Рис. 14 | Рис. 15 | Рис. 4 | Рис. 16 |

- 1000 Гц

| | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Напряжение, В | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Фигуры Хладни | Рис. 17 | Рис. 18 | Рис. 19 | Рис. 6 | Рис. 20 |

- 2000 Гц

| | | | | | |
|---------------|---------|---------|---------|--------|---------|
| Напряжение, В | 1 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3 |
| Фигуры Хладни | Рис. 21 | Рис. 22 | Рис. 23 | Рис. 8 | Рис. 24 |

При напряжении 1 В часть крупинок равномерно распределена по бумаге, а не расположена в скоплениях-пучностях (причем с увеличением частоты количество таких

«свободных» крупинок растёт, например, при частоте 2000 Гц и напряжении 1 В пучностей и узловых линий практически нет, почти все крупинки равномерно распределены по бумаге).

При увеличении напряжения от 1 до 2,5 В количество таких крупинок уменьшается, пучности и узловые линии становятся более четкими, узоры становятся более похожими на те, что были при напряжении 2,5 В.

При напряжении 3 В узловые линии и пучности расположены ближе друг к другу, в результате часть пучностей соединяются в большие скопления песка.

3) **Зависимость фигур Хладни от форм колебания.** При исследовании данной зависимости я выбрал напряжение 2,5 В. При этом зависимость я исследовал также при частоте 200, 742, 1000 и 2000 Гц.

- 200 Гц

| | | | | |
|---------------|----------------|-------------|---------|---------|
| Форма | Синусоидальная | Треугольная | Меандр | Пила |
| Фигуры Хладни | Рис. 1 | Рис. 25 | Рис. 26 | Рис. 27 |

- 742 Гц

| | | | | |
|---------------|----------------|-------------|---------|---------|
| Форма | Синусоидальная | Треугольная | Меандр | Пила |
| Фигуры Хлдани | Рис. 4 | Рис. 28 | Рис. 29 | Рис. 30 |

- 1000 Гц

| | | | | |
|---------------|----------------|-------------|---------|---------|
| Форма | Синусоидальная | Треугольная | Меандр | Пила |
| Фигуры Хладни | Рис. 6 | Рис. 31 | Рис. 32 | Рис. 33 |

- 2000 Гц

| | | | | |
|---------------|----------------|-------------|---------|---------|
| Форма | Синусоидальная | Треугольная | Меандр | Пила |
| Фигуры Хлдани | Рис. 8 | Рис. 34 | Рис. 35 | Рис. 36 |

При частоте 200 Гц при переходе от синусоидальной формы к треугольной, от треугольной к форме пилы нижнее и верхнее скопления пучностей расположены ближе друг другу, а при переходе к форме меандра нижнее скопление и часть верхнего скопления образуют новое большое скопление.

При других частотах узоры при синусоидальной, треугольной формах и форме пилы похожи, однако при форме пилы пучности и узловые линии ближе расположены друг к другу (как и в случае с 200 Гц). При форме меандра часть пучностей образуют большие скопления песка.

Вывод: Фигуры Хладни зависят от характеристик источника звуковых волн. Это связано с поведением крупинц песка при вибрации листа бумаги и устройством установки:

При включении источника звуковых волн по проводам, соединяющим его с динамиком идет электрический ток, создавая вокруг себя переменное магнитное поле. В свою очередь в динамике имеется постоянный магнит, создающий вокруг себя постоянное магнитное поле. Оно взаимодействует с переменным и видоизменяется, тем самым происходят электромагнитные колебания. Внутри динамика имеется катушка, поэтому электромагнитные колебания в ней

преобразуются в механические колебания поверхности динамика, эти колебания в свою очередь приводят к колебаниям листа бумаги и образованию в них стоячих волн. Тогда будут совпадать формы колебаний и частоты стоячих волн пластины и источника, а от напряжения источника будет зависеть величина тока, а значит и интенсивность электромагнитных колебаний и колебаний динамика. Тем самым, стоячие волны, а значит и фигуры Хладни будут напрямую зависеть от источника.

1) **Зависимость от частоты.** При низких частотах от 200 до 600 Гц большая часть точек наложения прямых и отраженных волн расположена ближе к центру бумаги, поэтому большая часть пучностей песка и расположена в этом месте в виде больших скоплений.

При средних частотах от 600 до 800 Гц точек наложения больше, особенно их больше вне центра листа, поэтому там появляются новые пучности и узловые линии, в то время как в центре скоплений песка и пучностей становится меньше.

При высоких частотах от 800 до 2000 Гц возрастает количество точек наложения не только вне центра, но и внутри него, поэтому пучности больше, но они расположены ближе к центру, в связи с чем часть из них образуют большие скопления песка в центре.

2) **Зависимость от напряжения.** Напряжение источника звуковых волн влияет на скорость движения частиц песка. Поэтому при малых напряжениях 1-2 В эти частицы образуют нечеткие узоры, узловых линий и пучностей меньше, чем при больших напряжениях. При напряжениях 2,5 В и более узоры образуются четкие, однако чем больше напряжение, тем выше скорость частиц, и тем больше из них скапливаются в точках наложения (отсюда и образуются большие скопления песка).

3) **Зависимость от форм колебаний.** Данная характеристика является качественной, поэтому фигуры Хладни при синусоидальной, треугольной формах и форме Пилы практически не отличаются. Однако при форме Пилы звуковые колебания «скачкообразные»: фаза колебаний (величина, характеризующая их состояние) равномерно возрастает до максимального значения, затем мгновенно уменьшается до минимального. Вследствие таких колебаний частицы песка немного ближе расположены к центру вибрирующего листка.

Однако фигуры Хладни сильно отличаются от остальных при форме меандра, так как звуковые колебания постоянно находятся в состоянии амплитуды (максимальной или минимальной фазы). Вследствие этих амплитудных колебаний листка довольно много частиц скапливается в точках наложения прямых и отражённых волн.

2.5.2. Исследование фигур Хладни на пластине из полистирола

Исследование фигур Хладни на бумаге позволило понять, как характеристики источника влияют на образование пучностей и узловых линий. Однако с помощью специальной установки и плотного и прочного полистирола можно получать самые необычные и сложные узоры. Их изучение позволит ещё глубже исследовать свойства фигур Хладни.

Приборы и материалы: песок, специальная установка (Прил. 7), источник звуковых волн.

Строение специальной установки: к центру динамика прикреплен центральный стержень, проходящий сквозь стеклянную пластинку, установленную при помощи 4 других стержней,

прикрепленных к краям динамика. К центральному стержню прикреплена горизонтально пластина из полистирола. (Стеклянная пластинка необходима для равновесия полистирольной пластинки, кроме того, без неё центральный стержень с полистирольной пластиной будут давить на поверхность динамика и повредят её).

Подключим динамик к источнику звуковых волн, насыпаем на полистирол песок, задаём на источнике нужные нам параметры и получаем удивительные фигуры Хладни.

Фигуры Хладни:

| Фигуры | Частота, Гц | Напряжение, В | Форма колебаний |
|---------|-------------|---------------|-----------------|
| Рис. 37 | 30 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 38 | 50 | 4,5 | Синусоида |
| Рис. 39 | 50 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 40 | 60 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 41 | 70 | 3,9 | Синусоида |
| Рис. 42 | 70 | 5,1 | Синусоида |
| Рис. 43 | 75 | 5,1 | Синусоида |
| Рис. 44 | 75 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 45 | 75 | 5,1 | Пила |
| Рис. 46 | 150 | 5,1 | Синусоида |
| Рис. 47 | 152 | 5,1 | Синусоида |
| Рис. 48 | 154 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 49 | 260 | 5,1 | Меандр |
| Рис. 50 | 370 | 5,1 | Синусоида |
| Рис. 51 | 380 | 5,1 | Меандр |

При частотах, больших 400 узоры не появлялись, так как длина стоячих волн стала недостаточно большой для образования фигур Хладни.

Проанализируем зависимость полученных фигур от характеристик источника. Во-первых, наглядно видно, что с увеличением частоты фигуры становятся более сложные и необычные. При частоте 30 Гц имеются 4 скопления пучностей, при частоте 50 Гц мы уже видим параллельные прямые линии, при 60 Гц – четыре линии из пучностей, направленные от центра к углам пластины, при 70 Гц – фигура, похожая на крест, при 75 Гц – две дугообразные линии, при 150-154 Гц – окружность в центре и 4 дуги рядом с углами пластины, при 260 Гц, 370 Гц и 380 Гц образуются самые сложные и красивые узоры. Это показывает, что от частоты зависит длина стоячей волны и количество точек максимумов и минимумов звуковых колебаний на пластине. Чем выше частота, тем больше этих точек, и тем более сложны узоры.

Также можно увидеть зависимость фигур от напряжения и формы колебаний. При частоте в 70 Гц и неизменной синусоидальной формы колебаний я увеличил напряжение с 3,9 до 5,1 В; в результате дугообразные границы креста стали располагаться ближе к центру пластины, и фигура стала более ровной (здесь опять же проявляется, что с увеличением напряжения частицы песка в точках наложения располагаются ближе к центру пластины).

При частоте 75 Гц и неизменном напряжении 5,1 В я менял формы колебаний (синусоида, меандр и пила). Здесь также видны отличия дугообразных линий. При меандре колебания

постоянно в состоянии амплитуды, потому частицы песка в центрах дугообразных линий находятся ближе к центру пластины, чем при синусоидальной форме. Если же установить на источнике форму пиры, колебания станут, как говорилось ранее, «скачкообразными» и асимметричными. В результате каждая из дугообразных линий разделяются на два слоя песка, один из которых ближе к центру пластины, а другой от него дальше (частицы этого слоя имеют скорость движения выше, чем частицы другого слоя в связи с неравномерностью распределения точек максимумов и минимумов стоячих волн). Поэтому линии получаются более неровными и имеют большую толщину.

Кроме того, я рассматривал изменения фигур Хладни при двух различных характеристиках. При частоте 50 Гц я увеличил напряжение с 4,5 до 5,1 В, поменял синусоидальную форму на форму меандра. Тем самым я увеличил интенсивность колебаний и сделал так, чтобы они постоянно находились в состоянии амплитуды. Вследствие этого, мало того, что внутри линий появились пучности больших размеров, так ещё эти линии стали располагаться горизонтально, то есть повернулись на 90 градусов.

При синусоидальной форме и неизменном напряжении 5,1 Гц увеличим частоту от 150 Гц до 152 Гц. Тогда толщина дуг рядом с углами и окружности в центре пластины станет больше в результате смещения точек наложения к центру пластины и вслед за ними частиц песка. Увеличим теперь частоту до 154 Гц и поменяем форму колебаний на меандр. Находясь в амплитудном состоянии, частицы песка будут ближе находится к точкам наложения и друг к другу, поэтому линии из песка снова станут меньшими по толщине и более ровными.

Вывод: таким образом, фигуры Хладни, получаемые на полистирольной пластине, также зависят от всех трех характеристик источника.

2.6. Лабораторная работа

2.6.1. Уровень А

Задачи: определить, как фигуры Хладни зависят от характеристик источника звуковых волн (частота, напряжение, форма колебаний), материала пластины, толщины пластины, размеров пластины.

Приборы и материалы: квадратная металлическая пластина с размерами 30 на 30 см, квадратная металлическая пластина с размерами 20 на 20 см, полистирольная пластина с размерами 20 на 20 см, квадратный лист бумаги с размерами 20 на 20 см (необходимо вырезать из листа А4), источник звуковых волн, динамик, специальная установка, песок.

Ход работы:

Подключить при помощи соединительных проводов источник звуковых волн к динамику (специальной установке), включить источник и выполнить 1 (2-4) исследования.

Для образования фигур Хладни необходимо установить лист бумаги (пластину) на динамике (специальной установке).

- 1) Определить, какие фигуры Хладни образуются на листе бумаги при:

- 1.1) Синусоидальной форме, напряжении 2,5 В и частотах 200, 400, 600, 740, 800, 1000, 2000 Гц (определение зависимости фигур Хладни от частоты);
- 1.2) Синусоидальной форме, напряжениях 1; 1,5; 2; 2,5; 3 В и частотах 200, 740, 1000 и 2000 Гц (определение зависимости фигур Хладни от напряжения);
- 1.3) Синусоидальной, треугольной формах, форм меандра и пилы, напряжении 2,5 В и частотах 200, 740, 1000, 2000 Гц (определение зависимости фигур Хладни от форм колебаний).
- 2) Определить, образуются ли фигуры Хладни при частотах 50, 100, 200, 400, 700, 1000 Гц на квадратной металлической пластине с размерами 30 на 30 см.
- 3) Определить, образуются ли фигуры Хладни при частотах 70, 200, 400, 700, 1000 Гц на квадратной металлической пластине с размерами 20 на 20 см, и если образуются, то какие.
- 4) Определить, какие фигуры Хладни образуются на полистирольной пластине при частотах 30, 50, 60, 70, 75, 150, 260, 380 Гц, напряжении 5,1 В и форме меандра. Определить, как меняются фигур Хладни, если при частоте 50 Гц уменьшить напряжение до 4,5 В и установить форму синусоиды, если при частоте 70 Гц уменьшить напряжение до 3,9 В, если при частоте 75 Гц установить формы синусоиды и пилы, если установить частоту 150 Гц, напряжение 5,1 В и форму синусоиды, увеличить частоту до 152 Гц, а затем увеличить частоту до 154 Гц и установить форму меандра.

Сделать вывод о том, как зависят фигуры Хладни от характеристик источника, размеров, толщины и материала пластины.

2.6.2. Уровень В

Задачи: определить, как фигуры Хладни зависят от характеристик источника звуковых волн (частота, напряжение, форма колебаний), материала пластины, толщины пластины, размеров пластины.

Приборы и материалы: квадратная металлическая пластина с размерами 30 на 30 см, квадратная металлическая пластина с размерами 20 на 20 см, полистирольная пластина с размерами 20 на 20 см, квадратный лист бумаги с размерами 20 на 20 см (необходимо вырезать из листа А4), источник звуковых волн, динамик, специальная установка, песок.

Ход работы: при помощи источника звуковых волн, динамика и листа бумаги, пластин и специальной установки выполнить следующие исследования:

- 1) Определить, как зависят фигуры Хладни на листе бумаги от частоты, напряжения и формы колебаний источника.
- 2) Определить, образуются ли фигуры хладни на металлических пластинах, и если образуются, то какие и при каких характеристиках источника.
- 3) Определить при каких частотах образуются фигуры Хладни на полистирольной пластине. При данных частотах определить зависимость фигур Хладни на полистирольной пластине от характеристик источника.

Сделать вывод о том, как зависят фигуры Хладни от характеристик источника, размеров, толщины и материала пластины.

2.6.3. Уровень С

Задачи: с помощью имеющихся приборов и материалов определить, от каких факторов зависят успешность образования фигур Хладни и сами фигуры Хладни, исследовать эти зависимости.

Приборы и материалы: квадратная металлическая пластина с размерами 30 на 30 см, квадратная металлическая пластина с размерами 20 на 20 см, полистирольная пластина с размерами 20 на 20 см, квадратный лист бумаги с размерами 20 на 20 см (необходимо вырезать из листа А4), источник звуковых волн, динамик, специальная установка, песок, соль.

3. Заключение

Таким образом, мы исследовали зависимость фигур Хладни от характеристик источника звуковых волн. Наша гипотеза подтвердилась, эти характеристики действительно влияют на образование узоров на бумаге под действием звуковой волны: частота влияет на размеры и расположение пучностей и узловых линий; напряжение влияет на скорость частиц, четкость узоров, образование пучностей; форма колебаний также влияет на образование пучностей и скоплений песка, от неё зависит толщина линий из песка.

В процессе исследования мы получили установку для образования фигур Хладни, исследовательские данные, которые могут быть полезны при исследовании других явлений в разделе звуковых волн. Благодаря исследованию фигур Хладни и изучению теоретического материала, связанного с ними, получены новые навыки, знания и опыт, которые могут быть полезны при дальнейшем углубленном изучении звуковых волн. Рассмотрены другие опыты с фигурами Хладни, также полезные для изучения данной темы. А самое главное, созданы лабораторные работы для школьников по изучению фигур Хладни на трех разных уровнях сложности.

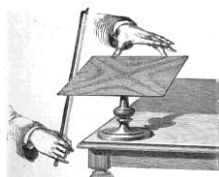
Углубленные знания действительно необходимы не меньше, чем базовые. Благодаря им обучение в институте и работа в научно-технической сфере будут более продуктивными и эффективными. Углубленное изучение расширяет кругозор, помогает лучше понимать окружающий мир.

4. Список использованных источников

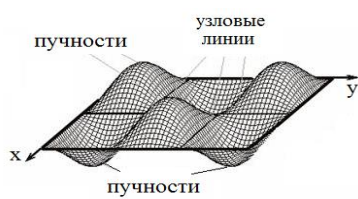
- [1] <https://pianomax.ru/istorija-akustiki>
- [2] https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Хладни,_Эрнест_Флоренс_Фридрих
- [3] https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Фигуры_Хладни
- [4] <http://sound.therapy.by/figury-kladni/>

Приложение

Приложение А. Основная часть



Прил. 1



Прил. 2



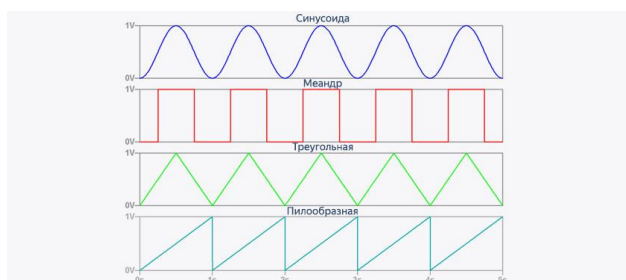
Прил. 3



Прил. 4



Прил. 5



Прил. 6



Прил. 7

Приложение Б. Фото фигур Хладни



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

Рис. 5

Рис. 6



Рис. 7

Рис. 8

Рис. 9



Рис. 10

Рис. 11

Рис. 12



Рис. 13

Рис. 14

Рис. 15



Рис. 16

Рис. 17

Рис. 18



Рис. 19

Рис. 20

Рис. 21



Рис. 22



Рис. 23



Рис. 24



Рис. 25

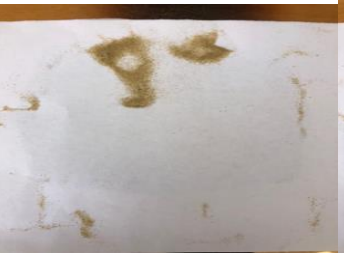


Рис. 26



Рис. 27

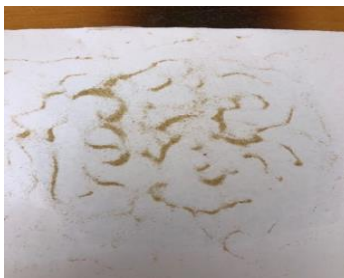


Рис. 28



Рис. 29



Рис. 30

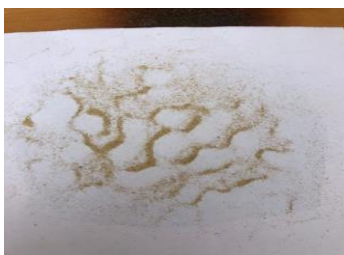


Рис. 31



Рис. 32



Рис. 33



Рис. 34



Рис. 35



Рис. 36



Рис. 37



Рис. 38



Рис. 39



Рис. 40

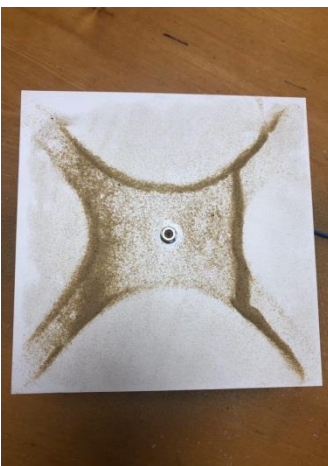


Рис. 41

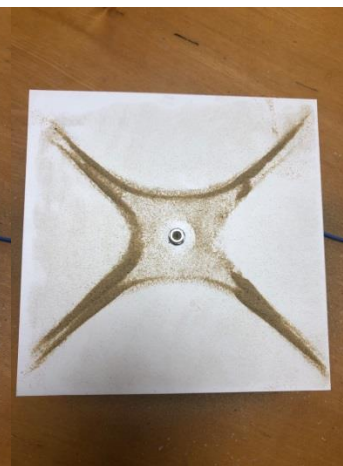


Рис. 42

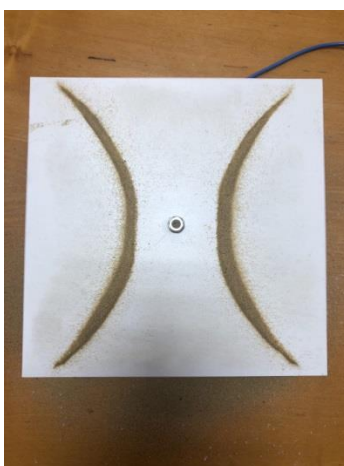


Рис. 43

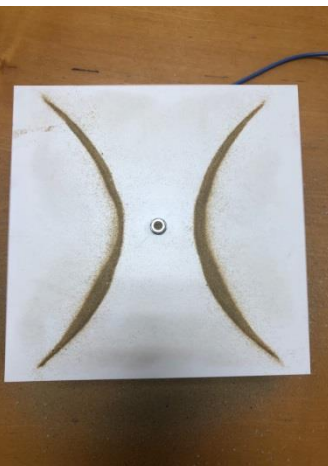


Рис. 44



Рис. 45

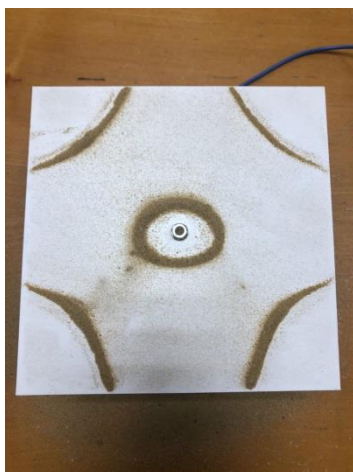


Рис. 46



Рис. 47

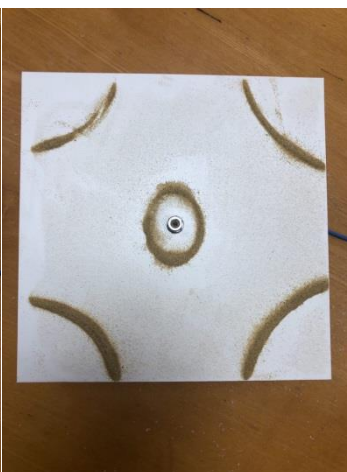


Рис. 48



Рис. 49



Рис. 50

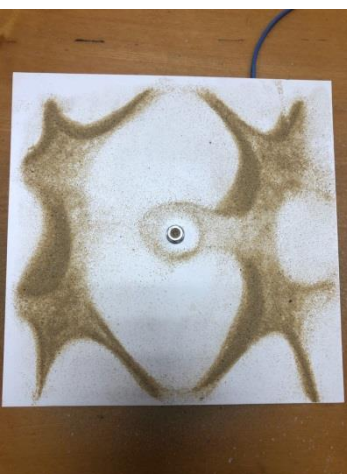


Рис. 51

Рецензия

на проектную работу по физике

ученика 11а класса МБОУ гимназии №44 г. Пензы

Табаченкова Андрея Михайловича

«Исследование звуковых колебаний на примере фигур Хладни»

В проектной работе рассмотрены теоретические основы физики звуковых колебаний при помощи исследования фигур Хладни – одного из важнейших явлений в разделе колебаний в школьном курсе физики. В работе Табаченкова Андрея описана экспериментальная исследовательская установка для проведения исследований фигур Хладни в школьной лаборатории. Проведены исследования зависимости фигур Хладни от различных физических параметров источника. Изучение представленных в работе методов, доступных в школьной лаборатории, полученные результаты экспериментальных исследований в ходе выполнения работы, позволили составить разноуровневую лабораторную работу физического практикума, экспериментариума, музея занимательных наук, для учащихся обладающих различным уровнем теоретических знаний, владеющих разного уровня навыками работы при проведении экспериментальных исследований, но бесспорно позволяющим более глубоко понимать физику колебаний. Работа носит метапредметный характер, так как для ее выполнения необходимы знания и умения из различных разделов курса физики, технологии, математики. А опыт планирования, организации и проведения эксперимента позволяет формировать и развивать ключевые компетенции выпускника школы. Работа очень интересная и познавательная, поэтому ее можно предложить в любых классах (общеобразовательных, с углубленным изучением предмета), просто любознательным, а также в вузах. Экспериментальная установка в основном состоит из подручных материалов, что позволит ее собрать и продемонстрировать на кружковых или факультативных занятиях по физике и в домашних условиях. Она, несомненно, позволит повысить познавательный интерес к физике – как экспериментальной науке.

Работа Табаченкова Андрея отвечает всем требованиям и может быть представлена на научно-практической конференции школьников.

Рецензент

учитель физики высшей квалификационной категории

МБОУ гимназии №44 г. Пензы

Тарина Кисотова СВ

старший научный сотрудник

А.В. Кисганов

