

Научно-исследовательская работа

Физика

Название работы: «Можно ли увидеть звуковые волны с помощью крупинок песка?»

Выполнила: Даупарас Марьяна Юрьевна, учащаяся 11-б класса
МБОУ гимназии №1
им. Пенькова М.И., г. Миллерово
Ростовская область

Руководитель: Илющихина Марина Ивановна учитель физики,
информатики МБОУ гимназии №1
им. Пенькова М.И., г. Миллерово
Ростовская область

Содержание

	Стр.
Введение.....	3
1. Теоретическая часть.	
1.1. Изучение звуковых волн.....	5
1.2. Основные характеристики звуковых волн.....	8
2. Практическая часть	
2.1. Музыкальная акустика	14
2.2. Резонанс в акустике.....	15
2.3. Звуковые удары.....	17
2.4. Эксперимент в школьной лаборатории.....	18
3. Фигуры Хладни в современном мире	21
Заключение.....	23
Список литературы.....	25

Введение

Каждый день мы произносим, слышим различные звуки, они окружают нас везде. Что такое звук? Какова его природа? Как взаимодействует звук с окружающей нас действительностью? Какое влияние оказывает звук на процессы творения мироздания.

Мир, окружающий нас, можно назвать миром звуков. Звучат вокруг нас голоса людей и музыка, шум ветра и щебет птиц, рокот моторов и шелест листья. С помощью речи люди общаются, с помощью слуха получают информацию об окружающем мире. Не меньшее значение звук имеет для животных. С точки зрения физики, звук - это механические колебания, которые распространяются в упругой среде: воздухе, воде, твёрдом теле и т.п. Киматика — наука, изучающая видимый звук и вибрацию. Обычно производится вибрация поверхности пластинки, диафрагмы или мембраны, и области максимального и минимального смещений видимо проявляются на тонком слое частиц, мастики или жидкости.

Способность человека воспринимать упругие колебания, слушать их отразились в названии учения о звуке – акустика. Вообще человеческое ухо слышит звук только тогда, когда на слуховой аппарат уха действуют механические колебания с частотой не ниже 16 Гц но не выше 20 000 Гц. Колебания же с более низкими или с более высокими частотами для человеческого уха неслышимы. Вопросы, которыми занимается акустика, очень разнообразны. Некоторые из них связаны со свойствами и особенностями нашего слуха. Предметом физиологической акустики и является сам орган слуха, его устройство и действие. Архитектурная акустика изучает распространение звука в помещениях, влияние на звук размеров и формы помещений, свойств материалов, покрывающих стены и потолки, и т.д. При этом опять имеется в виду слуховое восприятие звука. Музыкальная акустика исследует музыкальные инструменты и условия их наилучшего звучания. Физическая акустика занимается изучением самих звуковых колебаний, а за последнее время охватила и колебания, лежащие за пределами слышимости

(ультраакустика). Она широко использует разнообразные методы для превращения механических колебаний в электрические и обратно (электроакустика). Музыкальная акустика исследует музыкальные инструменты и условия их наилучшего звучания. Применительно к звуковым колебаниям в число задач физической акустики входит и выяснение физических явлений, обуславливающих те или иные качества звука, различаемые на слух. Музыкальная акустика исследует музыкальные инструменты и условия их наилучшего звучания.

К концу XVIII века появилось достаточно много работ учёных (музыкантов, математиков), исследовавших природу и свойства звуковых волн. Многие исследования касались математической стороны акустики, рассматривая колебания звука (Г. Галилей), скорость движения звука (М. Мерсенн), принципы движения волн (Х. Гюйгенс), механические колебания звука (И. Ньютон) и т.д.

Ярким и занимательным примером явлений, изучаемых киматикой, являются, например, фигуры Хладни. Эрнеста Хладни по праву считают отцом экспериментальной акустики. Наибольшую известность принесли Хладни опыты по исследованию колебаний пластин с помощью открытого им метода акустических, или звуковых «фигур», которые произвели огромное впечатление на современников.

Хладни наглядно показал, что узловые линии наблюдаются не только на струне, но и существуют на пластинках и мембранах. Этим и заинтересовали меня работы Хладни, который изучал воздействие звуковых волн на всех возможных видах звучащих тел. Внимание ученых (и в последствии общества) привлекли работы по исследованию фигур, образующихся из песка под воздействием звуковых волн на колеблющихся пластинках.

В ходе экспериментов мною была создана установка, позволяющая доказать тот факт, что звук можно видеть. И данные эксперименты легко можно проводить на уроках физики.

1. Теоретическая часть

1.1 Изучение звуковых волн

Звуки начали изучать ещё в далёкой древности. Первые наблюдения по акустики были проведены в VI веке до нашей эры. Пифагор установил связь между высотой тона и длиной струны или трубы издающей звук.

В IV в. до н.э. Аристотель первый правильно представил, как распространяется звук в воздухе. Он сказал, что звучащее тело вызывает сжатие и разрежение воздуха и объяснил эхо отражением звука от препятствий.

В XV веке Леонардо да Винчи сформулировал принцип независимости звуковых волн от различных источников.

В 1660 году в опытах Роберта Бойля было доказано, что воздух является проводником звука (в вакууме звук не распространяется).

В 1700 - 1707 гг. вышли мемуары Жозефа Савёра по акустике, опубликованные Парижской Академией наук. В этих мемуарах Савёр рассматривает явление, хорошо известное конструкторам органов: если две трубы органа издают одновременно два звука, лишь немного отличающиеся по высоте, то слышны периодические усиления звука, подобные барабанной дроби. Савёр объяснил это явление периодическим совпадением колебаний обоих звуков. Если, например, один из двух звуков соответствует 32 колебаниям в секунду, а другой - 40 колебаниям, то конец четвёртого колебания первого звука совпадает с концом пятого колебания второго звука и, таким образом происходит усиление звука. От органных труб Савёр перешёл к экспериментальному исследованию колебаний струны, наблюдая узлы и пучности колебаний (эти названия, существующие и до сих пор в науке, введены им), а также заметил, что при возбуждении струны наряду с основной нотой звучат и другие ноты, длина волны которых составляет $1/2$, $1/3$, $1/4$, ... от основной. Он назвал эти ноты высшими гармоническими тонами, и этому названию суждено было остаться в науке. Наконец, Савёр первый

пытался определить границу восприятия колебаний как звуков: для низких звуков он указал границу в 25 колебаний в секунду, а для высоких - 12 800.

За тем, Ньютон, основываясь на этих экспериментальных работах Савёра, дал первый расчет длины волны звука и пришел к выводу, хорошо известному сейчас в физике, что для любой открытой трубы длина волны испускаемого звука равна удвоенной длине трубы. "И в этом состоят главнейшие звуковые явления".

После экспериментальных исследований Савёра к математическому рассмотрению задачи о колеблющейся струне в 1715 г. приступил английский математик Брук Тейлор, положив этим начало математической физике в собственном смысле слова. Ему удалось рассчитать зависимость числа колебаний струны от её длины, веса, натяжения и местного значения ускорения силы тяжести. Эта задача сразу же стала широко известна и привлекла внимание почти всех математиков XVIII века, вызвав долгую и плодотворную дискуссию. Ею занимались среди прочих Иоганн Бернулли и его сын Даниил Бернулли, Риккати и Даламбер. Последний нашел уравнения в частных производных, определяющие малые колебания однородной струны, и проинтегрировал их методом, применяемым и поныне. Но наиболее существенный вклад внес Эйлер. Ему мы обязаны полной теорией колебаний струны, начало построению, которой было положено в 1739 году в его труде

"Опыт новой теории музыки" и продолжалось в многочисленных последующих докладах. В частности, из теории Эйлера вытекало, что скорость распространения волны по струне не зависит от длины волны возбуждаемого звука. Эйлер производил также теоретические исследования колебаний стержней, колец, колоколов, но полученные результаты не совпали с результатами экспериментальной проверки, предпринятой немецким физиком Эрнестом Флоресом Фридрихом Хладни, которого считают отцом экспериментальной акустики. Хладни первым точно исследовал колебания камертона и в 1796 году установил законы колебаний стержней.

Фактическое объяснение эха, явления довольно капризного, также принадлежит Хладни, по крайней мере в существенных частях. Ему мы обязаны и новым экспериментальным определением верхней границы слышимости звука, соответствующей 20 000 колебаний в секунду. Эти измерения, многократно повторяемые физиками до сих пор, весьма субъективны и зависят от интенсивности и характера звука. Но особенно известны опыты Хладни в 1787 году по исследованию колебаний пластин, при которых образуются красивые "акустические фигуры", носящие названия фигур Хладни и получающиеся, если посыпать колеблющуюся пластинку песком. Эти экспериментальные исследования поставили новую задачу математической физики - задачу о колебаниях мембраны.

Хладни начал исследования продольных волн в твердых телах и сопоставил продольные и поперечные колебания стержня при различных способах возбуждения (ударом, трением и др.). Исследование продольных волн были продолжены экспериментально Саваром, а теоретически - Лапласом и Пуассоном.

В XVIII веке было исследовано много других акустических явлений (скорость распространения звука в твердых телах и в газах, резонанс, комбинационные тона и др.). Все они объяснялись движением частей колеблющегося тела и частиц среды, в которой распространяется звук.

Иными словами, все акустические явления объяснялись как механические процессы.

В 1787 году Хладни, основоположник экспериментальной акустики открыл продольные колебания струн, пластин, камертонов и колоколов. Он первый достаточно точно измерил скорость распространения звуковых волн в различных газах. Доказал, что в твёрдых телах звук распространяется не мгновенно, а с конечной скоростью, и в 1796 году определил скорость звуковых волн в твёрдых телах по отношению звука в воздухе. Он изобрёл ряд музыкальных инструментов. В 1802 году вышел труд Эрнеста Хладни

"Акустика", где он дал систематическое изложение акустики. После Хладни французский учёный Жан Батист Био в 1809 году измерял скорость звука в твёрдых телах.

В 1800 году английский учёный Томас Юнг открыл явление интерференции звука и установил принцип суперпозиции волн.

В 1816 году французский физик Пьер Симон Лаплас вывел формулу для скорости звука в газах.

В 1827 году Ж. Колладон и Я. Штурм провели опыт на Женевском озере по определению скорости звука в воде, получив значение 1435 м/с.

В 1842 году австрийский физик Христиан Доплер предположил влияние относительного движения на высоту тона (эффект Доплера). А в 1845 году Х. Бейс-Баллот экспериментально обнаружил эффект Доплера для акустических волн.

В 1877 году американский учёный Томас Алва Эдисон изобрёл устройство для записи и воспроизведения звука, который потом сам же в

1889 году усовершенствовал. Изобретённый им способ звукозаписи получил название механического.

В 1880 году французские учёные братья Пьер и Поль Кюри сделали открытие, которое оказалось очень важным для акустики. Они обнаружили, что, если кристалл кварца сжать с двух сторон, то на гранях кристалла появляются электрические заряды. Это свойство - пьезоэлектрический эффект - для обнаружения не слышимого человеком ультразвука. И наоборот, Если к граням кристалла приложить переменное электрическое напряжение, то он начнёт колебаться, сжимаясь и разжимаясь.

1.2. Основные характеристики звуковых волн

Колебания упругой пластинки, зажатой в тисках, имеют тем более высокую частоту, чем короче свободный колеблющийся конец пластинки. Когда частота колебаний делается выше чем 16 Гц, мы начинаем слышать колебания этой пластинки. Таким образом, звук обуславливается

механическими колебаниями в упругих средах и телах (твёрдых, жидких и газообразных), но не в вакууме. То, что воздух - проводник звука, было доказано поставленным опытом Роберта Бойля в 1660 году. Если звучащее тело, например электрический звонок, поставить под колокол воздушного насоса, то по мере откачивания из под него воздуха - звук будет делаться слабее, и наконец, когда под колоколом весь воздух кончится, то звук прекратится. При своих колебаниях тело попеременно то сжимает слой воздуха, прилегающий к его поверхности, то, наоборот, создаёт разрежение в этом слое. Таким образом, распространение звука в воздухе начинается с колебаний плотности воздуха у поверхности колеблющегося тела.

При распространении звуковой волны происходит затухание звука, связанное с различными необратимыми процессами. Часть энергии, которая переносится звуковыми волнами, поглощается средой. Величина, равная отношению поглощённой звуковой энергии к звуковой энергии, поступающей в среду, называется коэффициентом поглощения. Коэффициент поглощения зависит от внутреннего трения (вязкости) поглощающей среды и от её теплопроводности. Он так же зависит от скорости распространения звука в этой среде, от плотности среды и частоты звуковой волны. Звуковая волна, распространяясь в некоторой среде, когда-нибудь доходит до границы этой среды, за которой начинается другая среда, состоящая из других частиц, в которой и скорость звука другая. На такой границе происходит явление отражения звуковой волны. При этом сгущение частиц превращается в разрежение, а разрежение - в сгущение. Происходит это потому, что колебания, принесённые волной к границе, передаются частицами второй среды и они сами становятся источником новой звуковой волны. Эта вторичная волна распространяется не только во второй среде, но и в первой, откуда пришла первичная волна. Это и есть отражённая волна. На границе двух сред происходит частичное поглощение и прохождение звука в другую среду. Доля отражённой энергии звуковой волны зависит в основном от соотношения плотностей этих сред и состояния поверхности раздела. Отражение звука,

распространяющегося в воздухе, от твёрдого тела или жидкой поверхности происходит практически полностью. Звук, распространяющийся в плотной среде, также практически полностью отражается на границе раздела с воздухом. Если преграда представляет собой более плотную среду, то при отражении происходит потеря полуволны. В большом помещении после каждого звука возникает гул, который является результатом наложения звуковых волн, отраженных от различных преград в этом помещении. Например от стен, потолка, колонны и т.п.. Это явление называется реверберацией. Если в помещении много отражающих поверхностей, особенно мягких, сильно поглощающих звук, то реверберация отсутствует. Явление реверберации учитывают в архитектуре, при проектировании больших залов, добиваясь определённой окраски звука, который приобретает мягкость и объёмность. С явлением отражения звука связано такое известное явление, как эхо. Оно состоит в том, что звук от источника доходит до какого-то препятствия, которое и является границей двух сред, отражается от него, и возвращается к месту, где эта звуковая волна возникла. И если первичный звук и звук отражённый доходят до слушателя не одновременно, то он слышит звук дважды. Звук может испытать и несколько отражений. Тогда можно услышать звук много раз. Например раскаты грома. При отражении звуковой волны от менее плотной среды, например лёгкие газы, звуковая волна, распространяющаяся в воздухе, проходит через неё, вовлекая частицы этой среды в волновое движение и частично отражаясь. Величина, равная отношению отражённого потока звуковой энергии к падающему потоку звуковой энергии, называется коэффициентом отражения. Величина, равная отношению проходящего потока звуковой энергии к падающему потоку звуковой энергии, называется коэффициентом пропускания. Для звуковых волн выполняются законы отражения и преломления, аналогичные законам отражения и преломления света.

Ощущение звука вызывается звуковыми волнами, достигающими органа слуха - уха. Важнейшая часть этого органа - барабанная перепонка. Пришедшая

к ней звуковая волна вызывает вынужденные колебания барабанной перепонки с частотой колебаний в волне. Они воспринимаются мозгом как звук. Звуки бывают разные. Мы легко различаем свист и дробь барабана, мужской голос (бас) от женского (сопрано). Об одних звуках говорят, что они низкого тона, другие мы называем звуками высокого тона. Ухо их легко различает. Звук, создаваемый большим барабаном, это звук низкого тона, свист - звук высокого тона. Простые измерения (развертка колебаний) показывают, что звуки низких тонов - это колебания малой частоты в звуковой волне. Звуку высокого тона соответствует большая частота колебаний. Частота колебаний в звуковой волне определяет тон звука. Существуют особые источники звука, испускающие единственную частоту, так называемый чистый тон. Это камертоны различных размеров - простые устройства, представляющие собой изогнутые металлические стержни на ножках. Чем больше размеры камертона, тем ниже звук, который он испускает при ударе по нему. Если взять несколько камертонов разного размера, то не представит труда расположить их на слух в порядке возрастания высоты звука. Тем самым они окажутся расположенными и по размеру: самый большой камертон даёт низкий звук, а маленький - наиболее высокий. Звуки даже одного тона могут быть разной громкости. Громкость звука связана с энергией колебаний в источнике и в волне. Энергия же колебаний определяется амплитудой колебаний. Громкость, следовательно, зависит от амплитуды колебаний. Но связь между громкостью звука и амплитудой колебаний не простая. Самый слабый ещё слышимый звук, дошедший до барабанной перепонки, приносит в 1 секунду энергию, равную примерно 10^{-16} Дж, а самый громкий звук (звук реактивного ракетного двигателя в нескольких метрах от него) - около 10^{-4} Дж. Следовательно, по мощности самый громкий звук примерно в тысячу миллиардов раз превосходит самый слабый. Интенсивности звука при слуховом восприятии соответствует ощущение громкости звука. При определенной минимальной интенсивности человеческое ухо не воспринимает звука. Эта минимальная интенсивность называется порогом слышимости. Порог слышимости имеет различные

значения для различных частот. При больших интенсивностях ухо испытывает болевое ощущение. Наибольшая интенсивность при болевом восприятии звука называется порогом болевого ощущения. Уровень интенсивности звука определяется в децибелах (дБ). Например, громкость звука, шороха листьев оценивается в 10 дБ, шёпота - 20 дБ, уличного шума - 70 дБ. Шум громкостью 130 дБ ощущается кожей и вызывает ощущение боли. Количество децибел равно десятичному логарифму отношения интенсивностей, умноженному на 10, т.е. $10 \lg(I/I_0)$. Обычно в акустике за I_0 принимается интенсивность равная 1 пДж(м²·с), приблизительно равная интенсивности на пороге слышимости при 1000 Гц. Простейшие наблюдения показывают, что громкость тона какой-либо данной высоты определяется амплитудой колебаний. Звук камертона после удара по нему постепенно затихает. Это происходит вместе с затуханием колебаний, т.е. с уменьшением их амплитуды. Ударив камертон сильнее, т.е. сообщив колебаниям большую амплитуду, мы услышим более громкий звук, чем при слабом ударе. То же можно наблюдать и со струной, и вообще со всяким другим источником звука.

К таким же заключениям можно прийти, пользуясь не камертонами, а упрощённой сиреной - вращающимся диском с отверстиями, через которые продувается струя воздуха. Повышая напор струи воздуха, мы усиливаем колебания плотности воздуха позади отверстий. При этом звук, сохраняя одну и ту же высоту, делается громче. Ускоряя вращение диска, мы уменьшаем период прерываний воздушной струи. Вместе с тем звук, не меняясь по громкости, повышается. Можно также сделать в диске два или более рядов отверстий с разным количеством отверстий в каждом ряду. Продувание воздуха через каждый из рядов даёт тем более высокий звук, чем больше отверстий в этом ряду, т.е. чем короче период прерываний. Но, взяв в качестве источника звука сирену, можно получить хотя и периодическое, но уже негармоническое колебание: плотность воздуха в прерывистой струе меняется резкими толчками. На ряду с этим и звук сирены, хотя и является музыкальным, но совсем не похож на тон камертона. Можно подобрать высоту звука сирены такой же, как

и у какого-либо из камертонов. При этом и громкость звука можно сделать одинаковой. Тем не менее легко можно отличить звук камертона от звука сирены. Таким образом, если колебание не является гармоническим, то на слух оно имеет ещё одно качество, кроме высоты и громкости, а именно - специфический оттенок, называемый тембром. По различному тембру мы легко распознаём звук голоса, свист, звучание струны рояля, скрипичной струны, звук флейты, гармони и т.д., хотя все эти звуки имели бы одну и ту же высоту и громкость. По тембру мы можем узнать голоса разных людей. Исследование вопроса, с чем связан тембр звука, показало, что для нашего уха существенны только частоты и амплитуды тонов, входящих в состав звука, т.е. тембр звука определяется его гармоническим спектром. Сдвиги отдельных тонов по времени, другими словами, изменения фаз тонов, никак не воспринимаются на слух, хотя могут очень сильно менять форму результирующего колебания. Таким образом, один и тот же звук может восприниматься при очень различных формах колебания. Важно только, чтобы сохранялся спектр, т.е. частоты и амплитуды составляющих тонов.

В том, что распространение звуковых волн происходит не мгновенно, можно увидеть из простейших наблюдений. Если в дали происходит гроза, выстрел, взрыв, свисток паровоза, удар топором и т.п., то сначала все эти явления видно, а только потом, спустя некоторое время, слышен звук. Как и всякая волна, звуковая волна характеризуется скоростью распространения колебаний в ней. Скорость распространения фазы волны в упругой среде жидкости или газа зависит от сжимаемости и плотности этой среды. В жидкостях и газах звук распространяется с постоянным давлением и его скорость пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры газа.

2. Практическая часть

2.1. Музыкальная акустика

Реальный звук является наложением гармонических колебаний с набором частот, который определяет акустический спектр звуковой волны. Различают три вида звуковых колебаний: музыкальные звуки, звуковые удары и шумы. Периодические колебания определённой частоты вызывают простой музыкальный тон. Сложные музыкальные звуки - это сочетания отдельных тонов. Тон, соответствующий наименьшей частоте сложного музыкального звука, называют основным тоном, а остальные тоны - обертонами. Если частота обертона кратна частоте основного тона, то обертон называют гармоническим. При этом основной тон с минимальной частотой называют первой гармоникой, обертон, с частотой n от основной, называют n -ой гармоникой. Относительная интенсивность, звуковой волны а так же характер нарастания и спада их амплитуд во время затухания, определяют окраску (или тембр) звука. Различные музыкальные инструменты (рояль, скрипка флейта и т.п.) отличаются тембром издаваемых этими инструментами звуков. Совокупность звуков разной высоты которыми пользуются в музыке, составляет музыкальный строй. Относительный музыкальный строй состоит из звуков, находящихся в определённых соотношениях. Если звуки музыкального строя заданы высотой исходного тона, с которого начинается настройка инструментов, то такой строй называют абсолютным. Исходный (стандартный) тон в европейском абсолютном музыкальном строе равен 440 Гц (звук "ля" первой октавы). Относительное различие в высоте двух тонов, обусловленное соотношением между частотами этих тонов, называют интервалом. Если длина струны гитары равна L , то возникшая волна должна пройти путь $2L$, чтобы вернуться в исходное положение, имея исходное направление движения и исходную форму после двух отражений от обоих концов. Если прижать пальцем струну к грифу гитары, положив палец на лад, который ускорит свободную часть струны в 2 раза, то и высота тона удвоится. Нота повысится на октаву, что соответствует удвоению частоты. Отношение высот полутонов равно корню двенадцатой степени из двух. Этим и определяется расположение

ладов на грифе гитары. Отношение расстояний от подставки на деке до любых двух соседних тонов на грифе гитары равно. В принятой европейской музыкальной практике октава делится на 12 равных интервалов, которые составляют равномерно темперированный строй. Отношение частот последовательных полутонов Кроме темперированного строя различают два точных строя - пифагорейский и чистый, в основе которых лежат интервалы, частотные коэффициенты которых представляют собой отношения первых соседних чисел натурального ряда. Пифагорейский строй основан на октаве и чистой квинте с частотным коэффициентом $3 : 2$, а чистый строй - на октаве, квинте и большой терции с частотным коэффициентом $5 : 4$. Пифагорейский строй более выразительно передаёт мелодию, а чистый лучше соответствует аккордовой музыке. Для исполнения сложной музыки используют компромиссно темперированные строи и равномерно-темперированный 12-ступенчатый музыкальный строй. Музыка других, неевропейских народов отличается другими интервальными соотношениями и другим числом звуков в октаве.

2.2. Резонанс в акустике

Звуковые колебания, приносимые звуковой волной, могут служить вынуждающей, периодически изменяющейся силой для колебательных систем и вызывать в этих системах явление резонанса, т.е. заставить их звучать. Такой резонанс называется акустическим резонансом. Резонансные явления можно наблюдать на механических колебаниях любой частоты. Т.к. камертон сам по себе даёт очень слабый звук, потому, что площадь поверхности колеблющихся ветвей камертона, соприкасающихся с воздухом, очень мала и в колебательное движение приходит слишком мало частиц воздуха, то камертон обычно укрепляют на деревянном ящике, подобранном так чтобы частота его собственных колебаний была равна частоте звука, создаваемого камертоном. Ящики усиливают звук, вследствие резонанса между камертоном и столбом воздуха, заключённого в ящике. Этот ящик с камертоном называется

резонатором или резонансным ящиком. Пример акустического резонанса можно наблюдать в следующем опыте. Роль ящиков в этом опыте чисто вспомогательная. Поставим рядом два одинаковых камертона, обратив отверстия ящиков, на которых они укреплены, друг к другу. Ударим один из камертонов и затем приглушим его пальцами. Мы услышим, как звучит второй камертон. Возьмём два разных камертона, т.е. с различной высотой тона, и повторим опыт. Теперь каждый из камертонов не будет откликаться на звук другого камертона. Этот результат объясняется тем, что колебания одного камертона действуют через воздух с некоторой силой на второй камертон, заставляя его совершать вынужденные колебания. Так как первый камертон совершает гармоническое колебание, то и сила, действующая на второй камертон, будет меняться по закону гармонического колебания с частотой первого камертона. Если частота силы та же, что и собственная сила второго камертона, то второй камертон начинает сильно раскачиваться. Это явление называется акустическим резонансом. Если же частота силы другая, то вынужденные колебания второго камертона будут настолько слабыми, что их будет невозможно услышать. Так как камертоны обладают очень небольшим затуханием, то у них резонанс будет очень сильно выражен (острый резонанс). Поэтому уже небольшая разность между частотами камертонов приводит к тому, что один камертон перестаёт откликаться на колебания другого. Достаточно, например, приклеить к ветвям одного из двух камертонов кусочки пластилина или воска, и камертоны уже будут расстроены, резонанса не будет. Если звук представляет собой ноту, т.е. периодическое колебание, но не является тоном (гармоническим колебанием), то это означает, что он состоит из суммы двух тонов: основного, наиболее низкого и обертонов. На такой звук камертон должен резонировать всякий раз, когда частота камертона совпадает с частотой какой-либо одной из собственных частот колебательной системы. Опыт можно произвести с упрощенной сиреной и камертоном, при этом поставив отверстие резонатора камертона против прерывистой воздушной струи сирены. Если частота камертона равна 300 Гц, то, можно легко

убедиться, что он будет откликаться на звук сирены не только при 300 прерываниях в секунду (резонанс на основной тон сирены), но и при 150 прерываниях - резонанс на первый обертон сирены, и при 100 прерываниях - резонанс на второй обертон сирены, и т.д..Если у пианино нажать на педаль и сильно крикнуть на него, то от него можно будет услышать отзвук, который будет слышится некоторое время, с тоном (частотой) очень похожим на первоначальный звук.

2.3. Звуковые удары

Ударные волны возникают при выстреле, взрыве, электрическом разряде и т.п. Основной особенностью ударной волны является резкий скачок давления на фронте волны. В момент прохождения ударной волны максимум давления в данной точке возникает практически мгновенно за время порядка 10^{-10} с. При этом одновременно скачком изменяются плотность и температура среды. Затем давление медленно падает. Мощность ударной волны зависит от силы взрыва. Скорость распространения ударных волн может быть больше скорости звука в данной среде. Если, например, ударная волна увеличивает давление в полтора раза, то при этом температура повышается на 35°C и скорость распространения фронта такой волны примерно равна 400 м/с. Стены средней толщины, которые встречаются на пути такой ударной волны будут разрушены. Мощные взрывы будут сопровождаться ударными волнами, которые создают в максимальной фазе фронта волны давление, в 10 раз превышающее атмосферное. При этом плотность среды увеличивается в 4 раза, температура повышается на 500°C , и скорость распространения такой волны близка к 1 км/с. Толщина фронта ударной волны имеет порядок длины свободного пробега молекул (10^{-7} - 10^{-8} м), поэтому при теоретическом рассмотрении можно считать, что фронт ударной волны представляет собой поверхность взрыва, при переходе через которую параметры газа изменяются скачком. Ударные волны так же возникают, когда твёрдое тело движется со скоростью, превышающей скорость звука. Перед самолётом, который летит со сверхзвуковой скоростью, образуется ударная

волна, которая является основным фактором, определяющим сопротивление движению самолёта. Чтобы это сопротивление ослабить, сверхзвуковым самолётам придают стреловидную форму. Быстрое сжатие воздуха перед движущимся с большой скоростью предметом приводит к повышению температуры, которая с нарастанием скорости предмета - увеличивается. Когда скорость самолёта достигает скорость звука, температура воздуха достигает 60 °С. При скорости движения вдвое выше скорости звука, температура повышается на 240 °С, а при скорости, близкой к тройной скорости звука - становится 800 °С. Скорости близкие к 10 км/с приводят к плавлению и превращению движущегося тела в газообразное состояние. Падение метеоритов со скоростью в несколько десятков километров в секунду приводит к тому, что уже на высоте 150 - 200 километров, даже в разрежённой атмосфере метеоритные тела заметно нагреваются и светятся. Большинство из них на высотах 100 - 60 километров полностью распадаются.

2.4. Эксперимент в школьной лаборатории

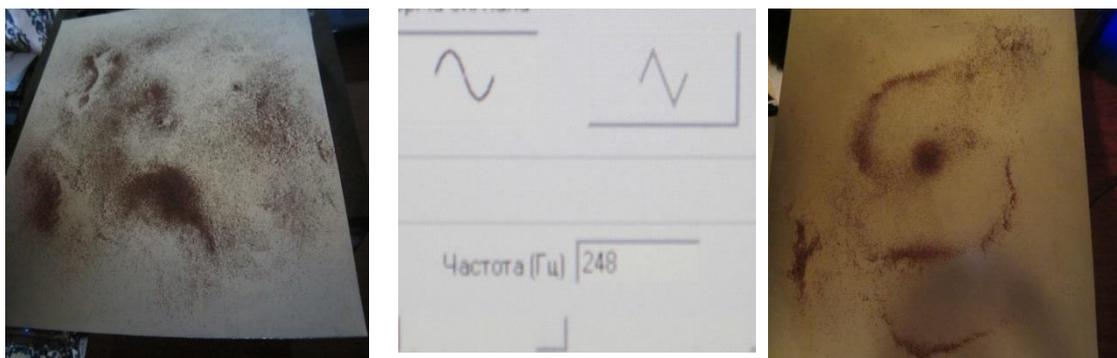
В ходе эксперимента, небольшое количество песка насыпалось на тонкую металлическую пластину. Затем Хладни проводил смычком по краю пластины, что создавало определенные вибрации/колебания, то есть происходило распространение звуковой волны. Первоначально хаотично лежащий песок начинал самостоятельно перемещаться по пластине, тем самым образуя от простых фигур до самых замысловатых геометрических узоров. Вид фигур существенно менялся в зависимости от формы и места крепления пластинки, а также от скорости, силы и места прикосновения смычком и/или пальцем (для задержки колебаний и образования узла). Так, например, при низких вибрациях на квадратных пластинках наблюдаются наиболее простые фигуры (крест, квадрат, круг и т.д.). В то время как на круглых пластинках - различные звездообразные фигуры.

Опыт 1. Получение фигур Хладни с помощью звукового генератора при частоте 248 Гц.

Цель: Доказать опытным путем как зависит частота волны на число пучностей в рисунке.

Приборы: генератор звуковых волн, динамик, металлическая пластина, песок.

Ход работы: расположили динамик на ровной поверхности, на него положили металлическую пластину. Насыпали тонким слоем речной песок. Лист должен быть без вмятин, иначе в них будет собираться песок. Подключаем динамик к звуковому генератору. Поэтапно возбуждаем динамик на частотах 200Гц, 400Гц, 600Гц, 800Гц и наблюдаем за получаемой картиной узлов и пучностей из песка. Образование картины происходит за 45сек - 3 мин. Когда частота ниже 200Гц рисунок не складывался. При частоте 248 Гц на листе стал образовываться рисунок.



Вывод: Изменение возбуждаемой частоты в динамике влечет за собой изменение картины узлов и пучностей. С увеличением частоты число пучностей и узлов увеличивается.

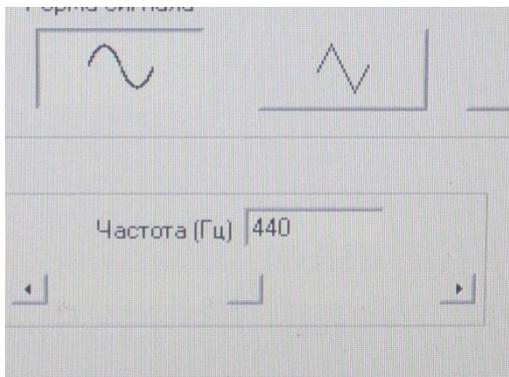
Опыт 2 Получение фигур Хладни с помощью звукового генератора при частоте 440 Гц.

Цель: Доказать опытным путем как зависит частота волны на число пучностей в рисунке.

Приборы: генератор звуковых волн, динамик, металлическая пластина, песок.

Ход работы: расположили динамик на ровной поверхности, на него положили металлическую пластину. Насыпали тонким слоем речной песок. Лист должен быть без вмятин, иначе в них будет собираться песок.

Подключаем динамик к звуковому генератору. Поэтапно возбуждаем динамик на частотах 200Гц, 400Гц, 600Гц, 800Гц и наблюдаем за получаемой картиной узлов и пучностей из песка. Образование картины происходит за 45сек - 3 мин. При частоте 440 Гц на листе наблюдалось меньше пучностей.



Опыт 3 Получение фигур Хладни с помощью звукового генератора при частоте выше 750 Гц.

Цель: Доказать опытным путем как зависит частота волны на число пучностей в рисунке.

Приборы: генератор звуковых волн, динамик, стеклянная пластина, песок.

Ход работы: расположили динамик на ровной поверхности, на него положили стеклянную пластину. Насыпали тонким слоем цветной песок. Лист должен быть без вмятин, иначе в них будет собираться песок. Подключаем динамик к звуковому генератору. Поэтапно возбуждаем динамик на частотах 200Гц, 400Гц, 600Гц, 800Гц и наблюдаем за получаемой картиной узлов и пучностей из песка. Образование картины происходит также за 45сек - 3 минут.

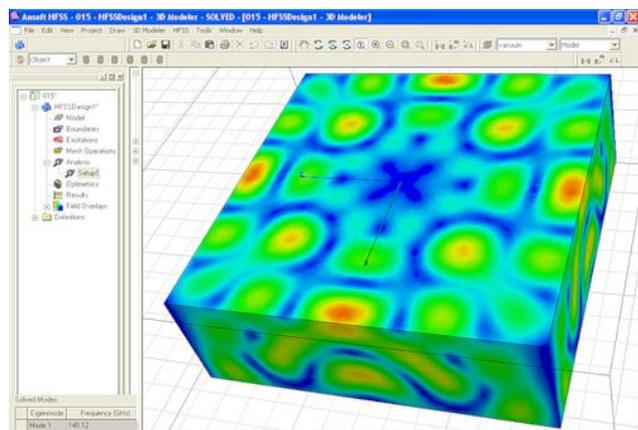


3. Фигуры Хладни в современном мире

Для изучения звуковых волн в объеме доктор Ханс Йенни создал аппарат тоноскоп. Это приспособление состояло из тонких контейнеров, заполненных различными субстанциями, такими как песок, мокрый гипс и различные виды жидкостей, состоявших из тонко измельчённых частиц (тонкодисперсная среда). Также, как и в экспериментах Хладни, при прохождении звуковых волн частицы начинали выстраиваться в геометрические узоры, образуя трёхмерные звезды, двойные четырёхгранники в кругах и другие фигуры. При повышении амплитуды вибраций, получались более замысловатые фигуры.

Российский экспериментатор Кушелев Александр Юрьевич изобрел свой способ изучения наглядного проявления звуковых волн в виде электромагнитного аналога. Этот аналог представляет из себя электромагнитный резонатор (от латинского слова «*resono*», что означает «звучу в ответ», «откликаюсь»), на поверхности которого образуются рельефные фигуры, подобные фигурам Хладни.

Далее Александр Кушелев проектировал трёхмерные фигуры Хладни в виртуальном пространстве при помощи компьютерной программы HFSS. Проведя множество экспериментов, А.Кушелев предположил, что в древности люди обладали

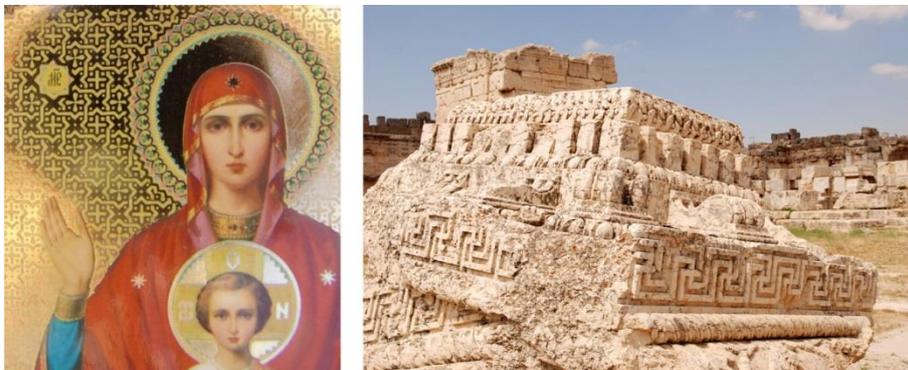


большими знаниями, чем обладаем мы сейчас. Он обосновал это тем, что данная информация была передана на Землю древним людям от высших инопланетных цивилизаций, которые обладали знаниями в области СВЧ-техники и умели создавать преобразователи внутренней энергии радиоэфира в электричество (СВЧ-колебания).

Интересно, что геометрические фигуры, которые образуются в результате эксперимента Хладни, наши предки использовали повсеместно. Мы можем

наблюдать их в орнаментах украшений жилища, на колоннах, древних скульптурах, и даже на иконах. Это свидетельствует о том, что для людей, живших в различное время и на разных континентах эти изображения имели большое значение и говорит об их понимании физических процессов, которые происходят в невидимом мире.

«Звук и геометрически правильные знаки — это уже область чистой физики, а значит первая ласточка в области постижения человечеством тайны глобального Звука и рабочих знаков. По сути, это открытия на научной основе того, что было известно людям со времён глубокой древности и запечатлено в преданиях разных народов», - А.Новых, «АллатРа».



Это говорит о том, что благодаря таким открытиям, мы только подбираемся к тому, чтобы понять какое богатое духовное наследие оставили люди прошлых цивилизаций. Но все это возможно только в том случае, когда мы постоянно расширяем свой кругозор, анализируем, сопоставляем, а главное, в каждом дне уделяем внимание познанию внутреннего мира, что дает возможность глубже понять себя, окружающих и происходящие события.

«И если человек своим сознанием постигнет душу и сольется с ней, его возможности станут неограниченными, так же как и познание». И тогда люди смогут познать не только тайну древних сооружений, но и тайну существования самого мироздания.

Заключение

Спустя 200 лет были обнаружены микроскопические фигуры Хладни, открывающие новые возможности сортировки частиц по размерам. Точное размещение наночастиц на поверхности является ключевой проблемой большинства нанотехнологичных предложений в особенности молекулярной электроники. Однако существующие методы автоматического структурирования частиц либо довольно медленны, либо требуют наличия готовых шаблонов. Кроме того, для многих применений большое значение имеет сортировка частиц по размерам. Автоматическое разделение частиц по размерам также является важной задачей. Швейцарские исследователи показали, что использование стоячей звуковой волны позволяет сортировать частицы в зависимости от их размеров. Наночастицы агрегируются в пучностях, а микронные частицы в узлах звуковой волны, создаваемой осциллирующими кантилеверами.

Для сортировки и манипуляции частицами, клетками и оргanelлами в зависимости от их размеров. Агрегированные в пучностях и узлах частицы могут быть настраиваться путем подбора поверхностей и подходящего буферного раствора. Для сортировки частиц более чем двух размеров могут быть использованы массивы кантилеверов в виде веера, охватывающие сразу несколько резонансных частот.

Для структурирования более широкие возможности может предоставить использование мембран вместо кантилеверов. Сгруппированные частицы могут быть зафиксированы при помощи лазерной обработки, фотополимеризации, селективного осаждения на металлы или полимеры. После фиксации жидкость удаляется, а полученный рисунок может быть перенесен с мембраны на поверхность чипа. Таким образом, может осуществляться многошаговая сборка сложных биотехнологических сенсоров или наноэлектрических цепей.

Кантилевер - устоявшееся название наиболее распространенной в сканирующей атомно-силовой микроскопии конструкции микромеханического зонда. массивное прямоугольное основание, размерами примерно 1,5.3,5.0,5

мм, с выступающей из него балкой (собственно кантилевером), шириной порядка 0,03 мм и длиной от 0,1 до 0,5 мм. Одна из сторон балки является зеркальной. На противоположной стороне балки на свободном конце находится игла, взаимодействующая с измеряемым образцом.

Другое плодотворное направление для экспериментов с фигурами Хладни связано с лазерными эффектами в шоу-бизнесе. Уже довольно давно, на рубеже 1960 – 1970 годов было установлено, что отраженный от объектов и рассеянных в среде свет лазера формирует наглядные интерференционные картины, аналогичные фигурам Хладни. Причем для колебаний света, подобно жидкостям и газам, такие фигуры образуются по принципу, обратному вибрациям песка на мембране. Т.е. наиболее яркие участки света приходятся не на узлы стоячих волн, а на пучности колебания, иначе именуемые антиузлами.

Список литературы

1. Брюханов А.В., Пустовалов Г.Е., Рыдник В. И. Толковый физический словарь. Основные термины: около 3600 терминов. - М.: Рус. яз., 1987.
2. Вилли К. Биология.- М.: Мир, 1968.
3. Дубровский И. М., Егоров Б. В., Рябошапка К.П. Справочник по физике. - Киев: Наукова думка, 1986.
4. Кикоин И.К., Кикоин А.К. Физика: Учеб. для 9 кл. сред. шк. - 3-е изд. - М.: Просвещение, 1994.
5. Кошкин Н. И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике 10-е изд., М.: Наука, 1999.
6. Льюис М. История физики. - М.: Мир, 2000.
8. Мясников Л.Л. Неслышимый звук.
9. Пирс Дж. Почти всё о волнах.- М.: Мир, 1996.
10. Разговор муравьёв. "Наука и жизнь", 2001, No.1, стр. 141
11. Храмов Ю. А. Физики: Биографический справочник. -2-е изд. - М.: Наука, 1983.
12. Элементарный учебник физики: Учеб. пособие. В 3 т. / Под ред. Г.С. Ландсберга:
13. Энциклопедический словарь юного техника / Сост. Б. В. Зубков С. В. Чумаков. - 2-е изд., М.: Педагогика, 1987.