

**Муниципальное автономное общеобразовательное учреждение
«Средняя общеобразовательная школа №2 п.Энергетик»
Новоорского района Оренбургской области**

Проект по физике

Исследование акустических характеристик «бутылофона»

**Выполнил: ученик 11 класса
МАОУ СОШ №2 п.Энергетик
Орёл Артём**

**Руководитель: к.п.н.,учитель физики
Долгова Валентина Михайловна**

**п.Энергетик
2014**

Содержание

Введение.....	3
Глава I. Теоретические основы звуковых колебаний.....	5
1.1. Физическая природа звука и его особенности	5
1.2. Акустический резонатор.....	11
1.3. Характеристика музыкальных звуков	13
 Глава II. Экспериментальная разработка самодельного музыкального инструмента.....	 15
2.1. Создание опытного образца бутыллофона.....	15
2.2. Проведение опытов по физике с использованием бутыллофона.....	16
Заключение	19
Список использованных источников	20

Введение

Актуальность проекта. В музыкальной практике используются различные виды инструментов. Каждый вид имеет свою историю, связанную с эволюцией музыкальной культуры народов. Совершенствование музыкальных инструментов, изобретение новых их моделей способствовало развитию музыкальной культуры. Количество конструкций музыкальных инструментов составляет несколько сотен. Конструкция инструмента придает ему индивидуальные особенности, определяющие его тембровые и игровые возможности. Исходя из этих возможностей, различные инструменты используют для получения только им присущих музыкальных звуков или музыкально-эстетических оттенков исполняемой музыки.

Музыкальные инструменты — предметы, с помощью которых извлекаются различные музыкальные, а также немusические неорганизованные звуки для исполнения музыкального произведения.

Просматривая музыкальные произведения, автор проекта натолкнулся на исполнение музыки с помощью подручных средств (стиральная доска, гребёнка, различные «шумелки», «свистелки», мини-маракасы, «таз-бас», «флейта дождя», стеклянные бутылки или фужеры и др.) и заинтересовался не только историей возникновения, но и использованием физических законов при их создании.

Анализ научно-технической литературы по теме проекта позволил изучить явление звука и звукообразования, свойства простого и сложного звука (В.А.Алешкевич, Л.Г.Деденко, В.А.Караваев, М.А.Исакович, Я.Г.Пановко); узнать, как образуется звук в различных инструментах (И.А.Алдошина, М.А.Бражников, Л.А.Кузнецов, Л.Ф.Лепендин, А.И.Шихатов).

Таким образом, интерес автора проекта к данной теме был вызван желанием изготовить самому музыкальный инструмент, который можно использовать в школьном кабинете физики для демонстрации звуковых явлений.

Проблема практико-ориентированного проекта: как создать музыкальный инструмент с помощью стеклянных бутылок на основе исследования зависимости частоты звука от высоты налитой в них жидкости.

Цель проекта — исследование звуковых явлений с помощью самодельного музыкального инструмента.

Объект — акустические явления, демонстрируемые с помощью бутылофона.

Предмет — зависимость частоты и длины волны звуковых колебаний от параметров колебательной системы.

Задачи:

1. Проанализировать научно-техническую литературу по проблеме проекта.
2. Рассмотреть характеристики акустических колебаний.
3. Выяснить условия распространения звука и его восприятие человеком.
4. Познакомиться с акустическими резонаторами.
5. Провести эксперимент по определению скорости, частоты и длины волны звука, полученного с помощью стеклянных бутылок.

Гипотеза проекта опирается на предположение о том, что если будет создан музыкальный инструмент - бутылофон, то его можно использовать и на уроках физики для демонстрации звуковых явлений. С его 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;

Практическая значимость проекта. Создан музыкальный инструмент, который можно с успехом использовать на уроках физики для демонстрации акустических явлений.

Для решения поставленных задач были использованы следующие **методы исследования:**

- теоретический анализ научной литературы;
- физическое моделирование;
- эксперимент;
- обработка экспериментальных данных, анализ и теоретическое обобщение, выполняемые с целью выявления уровня достоверности полученных результатов.

Глава I. Теоретические основы звуковых колебаний

1.1. Физическая природа звука и его особенности

Проанализировав научную литературу по теме проекта [4, 6, 7, 10, 12, 19, 20] и, обобщив полученные знания, мы установили, что звук как явление физическое представляет собой механические колебательные движения материальных тел - твердых, газообразных или жидких. Возникновение слуховых ощущений человека связано, как правило, именно с колебаниями воздуха. Звуковые явления представляют собой частный случай волнового движения. Механические колебания частиц упругой окружающей среды в диапазоне частот от 16 до 20 000 Гц, воздействуя на орган слуха человека, вызывают ощущение звука. Такие колебания называют звуковыми колебаниями или просто звуком, а указанный диапазон - диапазоном частот слышимого звука. В узком смысле звуком называют субъективное восприятие этих колебаний специальными органами чувств животных или человека. Звуки частот, лежащих ниже этого диапазона, называют инфразвуком, а выше - ультразвуком.

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.

Для возбуждения звуковых колебаний требуется наличие источника звука - механически колеблющегося тела, например струны, голосовых связок, диффузора громкоговорителя и т.д., а также передающей среды, непосредственно соприкасающейся с этим телом. Звуковые колебания могут возникать и в результате иных возмущений среды, например грозового разряда, взрыва, прохождения воздушной струи через узкую щель или отверстие.

Звуки порождаются источниками различных форм и размеров, которые воспроизводят вибрацию довольно сложным образом. Кроме того, волны воздушного давления способны отражаться от твердых поверхностей. Эти отражения складываются с волнами основного источника, создавая при этом сложное поле различных направлений. Реальный звук является наложением гармонических колебаний с большим набором частот, то есть звук обладает акустическим спектром, который может быть сплошным (в некотором интервале присутствуют колебания всех частот) и линейчатым (присутствуют колебания отделенных друг от друга определенных частот).

По мнению В.А. Красильникова [10], звуковая волна характеризуется избыточным давлением, избыточной плотностью, смещением частиц и их скоростью. Для звуковых волн эти отклонения от равновесных значений всегда малы. Так, избыточное давление, связанное с волной, намного меньше статического давления газа. В противном случае мы имеем дело с другим явлением - ударной волной. В звуковой волне, соответствующей обычной речи, избыточное давление составляет лишь около одной миллионной атмосферного давления. Важно то обстоятельство, что вещество не уносится звуковой волной. Волна представляет собой лишь проходящее по воздуху временное

возмущение, по прохождении которого воздух возвращается в равновесное состояние. Волновое движение, конечно, не является характерным только для звука: в форме волн распространяются свет и радиосигналы, и каждому знакомы волны на поверхности воды.

К основным характеристикам звуковых волн относят скорость звука, интенсивность или звуковое давление, набор частот - это объективные характеристики звуковых волн; высоту тона, громкость, тембр относят к субъективным характеристикам. Субъективные характеристики зависят в большей мере от восприятия звука конкретным человеком, а не от физических характеристик звука.

Интенсивностью звука (или силой звука) называется величина, определяемая средней по времени энергией, переносимой звуковой волной в единицу времени сквозь единичную площадку, перпендикулярную направлению распространения волны:

$$I = W/S \cdot t, (1)$$

где I - сила звука, W - энергия, переносимая упругой средой через заданную поверхность, S - площадь участка фронта звуковой волны, t - время прохождения звуковой волны через участок S .

Интенсивность звука зависит от амплитуды звукового давления, а также от свойств самой среды и от формы волны.

Если интенсивность звука является величиной, объективно характеризующей волновой процесс, то субъективной характеристикой звука, связанной с его интенсивностью, является громкость звука, зависящая от частоты. Согласно физиологическому закону Вебера-Фехнера, с ростом интенсивности звука громкость возрастает по логарифмическому закону. На этом основании вводят объективную оценку громкости звука по измеренному значению его интенсивности:

$$L = \lg (I/ I_0), (2)$$

где I_0 - интенсивность звука на пороге слышимости, принимаемая для всех звуков равной 10^{-12} Вт/м². Величина L называется уровнем интенсивности звука и выражается в белах (в честь изобретателя телефона Белла). Обычно пользуются единицами, в 10 раз меньшими, - децибелами (дБ).

Таблица 1 - Примерная интенсивность распространенных звуков

Вид звука	L, Дб	Вид звука	L, Дб
Порог слышимости	0	Уличный шум	70
Тиканье часов	10	Крик	80
Шепот	20	Пневматическое сверло	90
Тихая улица	30	Кузнечный цех	100
Приглушенный разговор	40	Клепальный молот	110
Разговор	50	Самолетный двигатель	120
Пишущая машинка	60	Болевой порог	130

В таблице 1 представлены интенсивности различных природных и техногенных звуков и их интенсивности.

Физиологической характеристикой звука является уровень громкости, который выражается в фонах (фон). Громкость для звука в 1000 Гц (частота стандартного чистого тона) равна 1 фон, если его уровень интенсивности равен 1 дБ. Например, шум в вагоне метро при большой скорости соответствует 90 фон, а шепот на расстоянии 1 м - 20 фон.

Совершая колебания, тело вызывает колебания прилегающих к нему частиц среды с такой же частотой. Состояние колебательного движения последовательно передается к все более удаленным от тела частицам среды, то есть в среде распространяется волна с частотой колебаний, равной частоте ее источника, и с определенной скоростью, зависящей от плотности и упругих свойств среды. Скорость распространения звуковых волн в газах вычисляется по формуле:

$$v = \sqrt{\gamma R T / M}, (3)$$

где $\gamma = C_p / C_v$ - отношение молярных теплоемкостей газа при постоянных давлении и объеме, $\gamma = 7/5$ (для воздуха), R - универсальная газовая постоянная, M - молярная масса, T - термодинамическая температура. Из формулы (3) вытекает, что скорость звука в газе не зависит от давления p газа, но возрастает с повышением температуры. Чем больше молярная масса газа, тем меньше в нем скорость звука. Например, при $T = 273$ К скорость звука в воздухе ($M = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) $v = 331$ м/с, в водороде ($M = 2 \cdot 10^{-3}$ кг/моль) $v = 1260$ м/с. Выражение (3) соответствует опытным данным. При распространении звука в атмосфере необходимо учитывать целый ряд факторов: скорость и направление ветра, влажность воздуха, молекулярную структуру газовой среды, явления преломления и отражения звука на границе двух сред. Кроме того, любая реальная среда обладает вязкостью, поэтому наблюдается затухание звука, то есть уменьшение его амплитуды и, следовательно, интенсивности звуковой волны по мере ее распространения.

Величина скорости, с которой появляются волны воздушного давления, называется частотой и измеряется одним циклом в секунду, герцем (Гц): 1 Гц = 1 ц/с:

$$\nu = 1/T, (4)$$

где T - время появления одной волны.

Частота волны обратно пропорциональна длине волны - отрезку на оси распространения волны, в котором уместится полный цикл (период) изменения плотности воздуха. Чем больше частота звука, тем меньше длина волны и наоборот. Длину волны очень легко вычислить по формуле

$$\lambda = v/\nu, (5)$$

где v - скорость звука, ν - частота звуковых колебаний. Например, волна, имеющая частоту 100 Гц, имеет длину $340/100 = 3.4$ м.

Амплитудой звуковой волны называется половина разницы между самым высокой и самой низкой точкой волны.

Звуковые волны могут распространяться в воздухе, газах, жидкостях и твердых телах. В безвоздушном пространстве (вакууме) волны не возникают. Звуковые волны в газах и жидкостях могут быть только продольными, так как эти среды обладают упругостью лишь по отношению к деформациям сжатия (растяжения). В твердых телах звуковые волны могут быть как продольными, так и поперечными, а также поверхностными, так как твердые тела обладают упругостью по отношению к деформациям сжатия (растяжения) и сдвига.

Из справочных материалов следует [1, 6], что для большинства металлов скорость продольных волн лежит в пределах от 4000 м/сек до 7000 м/сек, а поперечных - от 2000 м/сек до 3500 м/сек.

В различных средах звуковые волны распространяются с разными скоростями, что и является характеристикой отдельной среды. Скорость распространения звука в воздушной среде зависит от температуры воздуха и, для нормальных условий при 0° составляет примерно 332,5 м/сек. В воде при нулевой температуре звук распространяется со скоростью 1450 метров в секунду. С повышением температуры и солености воды, а также с увеличением глубины, а, следовательно, и гидростатического давления скорость звука возрастает.

Различные твёрдые тела проводят звук по-разному. Упругие тела - хорошие проводники звука. Большинство металлов, дерево, газы, а также жидкости являются упругими телами и поэтому хорошо проводят звук. В стали скорость звука тоже зависит как от температуры, так и от качественного состава стали: чем больше в ней углерода, тем она тверже, тем звук в ней распространяется быстрее.

Встречая на своем пути препятствие, звуковые волны отражаются от него по строго определенному правилу: угол отражения равен углу падения. 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 отраженная волна.

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.

Звуковые волны, идущие из воздуха, почти полностью отразятся от поверхности воды вверх, а звуковые волны, идущие от источника, находящегося в воде, отражаются от нее вниз.

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.

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.

Звуковые волны, проникая из одной среды в другую, отклоняются от своего первоначального положения, то есть преломляются. Угол преломления может быть больше или меньше угла падения. Это зависит от того, из какой среды, в какую проникает звук. Если скорость звука во второй среде больше чем в первой, то угол преломления будет больше угла падения и наоборот.

Частота звуковых колебаний, которые слышит неподвижный наблюдатель в случае, если источник звука приближается или удаляется от него, отлична от частоты звука, воспринимаемой наблюдателем, который движется вместе с этим источником звука, или если и наблюдатель и источник звука стоят на месте. Изменение частоты звуковых колебаний (высоты звука), связанное с относительным движением источника и наблюдателя называется акустическим эффектом Доплера. Когда источник и приемник звука сближаются, то высота звука повышается, а если они удаляются, то высота звука понижается. Это связано с тем, что при движении источника звука относительно среды, в которой распространяются звуковые волны, скорость такого движения векторно складывается со скоростью распространения звука. Например, если машина с включенной сиреной приближается, а затем, проехав мимо, удаляется, то сначала слышен звук высокого тона, а затем низкого.

Человек ощущает звуки, которые лежат в диапазоне частот от 16 Гц до 20 кГц. С возрастом верхняя граница восприятия уменьшается. Чувствительность органов слуха человека до разных частот неодинаковая. Для того, чтобы человек реагировал на звук, необходимо, чтобы его интенсивность была не меньше минимальной величины, которая носит название порога слышимости. Наибольшей чувствительностью человеческое ухо обладает в области частот 1-5 кГц. В этой области порог слышимости по порядку величины равен 10-12 Вт/м², а соответствующее звуковое давление - 10-5 Н/м². При частоте 32 Гц по громкости различаются три звука, при частоте 125 Гц - 94 звука, а при частоте 1000 Гц - 374. Увеличение это не беспредельно. Начиная с частоты 8000 Гц, число различимых звуков по громкости уменьшается. Например, при частоте 16000 Гц человек может различить только 16 звуков.

Звуки очень большой интенсивности человек перестает слышать и воспринимает их как ощущение давления или боли. Такую силу звука называют порогом болевого ощущения. Он слабо зависит от частоты в слышимом диапазоне и равен примерно 1 Вт/м^2 .

Звук одинаковой интенсивности может создавать у различных людей неодинаковые по своей громкости слуховые восприятия. Так, например, звуки, одинаковые по интенсивности, но различающиеся по высоте, воспринимаются ухом с разной громкостью в зависимости от особенностей слухового аппарата.

Имеется еще одна особенность человеческого уха. Если к звуку определенной громкости добавить звук той же или близкой к ней частоты, то общая громкость окажется меньше математической суммы тех же громкостей. Одновременно звучащие звуки как бы компенсируют или маскируют друг друга. А звуки, далеко отстоящие по частоте, не влияют друг на друга, и их громкость оказывается максимальной. Эту закономерность композиторы используют для достижения наибольшей мощности звучания оркестра.

Все окружающие нас звуки являются сложными. Простых звуков, представленных только одиночными колебаниями, практически не встречается. Их можно получить искусственно - например, при звучании камертона в специальных аппаратах для исследования слуха (аудиометрах).

Тембр звука определяется его спектральным составом. Тембр - это оттенок сложного звука, которым отличаются два звука одинаковой силы и высоты. Одинаковые звуки по высоте тона могут звучать по-разному, потому что основной тон звука сопровождается, как правило, второстепенными тонами, которые всегда выше по частоте. Они придают основному звуку дополнительную окраску и называются обертонами. Иными словами, тембром называется характеристика звука. Чем больше обертонов налагается на основной тон, тем «богаче» звук в музыкальном отношении. Если основной звук сопровождается близкими к нему по высоте обертонами, то сам звук будет мягким, «бархатным». Когда же обертоны значительно выше основного тона, появляется «металличность» в голосе или звуке.

Характерные звуковые особенности различных источников определяются не только свойствами основного тона, но и не в меньшей степени наличием обертонов. Именно присутствие тех или иных обертонов, представленных в определенном числе и соотношении, и характеризует тембр источника звука. Слово «тембр» происходит из французского языка и означает «печать», «клеймо». Служит тембр для характеристики источника тона, по тембру мы различаем звуки окружающей нас живой и неживой природы, судим об их происхождении.

1.2. Акустический резонатор

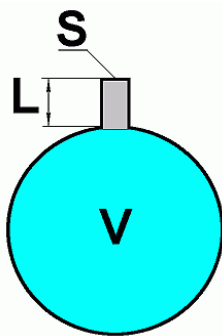
А.И.Шихатов даёт подробное описание акустического резонатора в своей статье[23]. Он считает, что явление резонанса оказывает влияние на все колебательные процессы - механические, электрические, звуковые.

Акустические колебательные системы используются в виде полостей, каналов, объемных резонаторов, которые в сочетании могут образовывать сложные устройства, по своему действию аналогичные резонансным контурам, фильтрам и т.д. С их помощью можно выделять или подавлять определенные участки звукового диапазона частот.

Примером простейшей акустической колебательной системы является резонатор Гельмгольца[23]. Он представляет собой сосуд сферической формы с открытой горловиной. Воздух в горловине является колеблющейся массой, а объем воздуха в сосуде играет роль упругого элемента.

Собственная частота резонатора Гельмгольца равна:

$$\nu = v_{зв}/2\pi * \sqrt{\frac{S}{V * L}}$$



, где

- ν - частота, Гц;
- $v_{зв}$ - скорость звука в воздухе;
- S - сечение отверстия, m^2 ;
- ℓ - длина отверстия, м;
- V - объем резонатора, m^3 .

Например, для сосуда объемом 1 л с горловиной длиной 1 см и сечением 1 cm^2 частота резонанса составит примерно 170 Гц. Обратите внимание, что длина волны для этой частоты составляет около 2 м, что значительно больше характерных размеров резонатора. Следовательно, не может быть и речи о стоячей акустической волне в самом резонаторе. Действительно, в полости можно возбудить только волны, длина которых меньше характерного размера резонатора:

$$\lambda \leq \sqrt[3]{V}$$

Для данного примера это частоты выше 3 кГц.

Другой вариант резонатора - органная труба. Стоячие волны в таком резонаторе возможны лишь для тех случаев, когда на длине трубы укладывается нечетное число четвертей длин волн. Соответственно, резонансные частоты будут равны:

$$\nu = v_{зв}(2p-1)/4\ell$$

$p=1,2,3\dots$



Хотя резонансных частот несколько, однако, сильнее всех выражена первая мода колебаний. Этому случаю соответствует четвертьволновый резонатор длиной:

$$\ell = v_{\text{зв}} / 4\nu$$

Для частоты настройки 27 Гц длина трубы составит примерно 3,1 м. Неудивительно, что церковные органы имеют колоссальные размеры. Однако пора от теории перейти к практике.

Как уже отмечалось в начале статьи, акустические резонаторы можно использовать для усиления или ослабления определенного диапазона звуковых частот. Самый наглядный пример акустического "усилителя" - фазоинвертор акустической системы, представляющий собой все тот же резонатор Гельмгольца, возбуждаемый "изнутри". Если резонатор Гельмгольца возбуждать снаружи, он становится режекторным (подавляющим) фильтром, поглощающим энергию внешних колебаний. Глубину режекции можно увеличить, увеличив потери в горле резонатора при помощи звукопоглощающего материала.

Далее мы выяснили, что в конструкции современных акустических систем, однако, резонатор Гельмгольца используется крайне редко. Динамические головки низкой добротности и высокая мощность усилителей позволяют обойтись без этих ухищрений.

Набор резонаторов с различными собственными частотами может применяться для анализа звука. Из-за трения в горле резонатора на частоте возникает сильное поглощение звука, что используется для создания резонансных звукопоглотителей в архитектурной акустике. Явление акустического резонанса используется в архитектуре, автомобилестроении, конструировании музыкальных инструментов и пр.

1.3. Характеристика музыкальных звуков

Современное музыкальное искусство использует тысячи различных музыкальных инструментов, разнообразных по диапазонам звучания, тембрам звуков, внешним формам и пр. Этому способствует многообразие музыкальных направлений и жанров, особенности национальной культуры многочисленных народов разных стран.

Изучив физику музыкальных звуков [11, 21], мы установили, что с частотой (высотой) звука тесно связано такое фундаментальное музыкальное понятие, как «строй». Отношения частот звуковых колебаний выражаются с помощью музыкальных интервалов, таких как октава, терция, квинта и т.п.

При прослушивании человеком волн всего звукового диапазона он обнаруживает феноменальное чувство схожести звуков, частоты которых отличаются друг от друга ровно в два раза. В соответствии с этим была разработана современная система звуковысотных соотношений, в которой каждый звук имел фиксированную высоту. Интервал в одну октаву между частотами звуков означает, что эти частоты отличаются в 2 раза. Таким образом, любая нота (к примеру, **до**) отличается по частоте от одноименной ноты следующей октавы в два раза и воспринимается с ней на слух очень похоже (как говорят, звучит в унисон). Кроме того, для описания частотных интервалов используется декада - интервал между частотами, отличающимися в 10 раз. Так, диапазон звуковой чувствительности человека составляет 3 декады (20-20000 Гц). Такая система (известная как равномерно-темперированный строй) появилась в XVII веке и состоит из нескольких октав, каждая из которых разбита внутри себя на 12 равных частей-полутонов, отличающихся друг от друга в 1,0595 раза.

В музыкальной практике используются различные виды музыкальных инструментов. Однако самые разнообразные конструкции инструментов объединяет обязательное наличие элементов, обеспечивающих образование и распространение музыкальных звуков в окружающей среде. Эти элементы положены в основу классификации инструментов, например по видам звучащих тел: струнные (фортепиано, арфы, гитары, скрипки), язычковые (аккордеоны, баяны, гармони), духовые (саксофоны, кларнеты, флейты, органы), перепоночные (барабан, литавры), пластиночные (ксилофоны, маримбы, металлофоны), прочие (угольники, маракасы, кастаньеты), электронные (электроорганы, ударно-ритмические).

Человеческий голос в режиме речи и пения отличается по мощности и динамическому диапазону (на 30-45 дБ). Частотный его диапазон укладывается в пределах 80 -10 000 Гц.

Струнные инструменты имеют среднюю мощность около 600 мВт и неширокий динамический диапазон (30-35 дБ). Их частотный диапазон неодинаков. Для скрипки он ограничен частотами 192-10 000 Гц, а для контрабаса — частотами 40 и 5000 Гц.

Деревянные духовые инструменты имеют среднюю мощность порядка 410-5-700 мкВт, и динамический диапазон такой же, как у струнных. Частотный диапазон их ограничен снизу частотой 60 Гц (фагот), а сверху — частотой 9000 Гц (флейта).

У медных инструментов выше средняя мощность (около 0,3 Вт), более широкий динамический диапазон (35-42 дБ) и примерно такой же, как у деревянных, частотный диапазон.

Наибольшее различие в акустических параметрах наблюдается у ударных инструментов. Так, их мощности и динамические диапазоны очень, изменяются от малых значений— 12 мкВт и 25 дБ (ксилофон) до больших — 20 Вт и 80 дБ (литавры). Частотные диапазоны или узки, как у литавр, или широки, как у треугольника.

Оркестры и музыкальные ансамбли по акустическим параметрам также заметно отличаются друг от друга. Мощность их изменяется от десятых долей до нескольких ватт. Динамический диапазон от 50 до 75 дБ, а частотный диапазон — самый широкий.

Стандарты для высоты тона общеприняты в течение едва ли 25 лет. Как правило, для физиков стандартной высотой тона является "до" первой октавы -- 256 колебаний в секунду (С-256). Большинство знает, что музыкальные инструменты настраиваются на определенный звук средней октавы (например, "ля" имеет частоту 426,6 Гц, или 426,6 колебания в секунду).

В музыкальных кругах использовались различные стандарты. Концертная высота тона, которой сейчас редко пользуются, составляла 271 колебание в секунду, что дает для "ля" около 450 Гц, т.е. тон слишком высокий. Международный стандарт высоты тона составлял для "ля" 435 Гц, однако в настоящее время во всем мире (вслед за Американской федерацией музыкантов) принята стандартная высота для "ля" 440 Гц. Это ниже концертной высоты тона, однако, и при таком стандарте спеть арии, сочиненные старыми мастерами, могут не все сопрано.

Таблица 2 -Музыкальная система

Тон	Октавы							
	C ₋₂	C ₋₁	C	c	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
	Частота колебаний, Гц							
С (до)	16	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,6	2093,1
D (ре)		36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,7	2349,3
E (ми)		41,20	82,41	164,81	329,63	659,25	1318,5	2637,0
F (фа)		43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,9	2793,8
G (соль)		49,00	98,00	196,00	392,00	783,00	1568,00	3136,0
A (ля)		55,0	110,0	220,0	440,0	880,0	1760,0	3520,0
H (си)		61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,5	3951,1

Глава II. Экспериментальная разработка самодельного музыкального инструмента

2.1. Создание опытного образца бутылофона

Примером использования звуковых волн является такой музыкальный инструмент как бутылофон.

Ударяя по бутылкам сухой деревянной палочкой, мы извлекаем из них тоны различной высоты. Чем меньше воды в бутылке, тем тон выше. Поэтому, прибавляя или отливая воду, мы смогли добиться, чтобы тоны составили музыкальную гамму. Таким образом, можно исполнять на этом бутылочном инструменте кое-какие несложные мелодии.

Для получения привычного нам всем звукоряда (до, ре, ми, фа, соль, ля си) надо диапазон частот, приходящийся на октаву, поделить на 12 равных интервалов (полутонов). Тогда мы получим аналог чёрных и белых клавиш пианино. Отношение длин волн для нот, соответствующих белым клавишам, начиная с ноты *до* первой октавы равно соответственно:

1: 8/9:4/5:3/4:2/3:3/5:8/15 .

Выполняя работу, мы расставили 9 бутылок в ряд. Налили воду в первую бутылку. Частота колебаний зависит как от материала, из которого изготовлена бутылка, так и от её параметров (объёма резонатора, высоты горла бутылки, площади сечения горла). Налили воду во вторую бутылку, так чтобы отношение длины воздушного столба над водой к длине воздушного столба в пустой бутылке было равно 8/9, что соответствует второй ноте.

Аналогично наполнили оставшиеся бутылки в соотношениях, указанных в подчёркнутом выше ряду, при этом использовали линейку. Затем испытали полученный музыкальный инструмент.

Фото 1 - Музыкальный инструмент, выполненный из бутылок



2.2. Проведение опытов по физике с использованием бутылофона

Проведя теоретическое обоснование нашего проекта, и построив опытный образец бутылофона, мы переходим к экспериментальной деятельности, целью которой является исследование звуковых явлений с помощью самодельного музыкального инструмента.

Исходя из цели работы, были сформулированы задачи эксперимента:

1. Провести экспериментальное исследование модели.
2. Вычислить скорость распространения звука в комнате при данной температуре.
3. Установить зависимость частоты звуковых колебаний от параметров колебательной системы.
4. Вычислить длину звуковых волн при данной частоте.
3. Проанализировать полученные результаты.

Для достижения поставленной цели были использованы экспериментальные методы: физический эксперимент, наблюдение.

Первая часть опытно-экспериментальной работы была посвящена исследованию акустических свойств бутылок. Каждая стеклянная бутылка представляет собой резонатор Гельмгольца. Поэтому в работе мы опирались на эту модель.

Для определения частоты мы провели измерения параметров каждой бутылки, которые представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры бутылок

№ бутылки	Диаметр отверстия d , м	Площадь сечения отверстия, $S=\pi d^2/4$, м ²	Длина горловины бу- тылки ℓ , м	Объём резонатора, V , м ³
1	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5,25 \cdot 10^{-4}$
2	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$
3	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$
4	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$
5	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^{-4}$
6	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5,90 \cdot 10^{-4}$
7	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3,70 \cdot 10^{-4}$
8	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$
9	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$

Затем определили скорость звуковой волны в зависимости от температуры: $v = \sqrt{\gamma R T / M}$,

где $\gamma=7/5$ (для воздуха), R – универсальная газовая постоянная, M – молярная масса, T – температура в классе.

$$v_{зв} = \sqrt{7/5} \cdot 8,31 \cdot 293/29 \cdot 10^{-3} = 342 \text{ м/с}$$

Частоты звуковых волн рассчитали по формуле:

$$\nu = v_{зв}/2\pi \cdot \sqrt{\frac{S}{V \cdot L}}$$

Сравнили полученные значения с таблицей 2. По частоте звуковой волны определили тон звучания резонатора (бутылки).

Далее определили длину акустической волны $\lambda=v/\nu$ и циклическую частоту $\omega=2\pi\nu$. Полученные результаты записали в таблицу 4.

Таблица 4 -Характеристики звуковых волн резонаторов

№ бутылки	Частота звуковой вол- ны ν , Гц	Музыкаль- ный тон бутылки	Длина звуковой вол- ны, λ , м	Циклическая частота, ω , Гц
1	150	Соль		
2		Ля		
3		Си		
4		До		
5		Ре		
6		Ми		
7		Фа		
8		Соль		
9		Ля		

Следующий этап работы был посвящен проверке полученных частот с помощью цифровых измерений. Мы использовали прибор для настройки инструментов – музыкальный тюнер (фото 2). Определили тон, соответствующей частоте для каждой бутылки.

Фото 2 - Музыкальный тюнер



На полученном инструменте нам удалось сыграть простейшие мелодии песен.

Заключение

Изначально интерес автора проекта к данной теме был вызван желанием изготовить самому музыкальный инструмент, который можно использовать в школьном кабинете физики для демонстрации звуковых явлений.

Проведённая работа над проектом позволила не только проанализировать научно-техническую литературу по проблеме явления звука и звукообразования, свойства простого и сложного звука, узнать, как образуется звук в различных инструментах, но и самому создать бутылофон, пригодный для исполнения мелодий. Основой для нашей работы послужил резонатор Гельмгольца как пример простейшей акустической колебательной системы.

Завершив работу над проектом, мы пришли к следующему выводу:

1. Звук как явление физическое представляет собой механические колебательные движения и является частным случаем волнового движения. Объективные характеристики звуковых волн: скорость звука, интенсивность или звуковое давление, набор частот. Субъективные характеристики: высота тона, громкость, тембр.

2. В ходе работы мы выяснили, что скорость звука зависит от плотности и упругих свойств среды. В газах она возрастает с ростом температуры, не зависит от давления газа, падает с ростом его молярной массы. Также зависит от влажности и ветра. Величина скорости, с которой появляются волны воздушного давления, называется частотой и измеряется одним циклом в секунду, герцем.

3. В работе мы определили зависимость частота звуковой волны от параметров резонатора (бутылки). Чем меньше воды в бутылке, тем выше тон. Отношения частот звуковых колебаний выражаются с помощью музыкальных интервалов, таких как октава, терция, квинта и т.п. В реальности звуки состоят из волн разной частоты. Высота звука определяется его частотой, а тембр спектром (набором частот).

4. Используя формулу зависимости длины акустической волны от скорости звука и частоты, мы вычислили длину волны. Связали частоту звука с циклической частотой.

Проведенные эксперименты дали мне возможность убедиться в справедливости теоретических сведений. Я думаю, что мои исследования можно использовать при рассмотрении темы звука на уроках физики.

Список использованных источников

1. Акустика. Справочник /Под.ред. Сапожникова М.А.- М: «Радио и связь», 1989. - 336 с.
2. Акустические характеристики музыкальных инструментов // [Электронный ресурс]: <http://www.all-4-music.ru/index.php>
3. Алдошина И., Приттс Р. Музыкальная акустика.- СПб.: Композитор, 2006. - 720 с.
4. Алешкевич В.А., Деденко Л.Г., Караваев В.А. Колебания и волны.-М: Изд-во Физического факультета МГУ, 2001.-144 с.
5. Бражников М.А. Стеклянная гармоника Франклина//Физика.- 2007.- №9.- С. 16-17
6. Енохович А. С. Краткий справочник по физике. - 2-е изд., перераб и доп. - М.: Высшая школа, 1976. - 288с.
7. Исакович М.А. Общая акустика.- М.: Издательство "Наука", 1973. - 496 с.
8. История музыкальных инструментов // [Электронный ресурс]: <http://blazonguitars.ru>
9. Когда резонатор усиливает, а когда ослабляет звук // [Электронный ресурс]: <http://fizika-class.narod.ru/index.htm>
10. Красильников В. А. Звуковые и ультразвуковые волны в воздухе, воде и твердых телах.- М.:Гос. изд-во физико-математической литературы, 1960.- 560 с.
11. Кузнецов Л.А. Акустика музыкальных инструментов. -М.: Легпромиздат, 1989. – 368с.
12. Лепендин Л.Ф. Акустика.- М.: Высшая школа, 1978. – 448 с.
13. Маньковский В.С. Акустика студий и залов для звуковоспроизведения. – М.: Искусство, 1966. – 376 с.
14. Михайлов И.А. Стеклянная симфония// [Электронный ресурс]: <http://livescience.ru>
15. Морз Ф. Колебания и звук. М.: ГИТТЛ, 1949.- 428 с.
16. Музыкальные инструменты // [Электронный ресурс]: <http://wikipedia.ru>.
17. Пановко Я.Г. Введение в теорию механических колебаний .- М.: Наука, 1991.-256 с.
18. Резонатор Гельмгольца // [Электронный ресурс]: <http://ru.wikipedia.org>
19. Савельев И. В. Курс общей физики: Учеб. пособие. В 3-х т. Т. 2. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. - 3-е изд., испр. - М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. - 496 с.
20. Стрелков С.П. Введение в теорию колебаний.- М.: Наука, 1964.- 438с.
21. Тэйлор Ч.А. Физика музыкальных звуков. - М.: Легкая индустрия, 1976.- 184 с.
22. Характеристика музыкальных инструментов // [Электронный ресурс]: <http://shkolniks.ru/>
23. Шихатов А.И. Акустические резонаторы // Мастер 12вольт, № 55, 2004

Таблица 2 - Музыкальная система

Тон	Октавы							
	C ₋₂	C ₋₁	C	c	c ₁	c ₂	c ₃	c ₄
	Частота колебаний, Гц							
C (до)	16	32,70	65,41	130,81	261,63	523,25	1046,6	2093,1
D (ре)		36,71	73,42	146,83	293,66	587,33	1174,7	2349,3
E (ми)		41,20	82,41	164,81	329,63	659,25	1318,5	2637,0
F (фа)		43,65	87,31	174,61	349,23	698,46	1396,9	2793,8
G (соль)		49,00	98,00	196,00	392,00	783,00	1568,00	3136,0
A (ля)		55,0	110,0	220,0	440,0	880,0	1760,0	3520,0
H (си)		61,74	123,47	246,94	493,88	987,77	1975,5	3951,1

Таблица 3 – Параметры бутылок.

№ бутылки	Диаметр отверстия d, м	Площадь сечения отверстия, $S=\pi d^2/4$, м ²	Длина горловины бу- тылки ℓ , м	Объём резонатора, V, м ³	Частота резонатора ν , Гц
1	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5,25 \cdot 10^{-4}$	148,9
2	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1,55 \cdot 10^{-4}$	
3	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$1,75 \cdot 10^{-4}$	
4	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$2,35 \cdot 10^{-4}$	
5	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$2,50 \cdot 10^{-4}$	
6	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$5,90 \cdot 10^{-4}$	
7	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$8 \cdot 10^{-2}$	$3,70 \cdot 10^{-4}$	
8	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$0,75 \cdot 10^{-4}$	
9	0,02	$3,14 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-2}$	$1,65 \cdot 10^{-4}$	

Вопросы:

1. Какие методы исследования использовались в работе?
2. В чём состоит явление звукового резонанса?
3. Что собой представляет резонатор Гельмгольца и для чего его использовал учёный?
4. Какие научные статьи вами были рассмотрены при работе над проектом?
5. Дайте понятие интенсивности звука. Что такое частота звука?
6. Какова частота слышимого человеком звука?
7. В каких единицах измеряется громкость звука?
8. Что такое октава, тон, обертон звука?
9. Где скорость распространения звука больше в воде или в воздухе?
- 10.