

ИССЛЕДОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ СТОЯЧИХ ВОЛН И КОНСТРУИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНОГО ИНДИКАТОРА ДАВЛЕНИЯ

Пухаев Я.С.

г. Минусинск, Красноярский край, МАОУ «Гимназия №1», 11А класс

Научный руководитель: Маркус Р.Т., г. Минусинск, Красноярский край, МАОУ «Гимназия №1», учитель физики

Актуальность проекта. Звуки окружают нас повсюду. В природе существует бесконечное множество различных звуков. Каждый из звуков несёт в себе определённую информацию и человек по-разному реагирует на них. Поэтому изучение природы звука – один из важных и занимательных частей физики. При изучении механических волн, в основном, звуковую волну представляли как абстрактную модель. Поэтому исследования природы звуковых волн всегда актуальны. Решение визуального отображения звуковой волны в реальности я нашёл в опыте немецкого физика-экспериментатора Генриха Рубенса под названием «Труба Рубенса».

Цель проекта: определение длины звуковой волны по заданной частоте.

Задачи проекта: 1. провести теоретическое исследование явления стоячей волны; 2. сконструировать индикатор звукового давления, позволяющий визуально наблюдать данное явление и определять длину волны по заданной частоте.

Методы конструкторско-исследовательской работы: теоретический (изучение теории явления образования стоячей волны; установление хронологии открытий, связанных с явлением стоячих волн);

эмпирический (конструирование индикатора звукового давления и определение длины звуковой волны).

Продукт проекта (форма защиты): сконструировать визуальный индикатор давления (трубу Рубенса); представление и защита устройства на республиканской выставке-конкурсе технических проектов школьников и студентов «Технотворчество Хакасии».

Для решения поставленных задач проекта предлагалось провести теоретическое исследование явления стоячей волны, а затем сконструировать индикатор давления, позволяющий визуально наблюдать явление стоячих волн и определять частоту по наблюдаемой длине волны.

Проведенное теоретическое исследование позволило установить хронологию открытий явлений, связанных со стоячими волнами:

1802 год – Т. Юнгом проведен «опыт с двумя отверстиями», позволивший открыть принцип интерференции;

1858 год – Джон Ле Конт открыл чувствительность пламени к звуку;

1862 год – Рудольф Кёниг показал зависимость высоты пламени от посылаемого звука в источник газа;

1866 год – Август Кундт продемонстрировал акустические стоячие волны, поместив мелкие пробковые опилки в стеклянную трубу (при создании звуковой волны в трубе из опилок сформировались кучки, отстоящие на равных расстояниях);

1901 год – Бен провел эксперимент, показывающий, что маленькое пламя может служить чувствительным индикатором давления;

1904 год – Генрих Рубенс, используя эти два эксперимента, просверлил в четырехметровой трубе 200 маленьких отверстий с шагом 2 см, и заполнил горючим газом (после поджигания пламени звук, подведённый к концу трубы, создаёт стоячую волну с длиной волны, эквивалентной длине волны подводимого звука, рис. 1).



Рис. 1. Трубка Рубенса по демонстрации визуальных акустических стоячих волн. 1 – баллон с газом, 2 – клапан, 3 – металлическая трубка с отверстиями, 4 – мембрана, 5 – громкоговоритель, 6 – тон-генератор

Теоретическое обоснование явления стоячих волн. Две волны, приходящие в какую-либо точку пространства, обладают постоянной разностью фаз, такие волны называются когерентными. При сложении когерентных волн возникает явление интерференции. Интерференция наблюдается при наложении двух встречных плоских волн с одинаковой амплитудой. Возникающий в результате колебательный процесс называется стоячей волной. Практически стоячие волны возникают при отражении от преград. Образование узла связано с тем, что волна, отражаясь от более плотной среды,

меняет фазу на противоположную, происходит сложение колебаний противоположных направлений, в результате чего получается узел (рис. 2).



Рис. 2. Вид стоячей волны с образованными пучностями и узлами

Теоретическое значение проведенного исследования состоит в изучении явления стоячей волны и выявлении зависимости длины волны от заданной частоты.

Конструирование визуального индикатора давления (трубы Рубенса). Для визуального наблюдения стоячей волны был сконструирован индикатор, работа которого основана на связи между звуковыми волнами и давлением газа (рис. 3).



Рис. 3. Ян Пухаев со сконструированным индикатором визуального наблюдения стоячей волны

Конструирование осуществлялось в следующей последовательности:

1. отрезок трубы был перфорирован по всей длине и запечатан с обеих концов;
2. один конец подключается к динамику, а второй — к источнику горючего газа (баллону с пропаном);
3. включается динамик.

Труба заполняется горючим газом, который просачиваясь через отверстия, горит (рис. 4). При использовании постоянной частоты в пределах трубы формируется стоячая волна. Когда динамик включен, в трубе формируются области повышенного и пониженного давления. Там, где благодаря звуковым волнам находится область повышенного давления, через отверстия просачивается больше газа и высота пламени больше. Визуализация стоячей волны позволяет измерить при помощи линейки длину волны (расстояние между пиками).



Рис. 4. Визуализация стоячей волны при помощи сконструированного индикатора давления

С помощью созданного визуального индикатора давления реализована задача измерения длины волны (расстояние между пиками).

Теоретические значения длины волны получены по формуле:

$$\lambda = \frac{g}{\nu}$$

где g – скорость движения звуковой волны, ν – частота. В трубе у меня находился пропан. Скорость движения звука в газе рассчитана по формуле:

$$g = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

где γ – показатель адиабаты (для многоатомных газов показатель адиабаты равен 4/3), R – универсальная газовая постоянная, равная 8,31 Дж/(моль·К).

Опыт проводился при температуре 200 С, поэтому $T=293$ К. Молярная масса пропана 44,1 10⁻³ кг/моль. Подставив значения в формулы, определили, что скорость движения звука в пропане равна 271 м/с.

Для подачи сигнала определённых частот на визуальный индикатор использовалась программа – генератор звуковых частот [1].

генератор звуковых частот (объём 35 Кб.) с сайта автора Phil Marchand.

Результаты измерений и расчетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты измерений

№ п/п	ν , Гц	λ теоретическая	λ практическая
1	2000	0,136 м	0,142 м
2	5000	0,0542 м	0,0556 м
3	10000	0,0271 м	0,0281 м
4	20000	0,0136 м	0,0142 м

Отклонение значений теоретических и эмпирических объясняется погрешностями, возникающими при округлении значений и возможно пропан, использовавший в опыте,

мог содержать примеси и, в таком случае, температура газа во время опыта могла измениться.

Заключение. При реализации проекта решены задачи: проведено теоретическое исследование явления стоячей волны; сконструирован индикатор звукового давления, позволяющий визуально наблюдать данное явление, работа которого основана на связи между звуковыми волнами и давлением газа. Решение задач позволило достигнуть цели – определена длина звуковой волны по заданной частоте. Данные, полученные в ходе эксперимента достаточно точны. Благодаря опыту Рубенса стало возможным визуальное представление звуковой волны.

Практическое значение проведенного исследования состоит в конструировании индикатора давления, позволяющего визуально наблюдать данное явление и определять длину волны по заданной частоте. Кроме этого, я убедился, что исследование почти всегда требует эксперимента. В отли-

чие от обычного наблюдения в ходе эксперимента исследователь активно вмешивается в протекание изучаемого процесса с целью получить о нем определенные знания. Познавательная роль эксперимента велика не только в том отношении, что он дает ответы на ранее поставленные вопросы, но и в том, что в ходе его возникают новые проблемы, решение которых требует проведения новых опытов и создания новых экспериментальных установок. Перспективное направление развития проекта: конструирование плоскостного визуализатора звукового давления (2D) и тороида звукового давления.

Список литературы

1. Полный курс лекций по физике. URL: <http://physics-lectures.ru/mexanicheski-kolebaniya-i-volny/8-10-stoyachie-volny/>.
2. Реальная физика. URL: <http://bourabai.ru/physics/sound.html>.
3. Программа «Генератор звуковых частот Phil Marchand». URL: <http://genealogic.narod.ru/load/4-1-0-1>.