

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗВУКОВЫХ ВОЛН. ТРУБА РУБЕНСА

Никитина Ж.Ю., Никитин Д.С., Тугушева З.М.

*г. Кузнецк, МБОУ средней общеобразовательной школы № 14, 7 класс**Научный руководитель: Кудашов А.А., учитель физики и информатики, г. Кузнецк, МБОУ средней общеобразовательной школы № 14*

Ежедневно каждый из нас, людей, подвергается воздействию множества факторов. Это запахи, тепловое воздействие, излучение различных приборов, и, конечно, звуки. Звуки окружают нас повсюду, зачастую мы не можем их выбирать – шум проезжающих машин, работ на стройке, чья-то речь или навязчивая музыка. 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 их, возможно, представить наглядно, а звуковые волны представляют как абстрактную модель.

Звуковые волны – это колебания частиц воздуха, которые распространяются во все стороны от места возникновения звука.

Теория звука гласит: если какое-либо физическое тело совершает колебательные движения – струна гитары, голосовая связка, упругая пластина из металла – неважно что, оно будет распространять вокруг себя такие же колебания.

Нас заинтересовал вопрос, действительно ли, звуковая волна имеет волнообразную форму, а если это так, то как это представить наглядно?

Решение отображения звуковой волны в реальности мы нашли в опыте немецкого физика-экспериментатора Генриха Рубенса под названием «Труба Рубенса».

**Волны**

Волна – возбуждение среды, распространяющееся в пространстве и времени или в фазовом пространстве с переносом энергии и без переноса массы. Другими словами, волнами или волной называют изменяющееся со временем пространственное чередование максимумов и минимумов любой физической величины – например, плотности вещества, напряжённости электрического поля, температуры.

Волны бывают разных видов:

- если в волне частицы среды испытывают смещение в направлении, перпендикулярном направлению распространения, то волна называется поперечной;

- если смещение частиц среды происходит в направлении распространения волны, то волна называется продольной.

Как в поперечных, так и в продольных волнах переноса вещества в направлении распространения волны не происходит.

В процессе распространения частицы среды лишь совершают колебания около положений равновесия. Однако волны переносят энергию колебаний от одной точки среды к другой. Характерной особенностью механических волн является то, что они распространяются в материальных средах (твёрдых, жидких или газообразных). Существуют волны, которые способны распространяться и в пустоте (например, световые волны). Для механических волн обязательно нужна среда, обладающая способностью запасать кинетическую и потенциальную энергию. Следовательно, среда должна обладать инертными и упругими свойствами. В реальных средах эти свойства распределены по всему объёму. Так, например, любой малый элемент твёрдого тела обладает массой и упругостью.

Значительный интерес для практики представляют простые гармонические или синусоидальные волны. Они характеризуются амплитудой ( $A$ ) колебаний частиц, частотой ( $f$ ) и длиной волны ( $\lambda$ ).

Длиной волны  $\lambda$  называют расстояние между двумя соседними точками на оси  $Ox$ , колеблющимися в одинаковых фазах.

Расстояние, равное длине волны  $\lambda$ , волна пробегает за время равное периоду колебаний ( $T$ ), следовательно,  $\lambda = vT$ , где  $v$  – скорость распространения волны.

Звук – физическое явление, представляющее собой распространение в виде упругих волн механических колебаний в твёрдой, жидкой или газообразной среде.

Звуковые волны могут служить примером колебательного процесса. Всякое колебание связано с нарушением равновесного состояния системы и выражается в отклонении её характеристик от равновесных значений с последующим возвращением к исходному значению. Для звуковых колебаний такой характеристикой является давление в точке среды, а её отклонение – звуковым давлением.

Если произвести резкое смещение частиц упругой среды в одном месте, например, с помощью поршня, то в этом месте увеличится давление. Благодаря упругим связям частиц, давление передаётся на соседние частицы, которые, в свою очередь, воздействуют на следующие, и область повышенного давления как бы перемещается в упругой среде. За областью повышенного давления следует область пониженного давления, и, таким образом, образуется ряд чередующихся областей сжатия и разрежения, распространяющихся в среде в виде волны. Каждая частица упругой среды в этом случае будет совершать колебательные движения.

В жидких и газообразных средах, где отсутствуют значительные колебания плотности, акустические волны имеют продольный характер, то есть направление колебания частиц совпадает с направлением перемещения волны. В твёрдых телах, помимо продольных деформаций, возникают также упругие деформации сдвига, обуславливающие возбуждение поперечных (сдвиговых) волн; в этом случае частицы совершают колебания перпендикулярно направлению распространения волны.

Скорость распространения продольных волн значительно больше скорости распространения сдвиговых волн.

### Стоячие волны

Стоячая волна – колебания в распределённых колебательных системах с характерным расположением чередующихся максимумов и минимумов амплитуды. Практически такая волна возникает при отражениях от преград и неоднородностей в результате наложения отражённой волны на падающую. При этом, крайне важное значение имеет частота, фаза и коэффициент затухания волны в месте отражения. Так же стоячей волной называется волна, образующаяся в результате наложения двух бегущих синусоидальных волн, которые распространяются навстречу друг другу и имеют одинаковые частоты и амплитуды, а в случае поперечных волн еще и одинаковую поляризацию. Примерами стоячей волны могут служить колебания струны, колебания воздуха в органной трубе.

Стоячие волны образуются при наложении двух бегущих волн, распространяющихся навстречу друг другу с одинаковыми частотами и амплитудами. Практически стоячие волны возникают при отражении от преград.

Чисто стоячая волна, строго говоря, может существовать только при отсутствии потерь в среде и полном отражении волн от границы. Обычно, кроме стоячих волн,

в среде присутствуют и бегущие волны, подводящие энергию к местам её поглощения или излучения.

В случае гармонических колебаний в одномерной среде стоячая волна описывается формулой  $u = u_0 \cos kx \cos(\omega t - \varphi)$ , где  $u$  – возмущения в точке  $x$  в момент времени  $t$ ,  $u_0$  – амплитуда стоячей волны,  $\omega$  – частота,  $k$  – волновой вектор,  $\varphi$  – фаза.

Стоячие волны являются решениями волновых уравнений. Их можно представить себе как суперпозицию волн, распространяющихся в противоположных направлениях [4].

При существовании в среде стоячей волны, существуют точки, амплитуда колебаний в которых равна нулю. Эти точки называются узлами стоячей волны. Точки, в которых колебания имеют максимальную амплитуду, называются пучностями.

### Физический опыт

Джон Ле Конт (John Le Conte) открыл чувствительность пламени к звуку в 1858 году. В 1862 году Рудольф Кёниг показал, что высоту пламени можно менять, посылая звук в источник газа, и изменения во времени могут быть отображены при помощи вращающихся зеркал. Август Кундт в 1866 году, продемонстрировал акустические стоячие волны, помещая семена плауна или корковую пыль в трубу. Когда в трубу был запущен звук, то из семян сформировались узлы (точки, где амплитуда минимальна) и пучности (анти-узлы – области, где амплитуда максимальна), сформированные стоячей волной. Позже, уже в XX веке, Бен (Behn) показал, что маленькое пламя может служить чувствительным индикатором давления. Наконец, в 1904 году, используя эти два важных эксперимента, Генрих Рубенс, в чью честь назвали этот эксперимент, взял 4-метровую трубу, просверлил в ней 200 маленьких отверстий с шагом 2 см и заполнил её горючим газом. После поджигания пламени (высота огоньков примерно одинакова по всей длине трубы), он заметил, что звук, подведённый к концу трубы, создаёт стоячую волну с длиной волны, эквивалентной длине волны подводимого звука. Кригар – Менцель (O. Krigar – Menzel) помогал Рубенсу с теоретической стороной явления [3].

Генрих Рубенс – немецкий физик-экспериментатор, автор научных трудов по оптике, спектроскопии, физике теплового излучения.

Труба Рубенса – физический эксперимент по демонстрации стоячей волны, основанный на связи между звуковыми волнами и давлением воздуха (или газа).



Рис. 1. Генрих Рубенс

Мы повторили физический опыт Рубенса. Для этого нам потребовалось: метровая металлическая труба, звуковой динамик, баллончик с газом (пропан).

В металлической трубе были просверлены отверстия диаметром 1,4 мм через каждый сантиметр. К трубе с одной стороны был подведен газ, а с другой звуковой динамик. Все элементы соединены герметично, для того что бы исключить просачивание газа.

Изменяя количество подаваемого газа и уровень звука, добились волнообразной картинки.

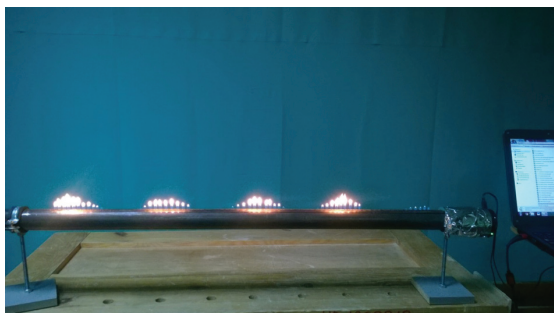
Мы выяснили, что если использовать звук с постоянной частотой, то в пределах трубы может сформироваться стоячая волна из огоньков. Это вызвано тем, что когда динамик включен, в трубе формируются области повышенного и пониженного давления. Там, где область повышенного давления, через отверстия просачивается больше газа и высота пламени больше и наоборот. Благодаря этому можно измерить длину волны просто измеряя линейкой расстояние между пиками.

Сравним теоритические и практические значения длины волны.

Напомним, что длиной волны называют расстояние между двумя ближайшими друг к другу точками, колеблющимися в одинаковых фазах. Рассчитывать длину волны мы будем по формуле:

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

где  $v$  – скорость движения звуковой волны,  $\nu$  – частота.



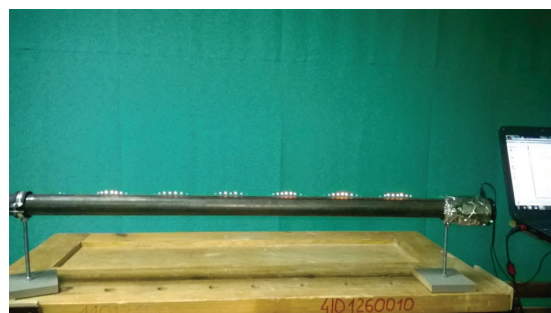
700 Гц



800 Гц



900 Гц



1000 Гц

Рис. 2

Так как у нас в трубе находится пропан, то скорость движения звука будет рассчитываться по формуле:

$$v = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}},$$

где  $\gamma$  – показатель адиабаты (для многоатомных газов показатель адиабаты равен  $4/3$ ),  $R$  – универсальная газовая постоянная, равная  $8,31$  Дж/(моль·К),  $T = 273$  К, так как опыт проводился при нормальных условиях, молярная масса пропана равна  $44,1 \cdot 10^{-3}$  кг/моль.

Подставить все значения в формулу расчета скорости звука в газе получим:

$$u = \sqrt{\frac{4/3 \cdot 8,31 \cdot 273}{44,1 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{68590,4761} = 261,9 \approx 262 \text{ м/с}.$$

По результатам измерений и расчетов составим таблицу.

Во время вычислений возможны погрешности, возникающие во время округления. Так же газ пропан, использовавшийся в опыте, мог содержать примеси, темпера-

тура газа во время опыта могла изменяться, неточность отверстий в трубе.

№ п/п	f (Гц)	$\lambda$ (см)	$\lambda$ (см)
1	700	37,4	37
2	800	32,75	32,2
3	900	29,1	29,5
4	1000	26,2	25

### Заключение

Благодаря опыту Рубенса стало возможным представление звуковой волны на реальном примере, тем самым стало возможно доказательство теорем и гипотез, основываясь на практике.

Так же, опыт с трубой Рубенса возможно применять в школах на уроках физики для более наглядного представления звуковой волны, с соблюдением всех требований техники безопасности.

### Список литературы

1. «Физика 9» А.В. Перышкин, Е.М. Гутник.
2. «Физика 11» Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев и другие.
3. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Труба\\_Рубенса](https://ru.wikipedia.org/wiki/Труба_Рубенса).
4. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Стоячая\\_волна](https://ru.wikipedia.org/wiki/Стоячая_волна).
5. URL: <http://bourabai.ru/physics/sound.html>.