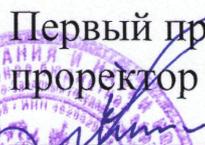


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 10.11.2023 03:15:07
Уникальный программный ключ:
0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf73e943df4a4851fda56d089

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра физики

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор –
проректор по учебной работе
 Е.А. Кудряшов

«» 10.11.2023 2012 г.



ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ЗВУКА В ВОЗДУХЕ
МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ВОЛН

Методические указания к выполнению лабораторной
работы № 18 по разделу "Механика и молекулярная физика".

Курск 2012 г.

УДК 534.2

Составители: Л.И. Рослякова, А.М.Стороженко

Рецензент

Доктор физ.-мат. наук, профессор В.М.Полунин

Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн : методические указания к лабораторной работе №18 по разделу физики «Механика и молекулярная физика»/ сост.: Л.И. Рослякова, А.М. Стороженко Курск, 2012. 9с., ил.3, табл. 1. Библиогр.: 3 назв.

Содержит теоретические сведения по методу определения скорости звука, основанном на свойствах звуковой стоячей волны. Приведено описание лабораторной установки. Указывается порядок выполнения работы, вопросы для контроля знаний.

Методические указания соответствуют требованиям Государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования (2010г.) и рабочих учебных планов технических специальностей.

Предназначены для студентов технических специальностей дневной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60 x 84 1/16.
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Лабораторная работа № 18

Определение скорости звука в воздухе методом стоячих волн

Цель работы: освоение интерференционного метода определения скорости распространения звука, определение скорости распространения звука в воздухе этим методом и анализ погрешностей измерения.

Приборы и принадлежности: деревянная труба с подвижным поршнем и измерительной линейкой, звуковой генератор с телефонной мембраной.

ВВЕДЕНИЕ

Звук в широком смысле - колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн в газовой, жидкой или твёрдых средах. Звуковые волны в газах и жидкостях являются продольными и представляют собой последовательные сгущения и разрежения частиц среды. Распространение звука в первую очередь характеризуется его скоростью.

Скорость звука - скорость перемещения в среде упругой волны при условии, что форма её профиля останется неизменной. Скорость гармонической волны называется также фазовой скоростью звука. Обычно скорость звука - величина постоянная для данного вещества при заданных внешних условиях и не зависит от частот волны и её амплитуды. В ряде случаев наблюдается дисперсия скорости звука, т.е. зависимость скорости его распространения от частоты.

Измерение скорости звука используется для определения многих свойств вещества, таких как сжимаемость газов и жидкостей, модули упругости твёрдых тел. Измерение малых изменений скорости звука является чувствительным методом определения наличия примесей в газах и жидкостях. Ряд контрольно-измерительных применений ультразвука в технике основан на измерениях скорости звука.

В данной работе предлагается определить скорость звука в воздухе методом стоячих волн.

Стоячая волна образуется при наложении двух встречных плоских волн с одинаковой амплитудой. Практически стоячие волны возникают

при отражении волн от преград. Падающая на преграду волна и бегущая ей навстречу отраженная, налагаясь, дают стоячие волны. Это частный случай интерференции волн.

Положим, что смещения частиц среды, вызванные прямой и обратной волной, задаются уравнениями:

$$\xi_1 = \xi_0 \cos(\omega t - kx) \quad (1)$$

$$\xi_2 = \xi_0 \cos(\omega t + kx), \quad (2)$$

где ξ_0 – амплитуда колебаний частиц, ω – частота колебаний, k – волновое число.

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (3)$$

В результате интерференции прямой и обратной волн, колебание в точке x будет происходить по закону:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 \quad (4)$$

или

$$\xi = 2\xi_0 \cos kx \cdot \cos \omega t. \quad (5)$$

Данное уравнение есть уравнение стоячей волны.

Графическое изображение стоячей волны показано на рис. 1.

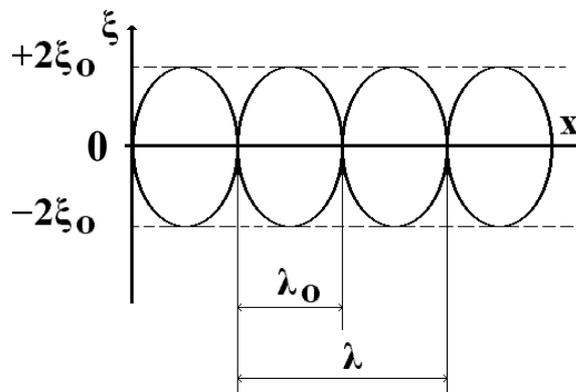


Рис. 1

Длина стоячей волны λ_0 равна половине длины бегущей волны λ .

Амплитуда стоячей волны зависит от x

$$A = 2\xi_0 \cos kx. \quad (6)$$

Точки, в которых амплитуда максимальна, называются пучностями стоячей волны, точки, в которых амплитуда $A = 0$ называются узлами стоячей волны.

Простейший пример стоячей волны – плоская звуковая стоячая волна внутри наполненной воздухом трубы, например, органной, или такой как в данной лабораторной работе.

Экспериментально наблюдаемыми следствиями колебаний частиц являются периодические разрежения и сжатия (в общем случае – деформации) среды. Соответственно, экспериментально измеряемыми величинами, характеризующими распространение любых механических волн, в том числе и звуковых, являются периодически изменяющиеся в каждой малой области среды плотность вещества, давление. К ним относятся и такие величины, как напряжение и деформация.

Следовательно, при распространении волн в среде мы воспринимаем перепады давления, которые описываются формулами, аналогичными (1) – (6).

ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка схематически изображена на рис. 2.

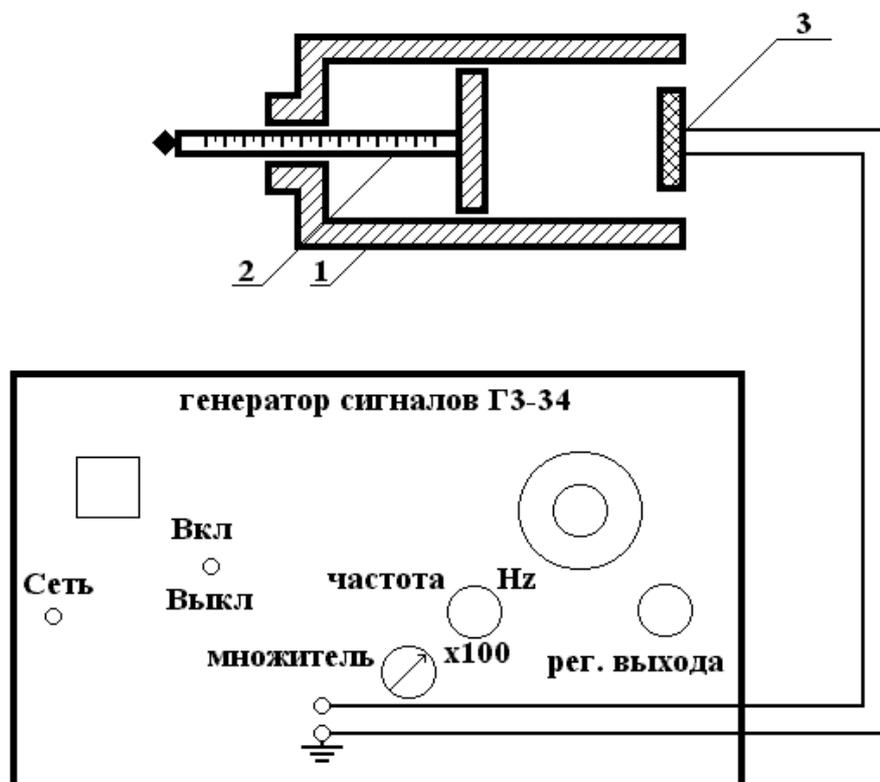


Рис. 2

Основными элементами установки являются труба-резонатор в виде цилиндрического деревянного волновода - 1, внутри которой свободно перемещается поршень-отражатель с измерительной линейкой - 2. У открытого конца трубы закреплён источник звуковых сигналов – телефонная мембрана - 3, совершающая колебания в переменном магнитном поле от переменного тока, который задаётся генератором звуковых сигналов (ГЗ-34).

Звуковые стоячие волны образуются (см. рис. 3) а) из прямой волны (сплошная линия), идущей от телефонной мембраны к поршню; б) из отраженной от поршня волны (пунктир), фаза которой изменилась на обратную, так как отражение происходит от среды акустически более плотной. Считаем, что отраженная волна не воздействует на источник колебаний. При определенных условиях в трубе возникает акустический резонанс.

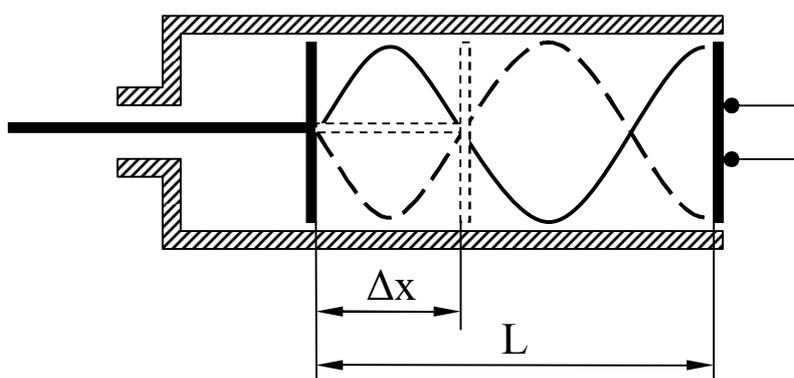


Рис. 3

Резонанс («откликаюсь») – явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний в колебательной системе при приближении частоты внешней силы (вызывающей вынужденные колебания) к частоте какой-либо из собственных колебаний данной колебательной системы.

В данной работе наблюдается акустический резонанс, то есть явление, при котором колебания столба воздуха в трубе достигают максимальной амплитуды. Это происходит тогда, когда частота звуковых колебаний телефонной мембраны (внешняя, вынуждающая сила) приближается к одной из собственных частот воздушного столба в трубе. Эта частота называется резонансной частотой. При резонансной частоте звучание воздушного столба в трубе максимально.

Если постепенно отодвигать поршень от телефонной мембраны, то можно добиться резонанса, то есть максимального звучания воздушного столба, заключенного в трубе, при этом будет слышно последовательно усиление и ослабление звука. В этом случае в трубе образуются стоячие

волны, причем у поршня всегда будет узел, а у открытого конца, где находится телефонная мембрана, - пучность.

Для наблюдения акустического резонанса необходимо, чтобы длина L столба воздуха между открытым концом трубы и поршнем удовлетворяла условию (см. рис. 3).

$$L = (2m - 1) \frac{\lambda_0}{2}, \quad (7)$$

где λ_0 – длина стоячей волны, $m = 1, 2, 3 \dots$

На рис. 3 на длине L столба воздуха укладывается пять половин длин стоячей волны λ_0 (при $m=3$).

Нахождение координат пучностей на «слух» связано с ошибкой, возникающей за счет некоторой «размазанности» самой вершины пучности. Более точным является определение координат узлов, так как при совпадении поршня с координатой узла звук практически исчезает (амплитуда волны обращается в нуль). Расстояние Δx (рис. 3) между двумя соседними узлами будет равно длине стоячей волны

$$\Delta x = \lambda_0. \quad (8)$$

Длина звуковой волны

$$\lambda = 2\lambda_0. \quad (9)$$

Зная частоту ν колебаний, которая выставлена на звуковом генераторе и определив длину звуковой волны λ , определяют скорость распространения звука по формуле:

$$v = \lambda \nu. \quad (10)$$

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. С разрешения преподавателя или лаборанта включить звуковой генератор ГЗ-34 в сеть.

2. Поставить тумблер «Сеть» на панели генератора в положение «Вкл» (при этом загорится сигнальная лампочка).

3. Спустя 2-3 минуты вращением ручки настройки прибора установить указатель частот ГЦ на цифру, указанную преподавателем.

4. Поставить поршень вплотную к открытому концу трубы и, вращая ручку регулятора выходного напряжения звукового генератора, установить силу звука такой, чтобы сигнал был едва слышен. (Остальные ручки управления генератора не трогать).

5. Медленно и равномерно отодвигая поршень от мембраны, определить координаты узлов стоячей волны. Измерение координат необходимо произвести для 5-6 узлов.

6. По разности координат узлов определить длину стоячей волны по формуле (8).

7. Из полученных 6 значений длины стоячей волны найти среднее значение длины бегущей волны по формуле (9).

8. Среднее значение λ подставить в формулу (10) и найти фазовую скорость распространения звука.

9. Аналогично провести измерения длины волны и рассчитать фазовые скорости распространения звука, выставив на звуковом генераторе другую частоту, указанную преподавателем, и проделав операции, указанные в п. 4-8.

10. Вывести формулу для подсчета относительной и абсолютной погрешности измерения фазовой скорости распространения звука и вычислить эти погрешности.

11. Результаты измерений и вычислений занести в таблицу.

Таблица

№ п/п	ν , Гц	x , 10^{-3} м (координаты узлов)	λ_0 , м	$\langle \lambda \rangle$, м	$\langle \nu \rangle$, м/с	$\langle \Delta \nu \rangle$, м/с	$\frac{\Delta \nu}{\nu}$, %

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как образуется и каким уравнением описывается стоячая волна. Вывести уравнение стоячей волны.

2. Какие волны называются звуковыми, что такое скорость звука и где используются измерения скорости звука.

3. Обосновать метод определения скорости звука в данной работе.

Список рекомендуемой литературы

1. Бордовский, Г.А. Курс физики в 3 кн. Кн. 1. Физические основы механики: Учебник / Г.А.Бордовский, С.В.Борисенко, Ю.А.Гороховский. – М.: Высш. шк., 2004. – 423 с.
2. Савельев, И.В. Курс физики: Учебное пособие в 3-х тт. Т.1 Механика. Молекулярная физика / И.В.Савельев. – СПб: Из-во «Лань», 2007. – 352 с.
3. Федосеев В.Б. Физика: Учебник / В.Б.Федосеев. – Ростов н/Д: Феникс, 2009. – 669 с.