

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Курганский государственный университет»
(КГУ)

Кафедра математики и физики

Определение скорости звука в воздухе методом резонанса

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Курган 2024

Кафедра: «Математики и физики»

Дисциплина: «Физика».

Составили: доцент Т. В. Дензанова,
старший преподаватель Л. Н. Никифорова,
старший преподаватель И. А. Пешкова.

Рекомендованы методическим советом университета «25» декабря 2023 г.

Утверждены на заседании кафедры «31» августа 2023 г.

Цель работы: определить скорость звука в воздухе с помощью звукового резонанса.

Приборы и принадлежности: стеклянный цилиндр, соединенный резиновой трубкой с резервуаром, наполненным водой, звуковой генератор.

Краткая теория

Из основ физики известно, что объекты, подверженные колебаниям (например, камертон, струна или мембрана), в упругой среде вызывают колебательное движение соприкасающихся с ними частиц среды – атомов, молекул и других механических возмущений. Это приводит к появлению периодических деформаций в окружающей среде (например, сжатие или растяжение среды) и, как следствие, к образованию упругих сил.

Эти силы направлены на возвращение среды в состояние равновесия и вызывают возникновение упругих колебаний.

Благодаря взаимодействию соседних элементов среды, упругие деформации передаются от одного участка среды к другому. Этот процесс, при котором колебательное движение распространяется в среде, называется механическими волнами. Существуют два типа волн: продольные, при которых частицы среды колеблются в направлении распространения волны, и поперечные, где частицы колеблются под прямым углом к направлению волны. В жидкостях и газах возникают только продольные волны, распространяющиеся в виде чередующихся сжатий и растяжений среды.

Поверхность, до которой доходит колебание в некоторый момент времени, называется фронтом волны. Поверхность волны, в которой все частицы колеблются в одинаковой фазе, называется волновой поверхностью.

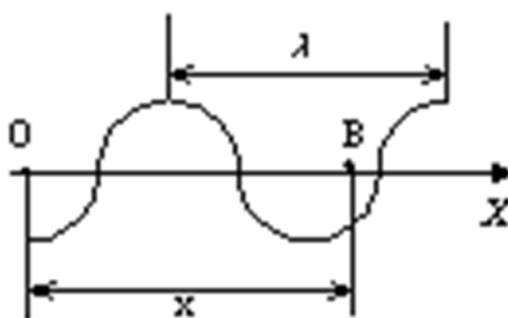


Рисунок 1. – График колебательного движения

Звуковая волна, как и любая волна, характеризуется длиной волны λ , циклической частотой ν и скоростью распространения c (рисунок 1). Эти три параметра волны связаны между собой дисперсионным соотношением:

$$v = \frac{c}{\lambda}. \quad (1)$$

Это соотношение и может использоваться для определения скорости волн в различных средах, в частности скорости звука в воздухе. Для этого нужно измерить длину волны, у которой известна циклическая частота, для чего в данной работе используется явление акустического резонанса. Суть этого явления состоит в том, что газ, заключённый в ограниченный объём, способен колебаться и частоты его колебания определяются размерами области, в которую заключён газ. Таких частот существует много, теоретически – бесконечно много. Наименьшая частота называется основной частотой. Если внутрь этого объёма вводить звук, газ, заключённый в объёме, начнёт колебаться, однако амплитуда его колебания зависит от соотношения между частотой вводимой звуковой волны и одной из частот колебания газа в объёме. При совпадении частоты вводимого звука с одной из частот колебания газа в объёме амплитуда колебания газа возрастает даже без увеличения интенсивности вводимого звука. При этом громкость звука также возрастает. Это явление и называется акустическим резонансом.

Звуковая волна, как и любая волна, распространяясь в какой-либо среде, дойдя до границы раздела с другой средой, частично отражается в первую среду и частично проходит во вторую.

При интерференции (сложении) прямой и отраженной волн возникают участки, где колебательное движение отсутствует (узлы), и участки, где колебания могут проходить с наибольшей амплитудой (пучность), то есть образуются стоячие волны.

В данной работе будет наблюдаться усиление звука, создаваемого динамиком, под влиянием колебаний столба воздуха в трубе.

Описание установки и метод измерений

В работе в качестве замкнутого объёма, в котором заключён газ, используется стеклянная цилиндрическая труба, расположенная вертикально (рисунок 2). К нижней части трубы подсоединён гибкий шланг, другой конец которого соединён с сосудом с водой. Сосуд и труба представляют собой сообщающиеся сосуды. Поднимая сосуд, можно поднимать уровень воды в трубе, меняя тем самым вертикальный объём воздуха, заключённого в трубе. К верхнему концу трубы прикреплен динамик, соединённый со звуковым генератором. С помощью этого динамика внутрь трубы вводят звук. Частоту звука можно контролировать с помощью шкалы на генераторе звука (рисунок 2).

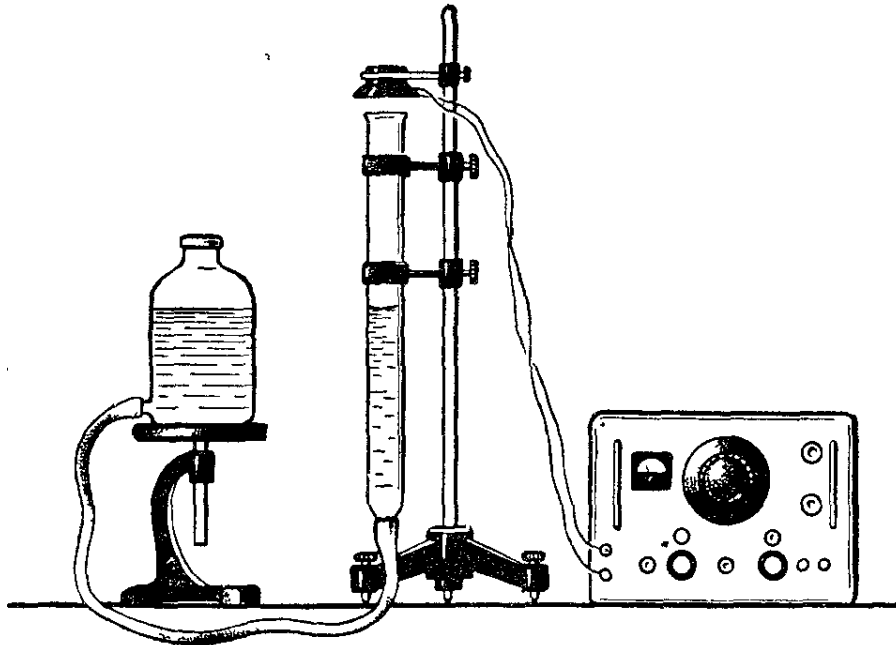


Рисунок 2 – Установка для определения скорости звука в воздухе

Звуковая волна, идущая от мембраны динамика, и волна, отраженная от поверхности воды, интерферируют в столбе воздуха над водой. У поверхности воды при отражении всегда образуется узел, у открытого конца трубы – пучность. В зависимости от высоты воздушного столба, а также от частоты колебаний звукового генератора между уровнем воды и верхним концом трубы расположится то или иное число узлов и пучностей стоячих волн. Длина самого короткого столба воздуха, которая резонирует на данной частоте, имеет узел у поверхности воды и пучность у открытого конца трубы. Следовательно, длина этого столба равна четверти длины звуковой волны в воздухе.

Если труба достаточно длинная, то при дальнейшем понижении уровня воды в трубке резонанс может повториться, когда высота столба воздуха будет равна $\frac{3}{4}\lambda$, $\frac{5}{4}\lambda$ или любому нечетному числу n четвертей длины звуковой волны в воздухе $n\frac{\lambda}{4}$.

Положим, что l_1 – длина первого самого короткого столба воздуха, дающего резонанс, l_2 – длина столба, дающего второй резонанс, ν – частота колебаний, задаваемая звуковым генератором, v – скорость звука, при температуре опыта.

Тогда для определения скорости звука можно получить следующую формулу:

$$v = \nu \cdot \frac{2(l_2 - l_1) + 4l_1}{2} = \nu \cdot (l_1 + l_2). \quad (2)$$

Задание: определить скорость звука в воздухе.

Ход работы:

1) Для получения звукового сигнала надо (с разрешения преподавателя или лаборанта) включить генератор в сеть, затем поставить тумблер «сеть» на панель генератора в положение «Вкл», спустя 2 – 3 мин установить определенную частоту колебаний, указанную преподавателем. Задание и изменение частот производится ручкой, снабженной круглым лимбом, на котором нанесены деления от 20 до 200.

2) Если множитель частот (рукоятка «частота») стоит в положении *1, то частота генерируемых колебаний соответствует значению, нанесенному на лимбе. При постановке этой ручки в положение *10 или *100 значения частоты, указанной на лимбе, увеличивается соответственно в 10 или 100 раз. Регулировка громкости звука производится поворотом ручки «рег. вых. напр.». Остальные ручки управления генератора трогать запрещается.

3) Поднять уровень воды почти до верхнего края трубки и начать медленно понижать его, отмечая по шкале положение уровня воды в стеклянной трубке, когда звук достигнет максимума.

4) Отметить первые две точки резкого усиления звука.

5) Провести такие же измерения для четырех других частот и выключить генератор.

6) По формуле (2) вычислить скорость распространения звука для каждого опыта.

7) Найти среднюю скорость звука в воздухе. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 1.

8) Сравнить найденное значение с теоретически найденным по формуле:

$$c = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}},$$

где $\gamma = 1.44$ – показатель адиабаты для воздуха, $R = 8.31$ – универсальная газовая постоянная, T – абсолютная температура газа, $\mu = 29 \cdot 10^{-3}$ кг/моль.

9) Определить погрешность нахождения скорости звука в воздухе.

Таблица 1 – Определение скорости звука в воздухе

ν , Гц	l_1 , м	l_2 , м	ν , м/с	ν_{cp} , м/с

Контрольные вопросы

- 1) Какие волны называются звуковыми и как их получить? Дать характеристику звуковых волн.
- 2) Пучности и узлы стоячей волны.
- 3) Как возникают стоячие волны?
- 4) От чего зависит громкость звука?
- 5) Почему во время грозы мы сначала видим молнию, а лишь потом слышим звук?
- 6) Какой диапазон частот имеет звуковая волна?
- 7) В чем состоит явление резонанса и как оно используется в данной работе?

Список литературы

1. Лабораторные работы по физике с вопросами и заданиями : учебное пособие / О. М. Тарасов. – Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2011.
2. Физический практикум для классов с углубленным изучением физики для 10-11 классов /под ред. Ю.И.Дика, О.Ф.Кабардина. – Москва : Просвещение, 2002.
3. Физика : Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направлений 06.03.01 «Биология»; 05.03.02 «География»; 05.03.06 «Экология и природопользование» / сост. Л. Н. Никифорова. – Курган, 2018.

Дензанова Татьяна Викторовна
Никифорова Лидия Николаевна
Пешкова Ирина Александровна

Определение скорости звука в воздухе методом резонанса

Методические указания по выполнению
лабораторной работы

Редактор О. Г. Алексеева

Подписано в печать	Формат 60x84 1/16	Бумага 80 г/м ²
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,75	Уч.-изд. л. 0,75
Заказ	Тираж 25	Не для продажи

БИЦ Курганского государственного университета.

640002, г. Курган, ул. Советская, 63/4.

Курганский государственный университет.