

## Лабораторная работа № 1.14<sup>1)</sup>

### Определение скорости звука в воздухе

#### Введение

Траектория движения материальной точки, участвующая в двух взаимно перпендикулярных колебаний с равными частотами

$$x = x_m \cos(\omega t) \quad \text{и} \quad y = y_m \cos(\omega t + \varphi) \quad (1)$$

представляет собой эллипс, уравнение которого имеет вид:

$$\frac{x^2}{x_m^2} + \frac{y^2}{y_m^2} - \frac{2xy}{x_m y_m} \cos \varphi = \sin^2 \varphi. \quad (2)$$

Форма эллипса на плоскости  $(x, y)$  зависит от разности фаз  $\varphi$ . В частном случае, когда  $\varphi = 0$ , эллипс вырождается в прямую, проходящую в первом и третьем квадрантах. При  $\varphi = \pi$  получается прямая, проходящая через второй и четвертый квадранты. При непрерывном изменении разности фаз, форма эллипса также меняется непрерывно, повторяясь при изменении  $\varphi$  на  $2\pi$  радиан.

Это свойство траектории результирующего колебания положено в основу используемого в работе метода определения скорости распространения звука в воздухе.

В бегущей волне колебания двух точек, находящихся на расстоянии  $l$  друг от друга, сдвинуты по фазе на угол

$$\varphi = 2\pi \frac{l}{\lambda} = \frac{2\pi l \nu}{u}, \quad (3)$$

где  $\nu$  и  $\lambda$  – частота и длина волны;  $u$  – скорость распространения волны в упругой среде.

Выражение (3) может быть использовано для экспериментального определения скорости распространения звука в воздухе  $u$  по измеренным значениям величин  $\varphi$ ,  $\nu$  и  $\lambda$ .

#### Экспериментальные задачи, поставленные в работе:

- измерение скорости распространения звука в воздухе методом сложения взаимно перпендикулярных колебаний.

#### Описание экспериментальной установки

Схема установки изображена на рис. 14.1. Динамик  $\Gamma$  излучающий звуковые волны, питается от звукового генератора  $\text{ЗГ}$ . Звуковая волна достигает микрофона  $\text{М}$  и порождает в его цепи переменное напряжение, которое поступает на вертикальные отклоняющие пластины

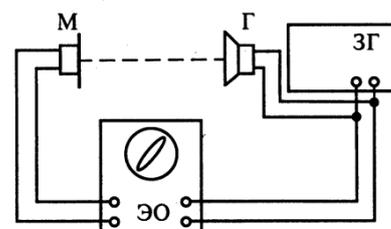


Рис. 14.1.

<sup>1)</sup> Подготовлено преподавателями КОЭФ Александровым В.Н., Васильевой И. А. и Коротаевой Е.А.

осциллографа ЭО. Напряжение на горизонтальные пластины подается непосредственно с выходных клемм звукового генератора (см. описание *лабораторной работы № 1.4*).

Между переменным напряжением на выходе звукового генератора и напряжением, возникающим в цепи микрофона, существует разность фаз  $\varphi$ , зависящая от взаимного расположения микрофона и динамика. Микрофон и динамик могут свободно передвигаться вдоль измерительной скамьи. При перемещении микрофона по измерительной скамье на расстояние  $l = \lambda n$ , составляющее целое число волн, разность фаз  $\varphi$  изменяется на  $2\pi n$ .

Разность фаз  $\varphi$  определяется по форме эллипса на экране осциллографа. Как уже было сказано, при разности фаз  $\varphi = 2\pi n$  ( $n = 0, 1, 2, \dots$ ) эллипс вырождается в прямую, проходящую через первую и третью четверти координатной плоскости, а при  $\varphi = \pi(2n+1)$  – в прямую, проходящую через второй и четвертый квадранты.

Первоначально динамик и микрофон располагаются у края измерительной скамьи и подают напряжение на звуковой генератор и осциллограф.

Медленно перемещая микрофон к противоположному концу измерительной скамьи, отмечают положение микрофона, при котором на экране осциллографа видна прямая линия. Продолжая передвигать микрофон, считают число  $n$  повторных появлений такой же прямой на экране осциллографа.

Каждое последующее повторение первоначальной картины соответствует изменению разности фаз на  $2\pi$  радиан. Измеряя перемещение микрофона  $l$  при  $n$  повторениях картины на экране осциллографа, и пользуясь соотношением (1), находят скорость звука  $u$  (значение частоты  $\nu$  отсчитывают по шкале генератора).

Для сравнения полученного результата с табличными данными вычисляют скорость  $u$  в условиях опыта, пользуясь соотношением:

$$u = u_0 \sqrt{\theta/273}, \quad (4)$$

где  $\theta$  – температура воздуха в комнате (в кельвинах),  $u_0 = 332$  м/с – скорость звука при  $0^\circ\text{C}$ .

### **Подготовка протокола к работе**

*(Выполняется во внеаудиторное время при подготовке к занятию)*

Запишите в лабораторной тетради номер и название работы.

Запишите в тетради заголовок: **«Задание. Измерение скорости распространения звука в воздухе методом сложения взаимно перпендикулярных колебаний»**.

Ознакомьтесь с лабораторной установкой и описанной выше методикой выполнения измерений.

Запишите в тетради формулы, используемые в работе, выведите формулу для вычисления относительной ошибки косвенных измерений скорости звука  $u$  в воздухе  $\varepsilon_u$  и подготовьте табл. 1 для записи результатов измерений и вычислений.

Табл. 1

№ измер.	$\nu$ , с <sup>-1</sup>	$l$ , м	$n$	$\lambda$ , м	$\theta$ , К	$u$ , м/с
1						
2						
3						
$\varepsilon_u = \underline{\hspace{2cm}} \%$						

### Измерение и обработка результатов

#### *Задание*

Соберите электрическую схему установки и предъявите ее для проверки инженеру.

Проведите описанные выше измерения и вычислите скорость распространения звуковых колебаний в воздухе для трех частот (между 1000 и 3000 Гц). Данные измерений и вычислений  $n$ ,  $l$ ,  $\lambda$ ,  $\nu$ ,  $u$  и  $\varepsilon_u$  внесите в табл. 1.

Разберите установку и сдайте ее инженеру.

#### Рекомендуемая литература

1. Гершензон Е.М., Малов Н.Н., Мансуров А.Н. Курс общей физики. Механика. (2001), гл. 1, § 1.8 – 1.10, гл. VIII, § 1.1 – 8.8.
2. Иродов И.Е., Механика. Основные законы (11-е изд., 2013), гл. VI, § 6.1.
3. Сивухин Д.В. Общий курс физики в 5-ти томах, т. 1, Механика (4-е изд., 2005), гл. VI, § 39.
4. Введение в физический практикум.

#### *Примерные контрольные вопросы*

1. Каков механизм распространения звуковых волн в воздухе?
2. Выведите уравнение кривой, наблюдаемой на экране осциллографа. От какого параметра зависит форма этой кривой? Почему он меняется при перемещении микрофона?
3. Как изменится картинка на экране осциллографа, если на динамик подать сигнал от второго ЗГ с частотой в два раза больше (в три раза больше), чем частота сигнала от первого ЗГ?
4. Нарисуйте графики зависимости смещения точки, ее скорости и деформации в бегущей волне от координаты для двух моментов времени, отличающихся на  $T/4$ . Покажите на графике точки, соответствующие максимумам кинетической и потенциальной энергии.
5. От чего зависит точность определения значения скорости звука в предлагаемом опыте? Как повысить точность метода?
6. Опишите принцип действия микрофона и динамика. Почему предлагается проводить эксперимент в узком диапазоне частот ЗГ?