

Лабораторная работа № 4.9

Определение скорости звука в воздухе

Принадлежности: 1) волновод с динамиком и микрофоном по краям; 2) генератор синусоидальных электрических колебаний; 3) электронный осциллограф.

Цель работы: определить скорость звука в воздухе фазовым методом.

Теоретические сведения и описание установки.

Между скоростью звука v , его частотой ν и длиной звуковой волны λ существует соотношение

$$v = \lambda \nu. \quad (1)$$

Частоту звука в лабораторных условиях определяют по частоте колебаний источника звука. Тогда задача вычисления скорости звука сводится к экспериментальному определению длины звуковой волны λ . Это достигается методом сдвига фаз.

Схема опыта изображена на рис.1.

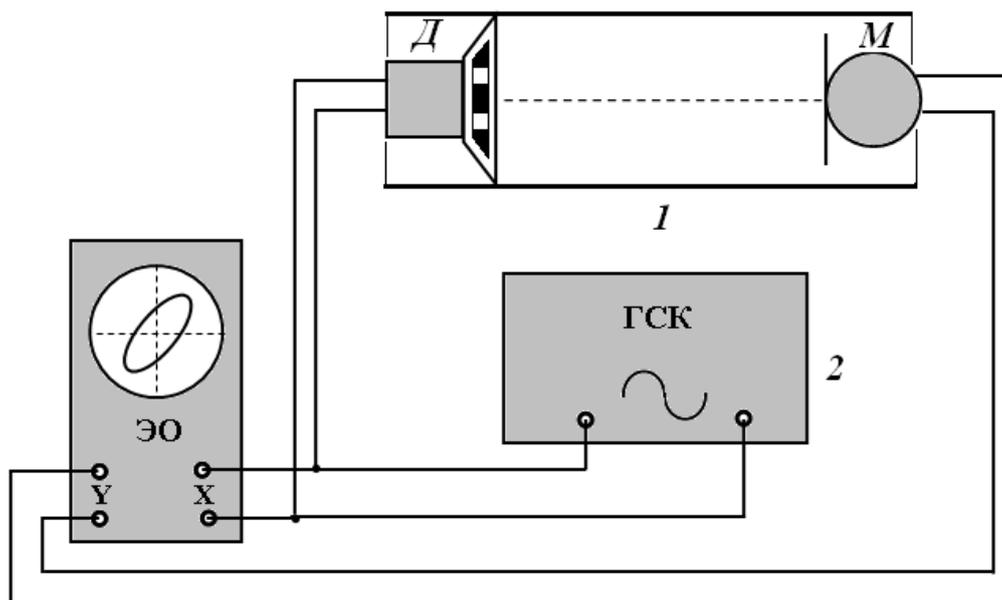


Рис.1

На штативе укреплен акустический волновод (1) – труба, вдоль оси которой в воздухе могут распространяться направленные звуковые волны.

Источником звуковых волн является электродинамический громкоговоритель – динамик (Д). Динамик питается током от генератора синусоидальных колебаний (2). Под действием электрического тока, сила которого изменяется с некоторой частотой ν , динамик излучает звуковые волны той же частоты.

Динамик неподвижно закреплен на левом конце трубы. На другом конце воздушного канала находится **приемник** звука – микрофон (М), который может перемещаться вдоль трубы. Для измерения расстояния между динамиком и микрофоном предусмотрена миллиметровая шкала.

В акустическом волноводе устанавливается режим бегущей волны. Динамик возбуждает колебания частиц воздуха, порождая в воздухе сгущения и разрежения частиц – «гребни» и «впадины» волны, которые бегут в направлении распространения волны со скоростью v . Звуковые волны достигают микрофона M и порождают в его цепи переменное напряжение той частоты ν , которую излучает динамик.

За время, равное периоду колебаний, «гребень» волны проходит расстояние, которое называется длиной волны λ

$$\lambda = vT,$$

где v – скорость волны, T – период колебаний.

Длину волны можно определить также как расстояние между ближайшими точками среды, колеблющихся с разностью фаз, равной 2π .

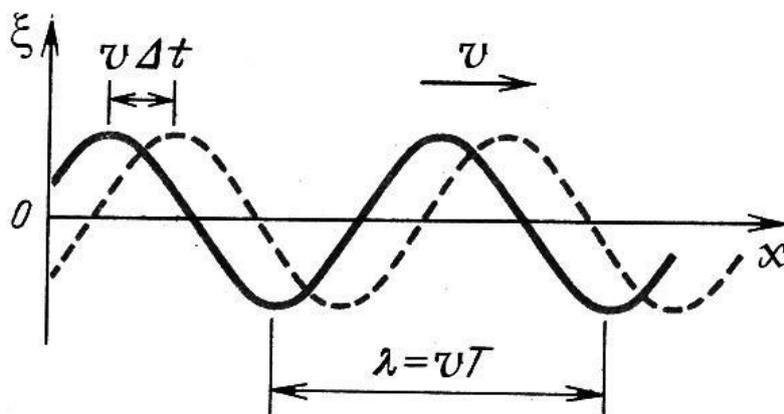


Рис.2.

На рис.2 сплошная кривая изображает смещение ξ из положения равновесия различных точек в некоторый момент времени. В последующий момент времени распределение смещений изображается штриховой линией. Картину распространения волны можно представить себе, если синусоиду привести в движение со скоростью v вдоль оси X .

Если между динамиком и микрофоном на длине l укладывается целое число $n = 1, 2, 3, \dots$ длин волн λ

$$l = n\lambda,$$

то колебания в динамике и микрофоне будут происходить в одинаковой фазе, т.е. разность фаз колебаний будет равна $2\pi, 4\pi$ и т.д.

Задача эксперимента состоит в том, чтобы опытным путем определить положение точек среды, которые находятся на расстоянии $n\lambda$ от динамика. Эту задачу можно решить методом сдвига фаз.

Подадим электрические колебания от динамика и микрофона на электронный осциллограф (ЭО) следующим образом:

- от динамика на вход горизонтально отклоняющих пластин («Вход X »);
- от микрофона на вход вертикально отклоняющих пластин («Вход Y »).

Тогда луч электронно-лучевой трубки осциллографа будет участвовать в двух взаимно перпендикулярных колебаниях одинаковой частоты.

Если материальная точка участвует в двух взаимно перпендикулярных колебаниях с одинаковыми частотами

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_1) \text{ и } y = B \cos(\omega t + \varphi_2), \quad (2)$$

то траектория результирующего движения точки представляет собой эллипс, уравнение которого имеет вид:

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - 2 \frac{xy}{AB} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (3)$$

Форма эллипса на плоскости (x, y) зависит от разности фаз $\delta = (\varphi_2 - \varphi_1)$.

В частном случае, когда складываются синфазные колебания, т.е. разность их фаз равна нулю или четному числу π : $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$, уравнение (3) принимает вид:

$$\left(\frac{x}{A} - \frac{y}{B} \right)^2 = 0,$$

откуда получается уравнение прямой

$$y = \frac{B}{A} x. \quad (4)$$

Прямая проходит через начало координат и лежит в первом и третьем квадрантах (рис. 3.). Точка – след электронного луча на экране осциллографа – движется вдоль этой прямой.

Это происходит, когда на пути между динамиком и микрофоном укладывается целое число длин волн.

Если изменить расстояние между динамиком и микрофоном на $\frac{\lambda}{2}$, то разность фаз двух взаимно-перпендикулярных колебаний, в которых участвует электронный луч, составит π , и уравнение траектории результирующего колебания примет вид

$$y = -\frac{B}{A} x, \quad (5)$$

а на экране осциллографа наблюдается прямая линия, проходящая через начало координат и второй и четвертый квадранты (рис. 3.).

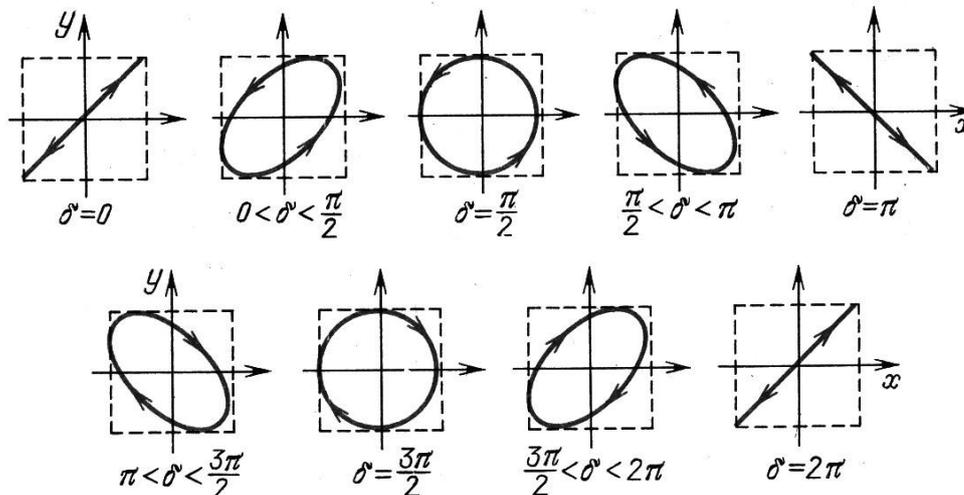


Рис.3.

При плавном перемещении микрофона происходит непрерывное изменение разности фаз, и форма эллипса также меняется непрерывно, вырождаясь по очереди то в одну, то в другую прямую (рис.3).

Картина на экране повторяется при изменении разности фаз на 2π радиан, то есть положений микрофона, удовлетворяющих условию $l = n\lambda$. Отсюда

$\lambda = \frac{l}{n}$ и по формуле (1) скорость звука в воздухе в условиях эксперимента

$$v = \frac{l}{n} \nu \quad (6)$$

Измерения.

1. Нажать кнопку «Металл–воздух». На дисплее должен отобразиться режим работы «AIR».

2. Ручками «Частота грубо» и «Частота точно» установить необходимую частоту колебаний источника звука. Значение частоты отображается на дисплее. (Значения частот задаются преподавателем).

3. Регулируя ручкой «Уровень» и ручками усиления канала осциллографа, убедиться, в том, что амплитуда сигналов на осциллографе, при передвижении микрофона вдоль волновода, достаточна для проведения измерений.

4. Получить на экране осциллографа устойчивое изображение эллипса.

5. Передвигая микрофон M , получить на экране прямую, которая проходит через первый и третий квадранты ($\varphi = 0$). Записать положение l_0 микрофона по шкале.

6. Поскольку каждое последующее повторение первоначальной картины будет соответствовать изменению разности фаз на 2π радиан, то, медленно перемещая микрофон относительно динамика (начиная с минимального расстояния), измерить положение l_n микрофона, при котором на экране осциллографа видна та же прямая линия. Сосчитать число n повторных появлений такой прямой на экране осциллографа. Очевидно

$$l = l_n - l_0.$$

7. Опыт повторить для трех частот в диапазоне между 1 000 и 3 000 Гц (частота задается преподавателем).

8. Произвести вычисления скорости звука в воздухе по формуле (6).

9. Сравнить полученные результаты с теоретическими $v = v_0 \sqrt{1 + \alpha t}$, где t – температура воздуха в градусах Цельсия, v_0 – скорость звука при нуле градусов Цельсия ($v_0 = 331$ м/с), $\alpha = 0,004$.

Контрольные вопросы.

- Каков механизм распространения звуковых волн в воздухе? Звуковые волны в воздухе продольные или поперечные? Почему?
- Что называется длиной волны? Какова связь между длиной волны, скоростью и периодом?
- Повлияет ли на окончательный результат учет следующих двух факторов:
 - волны, излучаемые динамиком, не являются плоскими;
 - при распространении этих волн в воздухе происходит поглощение энергии.

№ п/п	ν , Гц	l_0 , м	l_n , м	l , м	n	v , м/с	$\langle v \rangle$, м/с	Δv , м/с	E , %
1.									
2.									
3.									