

## Лабораторна робота № 4. 9

### Визначення швидкості звуку в повітрі

**Прилади:** 1) хвилевід з динаміком і мікрофоном по краях; 2) генератор синусоїдальних електричних коливань; 3) електронний осцилограф.

**Мета роботи:** визначити швидкість звуку в повітрі фазовим методом.

#### Теоретичні відомості та опис установки

Між швидкістю звуку  $v$ , його частотою  $\nu$  і довжиною звукової хвилі  $\lambda$  існує співвідношення

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

Частоту звуку в лабораторних умовах визначають за частотою коливань джерела звуку. Тоді задача обчислення швидкості звуку зводиться до визначення довжини звукової хвилі  $\lambda$ . Це досягається шляхом зсуву фаз.

Схема досліду зображена на рис.1.

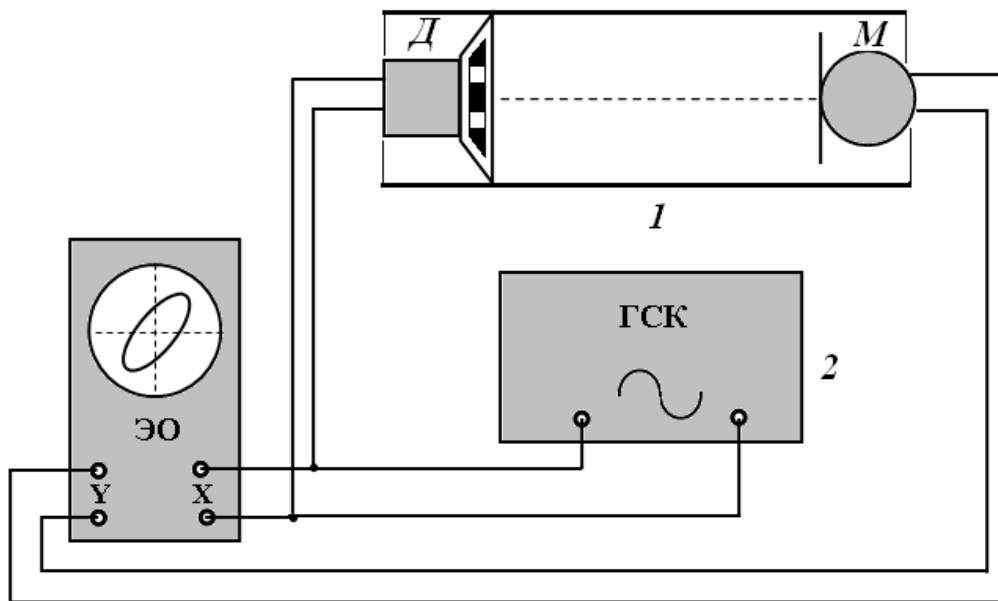


Рис.1

На штативі укріплений акустичний хвилевід (1) - труба, уздовж осі якої в повітрі можуть поширюватися спрямовані звукові хвилі.

**Джерелом** звукових хвиль є електродинамічний гучномовець - динамік (Д). Динамік живиться струмом від генератора синусоїдальних коливань (2). Під дією електричного струму, сила якого змінюється з деякою частотою  $\nu$ , динамік випромінює звукові хвилі тієї ж частоти.

Динамік нерухомо закріплений на лівому кінці труби. З протилежного боку повітряного каналу знаходиться **приймач** звуку - мікрофон (М), який може пере-

мішатися уздовж труби. Для вимірювання відстані між динаміком і мікрофоном передбачена міліметрова шкала.

В акустичному хвилеводі встановлюється режим біжучої хвилі. Динамік збуджує коливання частинок повітря, породжуючи в повітрі згущення і розрідження частинок - «гребені» і «западини» хвилі, які біжать в напрямку поширення хвилі зі швидкістю  $v$ . Звукові хвилі досягають мікрофона  $M$  і породжують в його колі змінну напругу тієї частоти  $\nu$ , яку випромінює динамік.

За час, що дорівнює періоду коливань, «гребені» хвилі проходить відстань, яка називається довжиною хвилі  $\lambda$

$$\lambda = vT,$$

де  $v$  - швидкість хвилі,  $T$  - період коливань.

Довжину хвилі можна визначити також як відстань між найближчими точками середовища, що коливаються з різницею фаз, що дорівнює  $2\pi$ .

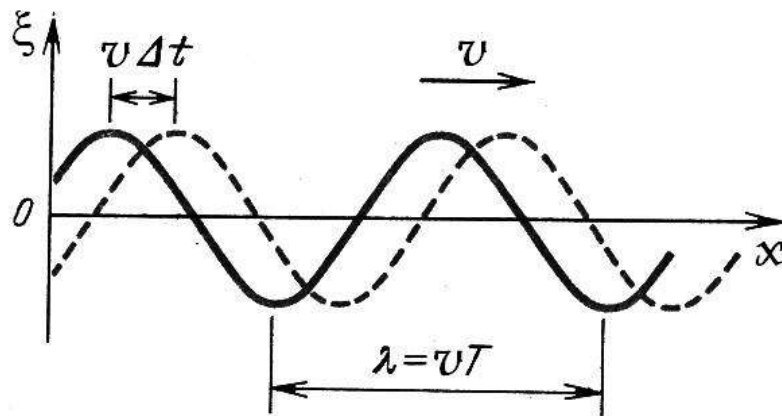


Рис.2.

На рис.2 суцільна крива зображає зміщення  $\xi$  з положення рівноваги різних точок в певний момент часу. В інший час після цього часу розподіл зсувів зображується штриховою лінією. Картину поширення хвилі можна уявити собі, якщо синусоїду привести в рух зі швидкістю  $v$  уздовж осі  $X$ .

Якщо між динаміком і мікрофоном на довжині  $l$  вкладається ціле число  $n = 1, 2, 3, \dots$  довжин хвиль  $\lambda$

$$l = n\lambda,$$

то коливання в динаміці і мікрофоні відбуватимуться в однаковій фазі, тобто різницю фаз коливань буде дорівнює  $2\pi, 4\pi$  і т.д.

Завдання експерименту полягає в тому, щоб дослідним шляхом визначити положення точок середовища, які знаходяться на відстані  $n\lambda$  від динаміка. Це завдання можна вирішити методом зсуву фаз.

Подамо електричні коливання від динаміка і мікрофона на електронний осцилограф (EO) наступним чином:

- від динаміка на вхід горизонтально відхиляючих пластин («Вхід X»);
- від мікрофона на вхід вертикально відхиляючих пластин («Вхід Y»).

Тоді промінь електронно-променевої трубки осцилографа братиме участь в двох взаємно перпендикулярних коливаннях однакової частоти.

Якщо матеріальна точка бере участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях з однаковими частотами

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

то траєкторія результуючого руху точки є еліпсом, рівняння якого має вигляд:

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

Форма еліпса на площині  $(x, y)$  залежить від різниці фаз  $\delta = (\varphi_2 - \varphi_1)$ .

В окремому випадку, коли складаються синфазні коливання, тобто різниця їх фаз дорівнює нулю або парному числу  $\pi$ :  $\delta = 0, 2\pi, 4\pi, \dots$ , рівняння (3) набуває вигляду:

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

звідки виходить рівняння прямої

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

Пряма проходить через початок координат і лежить в першому і третьому квадрантах (рис. 3.). Точка - слід електронного променя на екрані осцилографа - рухається уздовж цієї прямої.

Це відбувається, коли на шляху між динаміком і мікрофоном укладається ціле число довжин хвиль.

Якщо змінити відстань між динаміком і мікрофоном на  $\frac{\lambda}{2}$ , то різниця фаз двох взаємно-перпендикулярних коливань, в яких бере участь електронний промінь, складе  $\pi$ , і рівняння траєкторії результуючого коливання набуде вигляду

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

а на екрані осцилографа спостерігається пряма лінія, що проходить через початок координат і другий і четвертий квадранти (рис. 3.).

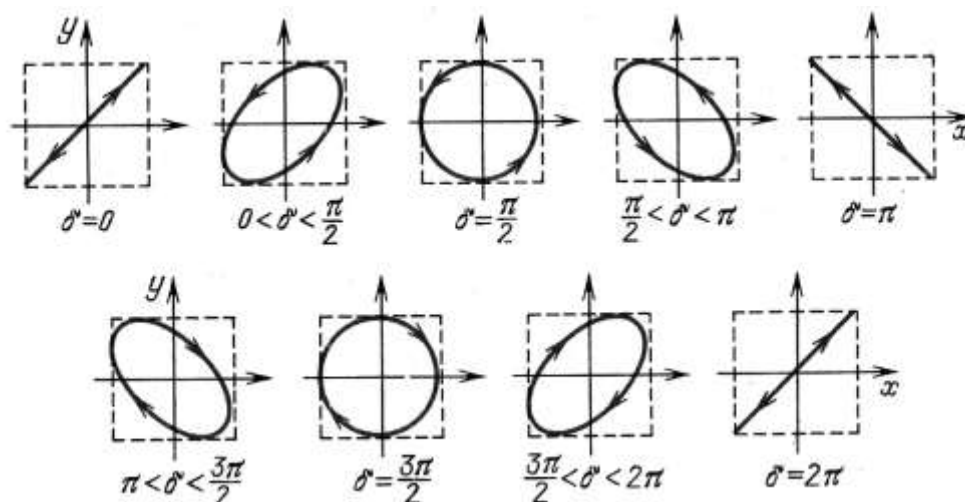


Рис.3.

При плавному переміщенні мікрофона відбувається безперервна зміна різниці фаз, і форма еліпса також змінюється безперервно, вироджуючись по черзі то в одну, то в іншу пряму (рис.3).

Картина на екрані повторюється при зміні різниці фаз на  $2\pi$  радіан, тобто положень мікрофона, які відповідають умові.  $l = n\lambda$ . Звідси  $\lambda = \frac{l}{n}$  і по формулі

(1) швидкість звуку в повітрі в умовах експерименту

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

### **Вимірювання**

1. Натиснути кнопку «Метал-повітря». На дисплеї повинен відобразитися режим роботи «AIR».
2. Ручками «Частота грубо» і «Частота точно» встановити необхідну частоту коливань джерела звуку. Значення частоти відображається на дисплеї. (Значення частот задаються викладачем).
3. Регулюючи ручкою «Рівень» і ручками посилення каналу осцилографа, переко-натися, в тому, що амплітуда сигналів на осцилографі, при пересуванні мікрофона вздовж хвилеводу, є достатньою для проведення вимірювань.
4. Отримати на екрані осцилографа стійке зображення еліпса.
5. Пересуваючи мікрофон  $M$ , отримати на екрані пряму, яка проходить через пер-ший і третій квадранти ( $\varphi = 0$ ). Записати положення  $l_0$  мікрофона за шкалою.
6. Оскільки кожне наступне повторення початкової картини буде відповідати змі-ни різниці фаз на  $2\pi$  радіан, то, повільно переміщаючи мікрофон щодо динаміка (починаючи з мінімальної відстані), виміряти положення  $l_n$  мікрофона, при якому на екрані осцилографа видно ту ж пряму лінію. Порахувати кількість  $n$  повторних появ такої прямої на екрані осцилографа. Очевидно

$$l = l_n - l_0.$$

7. Досвід повторити для трьох частот в діапазоні між 1 000 і 3 000 Гц (частота за-дається викладачем).
8. Провести обчислення швидкості звуку в повітрі за формулою (6).
9. Порівняти отримані результати з теоретичними  $v = v_0 \sqrt{1 + \alpha t}$ , де  $t$  - температу-ра повітря в градусах Цельсія,  $v_0$  - швидкість звуку за нуля градусів Цельсія ( $v_0 = 331$  м / с),  $\alpha = 0,004$ .

### **Контрольні питання.**

1. Який механізм поширення звукових хвиль в повітрі? Звукові хвилі в повітрі по-здовжні або поперечні? Чому?
2. Що називається довжиною хвилі? Який зв'язок між довжиною хвилі, швидкіс-тю і періодом?
3. Чи вплине на остаточний результат облік наступних двох факторів:  
а) хвилі, що випромінюються динаміком, не є плоскими;

б) при поширенні цих хвиль в повітрі відбувається поглинання енергії.

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

Склав І.П.Гаркуша