

Лабораторна робота №8

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ ЗВУКОВОЇ ХВИЛІ І ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В ПОВІТРІ МЕТОДОМ РЕЗОНАНСУ

Мета роботи: визначити довжину звукової хвилі і швидкості звуку у повітрі при кімнатній температурі.

Обладнання: звуковий генератор, частотомір, трубка Квінке

Теоретичні відомості

Звуковими хвилями або **звук**ом називають пружні хвилі, які характеризуються частотою від **20 Гц** до **20000 Гц** і розповсюджуються в газах, рідинах і твердих тілах.

У твердих тілах звукові хвилі можуть бути **поздовжніми і поперечними**.

У поперечній хвилі частинки середовища здійснюють коливання біля положення своєї рівноваги у напрямку, перпендикулярному до поширення хвилі.

У поздовжній хвилі напрямом коливання частинок середовища збігається з напрямком поширення хвилі.

У рідинах та газах поширюються лише поздовжні хвилі.

Вимірювання довжини звукової хвилі λ і швидкості поширення звуку в повітрі у даній роботі ґрунтується на використанні особливостей стоячих хвиль.

Стояча хвиля утворюється при накладанні двох хвиль однакової амплітуди і частоти, що поширюються у протилежних напрямках, наприклад, падаючої і відбитої від границі розділу середовищ.

Падаюча хвиля, яка поширюється у додатному напрямку осі OY описується рівнянням:

$$x_1 = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{y}{\lambda} \right), \quad (1)$$

де x_1 – зміщення точки, яка знаходиться на відстані y від джерела, у момент часу t ; a – амплітуда коливань; T – період коливань, λ – довжина хвилі.

Відбита хвиля, яка поширюється у від'ємному напрямку осі OY можна описується рівнянням:

$$x_2 = a \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{y}{\lambda} \right). \quad (2)$$

Інтерферуючи, ці хвилі утворюють стоячу хвилю, рівняння якої має вигляд:

$$x = x_1 + x_2 = 2a \cos\left(2\pi \frac{y}{\lambda}\right) \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right), \quad (3)$$

у цьому виразі величину

$$2a \cos 2\pi \frac{y}{\lambda} = A, \quad (4)$$

можна розглядати як амплітуду стоячої хвилі.

Оскільки

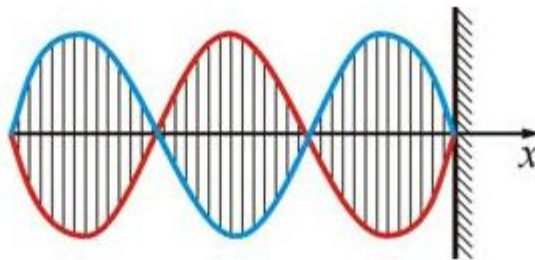
$$0 \leq \left| \cos 2\pi \frac{y}{\lambda} \right| \leq 1, \quad (5)$$

то амплітуда стоячої хвилі змінюється в межах від 0 до $2a$.

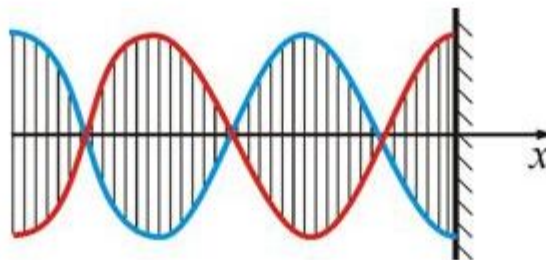
Точки, для яких амплітуда коливань максимальна, тобто $A = 2a$, називаються **пучностями стоячої хвилі**, а точки з нульовою амплітудою – її **вузлами**.

Щоб одержати стоячі звукові хвилі, треба примусити хвилю, відбитися від границі розділу середовищ. На границі відбиття при цьому утворюється вузол або пучність. Це залежить від співвідношення густин середовищ, на границі розділу яких відбувається відбиття.

Вузол на границі розділу виникає, якщо середовище, від якого хвиля відбивається, має **більшу густину**, ніж те, в якому хвиля поширюється.



Пучність на границі розділу виникає, якщо середовище, від якого хвиля відбивається, має **меншу густину**, ніж те, в якому хвиля поширюється.



| Координати пучностей | Координати вузлів |
|--|---|
| $y = n \frac{\lambda}{2}, \quad (n=0,1,2,\dots)$ | $y = (2n + 1) \frac{\lambda}{4}, \quad (n=0,1,2,\dots)$ |

Відстань між сусідніми вузлами (пучностями) складає $\lambda / 2$.

Відстань же між сусідніми пучністю і вузлом складає $\lambda / 4$.

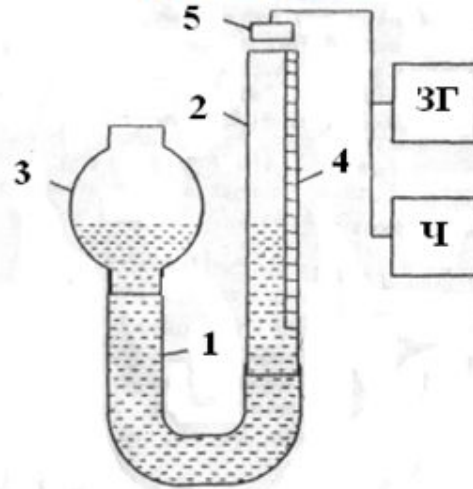
Довжина хвилі дорівнює відстані, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду коливань, отже:

$$\lambda = v_{\text{ш}} \cdot T = \frac{v_{\text{ш}}}{\nu},$$

де $v_{\text{ш}}$ – швидкість поширення хвилі у даному середовищі, ν – частота коливань.

МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Трубка Квінке



1 – гумова трубка, 2 , 3 – посудини, заповнені водою, 4 – шкала, 5 – джерело звуку.

- Посудини 2 та 3 з'єднані гумовою трубкою 1. Піднімаючи або опускаючи посудину 3 змінюємо висоту повітряного стовпа в 2.
- Змінюючи рівень води в трубці 2 можна добитися такого його положення, коли між джерелом звуку та границею поділу повітря-вода виникає **стояча хвиля**.
- Утворення стоячої хвилі пов'язано з **інтерференцією** двох хвиль, які поширюються назустріч одна одній: відбитої від поверхні води та відбитої від границі розділу повітря на рівні відкритого кінця трубки.
- Якщо ці хвилі біля відкритого кінця трубки знаходяться в **однакових фазах**, то виникає **явище акустичного резонансу**, яке полягає в **різкому підсиленні амплітуди коливань**.
- При цьому частота коливань джерела звуку збігається з частотою власних коливань повітряного стовпа.

УМОВА АКУСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

- Для спостереження акустичного резонансу необхідно, щоб біля відкритого кінця трубки виникла **пучність стоячої хвилі**. При цьому амплітуда буде максимальна – **звук різко підсилиться**.
- При цьому у відстані від відкритого кінця трубки до рівня води має вміщуватися $(2n+1)\frac{\lambda}{4}$.
- При поступовому зниженні рівня води у трубці звук буде послідовно підсилюватися при:

$$h_1 = \frac{1}{4}\lambda, \quad h_2 = \frac{3}{4}\lambda, \quad h_3 = \frac{5}{4}\lambda, \quad h_4 = \frac{7}{4}\lambda .$$

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Включити звуковий генератор, частотомір, встановити максимальний рівень води в трубці, задати частоту сигналу.
2. Піднімаючи рівень води в трубці 2 відмітити по шкалі 4 ті його положення, при яких спостерігається максимальний звук.

$$\text{При цьому } h_1 = \frac{1}{4}\lambda, \quad h_2 = \frac{3}{4}\lambda, \quad h_3 = \frac{5}{4}\lambda, \quad h_4 = \frac{7}{4}\lambda,$$

3. Визначення положень h_1, h_2, h_3, h_4 провести 3 рази.
4. Вимірювання провести на трьох різних частотах.

$$\Delta h_1 = h_2 - h_1,$$

5. Розрахувати $\Delta h_2 = h_3 - h_2,$

$$\Delta h_3 = h_4 - h_3.$$

6. Розрахувати довжину звукової хвилі та швидкість звуку, заповнити таблицю.

| № | v, Гц | h ₁ , М | h ₂ , М | h ₃ , М | h ₄ , М | $\Delta h_1 = h_{c2} - h_{c1}, \text{ М}$ | $\Delta h_2 = h_{c3} - h_{c2}, \text{ М}$ | $\Delta h_3 = h_{c4} - h_{c3}, \text{ М}$ |
|----------|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---|---|---|
| | | | | | | $\lambda_1 = 2\Delta h_1, \text{ М}$ | $\lambda_2 = 2\Delta h_2, \text{ М}$ | $\lambda_3 = 2\Delta h_3, \text{ М}$ |
| | | | | | | $V_{\text{se1}} = \lambda_1 \cdot v, \text{ М/с}$ | $V_{\text{se2}} = \lambda_2 \cdot v, \text{ М/с}$ | $V_{\text{se3}} = \lambda_3 \cdot v, \text{ М/с}$ |
| 1 | 800 | 0,09 | 0,3 | 0,52 | 0,74 | 0,22 | | |
| 2 | | 0,09 | 0,31 | 0,53 | 0,75 | | | |
| 3 | | 0,09 | 0,31 | 0,53 | 0,74 | | | |
| <i>c</i> | | 0,09 | 0,31 | | | | | |
| 1 | 1000 | 0,07 | 0,245 | 0,42 | 0,59 | | | |
| 2 | | 0,07 | 0,24 | 0,42 | 0,585 | | | |
| 3 | | 0,07 | 0,24 | 0,42 | 0,59 | | | |
| <i>c</i> | | | | | | | | |
| 1 | 1200 | 0,055 | 0,195 | 0,34 | 0,48 | | | |
| 2 | | 0,05 | 0,19 | 0,335 | 0,475 | | | |
| 3 | | 0,055 | 0,195 | 0,34 | 0,48 | | | |
| <i>c</i> | | | | | | | | |

7. Розрахувати температуру, при якій проводився експеримент, використовуючи формулу:

$$v_{\text{зе}} = v_0 \sqrt{1 + 0,004t}.$$

$v_0 = 332$ м/с – швидкість звуку при 0°C .

8. Розрахувати похибки вимірювання швидкості звуку.

ПОРЯДОК ОБРОБКИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ДЛЯ ВИПАДКУ ПРЯМИХ ВИМІРЮВАНЬ

1. Визначити середнє значення величини, що вимірюється, за формулою $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$.
2. Знайти похибки окремих вимірювань: $\Delta x_i = |x_i - \bar{x}|$.
3. Визначити середню квадратичну похибку результату серії вимірювань за формулою

$$\Delta S_{\bar{x}} = \sqrt{\Delta S_{\bar{x}}^2} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta x_i)^2}{n(n-1)}}.$$

4. Якщо серед обчислених значень Δx_i будуть такі, що перевищують величину $3\Delta S_{\bar{x}}$, то відповідні їм значення x_i потрібно відкинути і без них знову визначити $\Delta S_{\bar{x}}$.

5. Задати значення довірчої ймовірності і за таблицею 1 визначити коефіцієнти Стюдента для обраного значення α та кількості вимірювань n .

6. Визначити межі довірчого інтервалу $\Delta x = t_{\alpha, n} \Delta S_{\bar{x}}$.

Якщо величина Δx виявиться порівнянною з величиною похибки приладу Δa , то Δx

обчислити за формулою: $\Delta x = \sqrt{(\Delta x)^2 + \left(\frac{t_{\alpha, n}}{3}\right)^2 (\Delta a)^2}$.

Похибка приладу – половина ціни найменшої поділки шкали приладу.

7. Остаточний результат записати у вигляді: $x = \bar{x} \pm \Delta x$.

8. Оцінити відносну похибку: $\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\%$.

Якщо непрямі вимірювання відбуваються за невідтворюваних умов, то значення невідомої величини обчислюють для кожного окремого вимірювання, а межі довірчого інтервалу позначають так само, як у випадку прямих вимірювань.

Значення коефіцієнтів Стьюдента для різних значень імовірності

| $n \setminus \alpha$ | 0,9 | 0,95 | 0,99 |
|----------------------|------|-------|-------|
| 2 | 6,31 | 12,71 | 63,66 |
| 3 | 2,92 | 4,30 | 9,92 |
| 4 | 2,35 | 3,18 | 5,84 |
| 5 | 2,13 | 2,78 | 4,60 |
| 6 | 2,02 | 2,57 | 4,03 |
| 7 | 1,94 | 2,45 | 3,71 |
| 8 | 1,90 | 2,36 | 3,50 |
| 9 | 1,86 | 2,31 | 3,36 |
| 10 | 1,83 | 2,26 | 3,25 |
| ∞ | 1,64 | 2,00 | 2,58 |