

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки

Кафедра інформатики та програмної інженерії

Звіт

з лабораторної роботи № 5 з дисципліни
«Ігрова фізика»

«Визначення швидкості звуку в повітрі методом стоячої хвилі»

Виконав(ла)

ІП-11 Панченко Сергій Віталійович

(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірів(ла)

Скирта Юрій Борисович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Київ 2022

Теоретичний конспект

Стояча хвиля виникає в результаті накладання (інтерференції) двох біжучих хвиль, що рухаються у протилежних напрямках і мають однакові частоти та амплітуди. Запишемо рівняння двох плоских хвиль, що поширюються у протилежних напрямках:

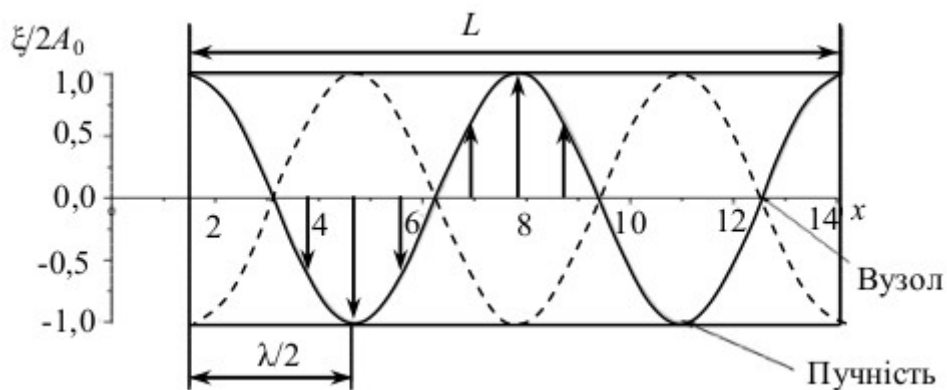
$$\xi_1 = A_0 \cos(\omega t - 2\pi x/\lambda), \xi_2 = A_0 \cos(\omega t + 2\pi x/\lambda),$$

де A_0 — амплітуда біжучих хвиль; ω — циклічна частота; λ — довжина хвилі; x — координата точок середовища.

Суперпозиція цих хвиль дає рівняння стоячої хвилі:

$$\xi = \xi_1 + \xi_2 = 2A_0 \cos(2\pi x/\lambda) \cos(\omega t)$$

На графіку зображені залежності відхилення ξ від координати x для моменту часу, коли $\cos \omega t = 1$ («миттєва фотографія»), тобто $\xi = 2A_0 \cos 2\pi x/\lambda$. Для зручності на графіку подано залежність $\xi/2A_0$ від x (пунктирна крива — та сама залежність для моменту часу, коли $\cos \omega t = -1$).



Пучності стоячої хвилі — точки, де амплітуда досягає максимального значення:

$$x_{\text{пучн}} = \pm \frac{n \lambda/2}{2}$$

Вузли стоячої хвилі — точки, де амплітуда дорівнює нулю:

$$x_{\text{вузл}} = \pm \frac{(n + \frac{1}{2}) \lambda}{2}$$

Довжина стоячої хвилі — це відстань між двома сусідніми вузлами або пучностями.

Стояча хвиля не переносить енергію: в ній енергія коливання кожного елемента об'єму середовища періодично переходить із кінетичної в потенціальну енергію пружної деформації середовища і навпаки.

У даній роботі досліджується стояча хвиля, що виникає у стовпі

повітря в циліндричній трубі довжини L . Для утворення стоячої хвилі, має виконуватись умова, що на протилежних межах повітряного стовпа утворилися вузли або пучності, де відстань:

$$L = m \lambda / 4; (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Якщо на обох протилежних межах повітряного стовпа знаходяться пучності або вузли (парна кількість $\lambda / 4$), то умову можна подати у вигляді:

$$L = m \lambda / 2; (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Коли на одному кінці повітряного стовпа пучність, а на протилежному — вузол (непарна кількість $\lambda / 4$) умова перетворюється на:

$$L = m \lambda / 2 - m \lambda / 4 = (2m - 1) \lambda / 4; (m = 1, 2, 3, \dots).$$

Результати дослідів

Температура повітря у дослідях $T = 299.5$ К.

| № з/п | v1 = 1000 Гц | | | | V2 = 1500 Гц | | | | V3 = 2000 Гц | | | |
|-------|--------------|-------|---|-------|--------------|-------|---|---------|--------------|-------|----|---------|
| | L1 | Lm | m | v1 | L1 | Lm | m | v2 | L1 | Lm | m | v3 |
| 1 | 1.018 | 1.89 | 6 | 348.8 | 1.029 | 1.956 | 9 | 347.625 | 1.042 | 1.997 | 12 | 347.273 |
| 2 | 1.031 | 1.901 | 6 | | 1.037 | 1.965 | 9 | | 1.025 | 1.981 | 12 | |
| 3 | 1.007 | 1.874 | 6 | | 1.002 | 1.928 | 9 | | 1.016 | 1.97 | 12 | |

Швидкість звуку обчислюється за формулою:

$$v = \frac{L_m - L_1}{m - 1} \cdot 2 \nu$$

Теоретичне значення швидкості звуку:

$$v_{теор} = 20.1 \cdot \sqrt{T} = 20.1 \cdot \sqrt{(299.5)} \approx 347.852 \left(\frac{M}{c} \right)$$

Похибки вимірювань

Середнє значення швидкостей звуку:

$$v_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^3 v_i}{3} \approx 347.899$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta v = |v_{теор} - v_{сер}| = 0.047 \left(\frac{M}{c} \right)$$

Відносна похибка:

$$\delta = \frac{\Delta v}{v_{теор}} \approx 0.000135 = 0.0135 \%$$

Висновок

Під час виконання лабораторної роботи виписав теоретичний матеріал, визначив швидкість звуку методом стоячої хвилі в імітаторі. Розрахував похибки вимірювань.

Підсумовуючи, метод стоячої хвилі — це фіксація пучностей стоячої породжної накладанням двох зустрічних хвиль хвилі звуку. Воно відбувається шляхом зміни довжини труби і фіксуванні максимальних або мінімальних значень амплітуди. Зміна довжини труби між фіксаціями двох максимумів або мінімумів є половиною довжини хвилі звуку, і тому, знаючи всю довжину цієї хвилі та звукову частоту, можна визначити швидкість звуку.

Контрольні запитання

1. Вивести рівняння стоячої плоскої хвилі.

Рівняння двох плоских хвиль, що поширюються у протилежних напрямках:

$$\xi_1 = A_0 \cos(\omega t - 2\pi x/\lambda), \xi_2 = A_0 \cos(\omega t + 2\pi x/\lambda) ,$$

де A_0 — амплітуда біжучих хвиль; ω — циклічна частота; λ — довжина хвилі; x — координата точок середовища. Стояча хвиля дорівнює суперпозиції цих двох хвиль:

$$\begin{aligned}\xi &= \xi_1 + \xi_2 = A_0 (\cos(\omega t - 2\pi x/\lambda) + \cos(\omega t + 2\pi x/\lambda)) = 2 A_0 (\cos(\omega t - 2\pi x/\lambda) + \cos(\omega t + 2\pi x/\lambda))/2 \\ \xi &= 2 A_0 \cos(2\pi x/\lambda) \cos(\omega t)\end{aligned}$$

2. Які головні відмінності між біжучою і стоячою хвилями?

| | Стояча | Біжуча |
|-----------|--|------------------|
| Енергія | Не переносить | Переносить |
| Амплітуда | Періодична, змінюється від 0 до $2A_0$ | Константа, A_0 |

3. За якої умови виникає стояча хвиля в стовпі повітря, обмеженому трубою?

На межах повітряного стовпа повинні утворитися або вузли, або пучності.

Відстань між пучністю і вузлом становить:

$$\lambda/4 .$$

А тому умова існування:

$$L = m \lambda/4; (m=1,2,3...).$$

4. Що називають вузлом і пучністю стоячої хвилі?

Пучності стоячої хвилі — точки, де амплітуда досягає максимального значення:

$$x_{\text{пучн}} = \pm \frac{n \lambda/2}{2}$$

Вузли стоячої хвилі — точки, де амплітуда дорівнює нулю:

$$x_{\text{вузл}} = \pm \frac{(n + \frac{1}{2}) \lambda}{2}$$

5. Чи відбувається перенесення енергії стоячею хвилею?

Ні, не переносить, бо в ній енергія коливання кожного елемента об'єму середовища періодично переходить переходить із кінетичної в потенціальну енергію пружної деформації середовища і навпаки.