

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

Виконала: Скрипець Ольга Олександрівна ІП-21

Перевірив: Скірта Юрій Борисови

Київ 2023

Теоретичний конспект

Стояча хвиля виникає внаслідок інтерференції двох біжучих хвиль, які рухаються у протилежних напрямках і мають однакові частоти та амплітуди. Зазвичай цей ефект спостерігається при відбиванні хвиль від перешкоди. Коли падаюча хвиля відбивається від перешкоди і натрапляє на біжучу хвилю, що рухається в протилежному напрямку, їхні хвилі накладаються одна на одну, утворюючи стоячу хвилю. Рівняння для двох плоских хвиль, що поширюються у протилежних напрямках, можуть бути записані наступним чином

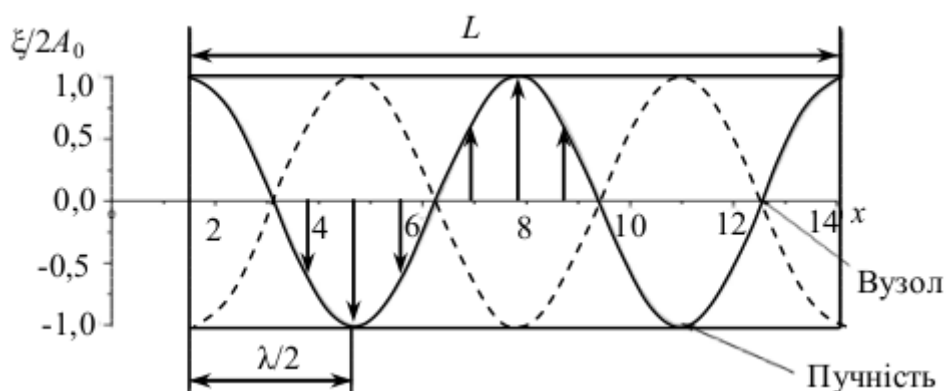
$$\xi_1 = A_0 \cos(\omega t - 2\pi x/\lambda), \xi_2 = A_0 \cos(\omega t + 2\pi x/\lambda),$$

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

Суперпозиція цих хвиль дає рівняння стоячої хвилі:

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

Зрозуміло, що кожна точка стоячої хвилі коливається зі стійкою частотою біжучих хвиль. Амплітуда стоячої хвилі, яка виражена рівнянням $\xi = 2A_0 \cos(2\pi x/\lambda) \cos(\omega t)$, є періодичною функцією координат точок середовища і залишається незмінною у часі. Оскільки $\cos(2\pi x/\lambda)$ може приймати значення від 0 до 1, амплітуда відрізняється для різних точок, коливаючись від 0 до $2A_0$. На рисунку 6 наведено графік відхилення ξ від координати x у певний момент часу, коли $\cos \omega t = 1$ («миттєва фотографія»). Ілюстрація показує залежність $\xi / 2A_0$ від x , де пунктирна крива відображає ту ж саму залежність для моменту часу, коли $\cos \omega t = -1$ для зручності порівняння.



Точки, в яких виконується умова $2/\pi x \lambda = \pm n\pi$ (де $n = 0, 1, 2, \dots$), відзначаються максимальним значенням амплітуди стоячої хвилі. Ці особливі точки в стоячій хвилі відомі як пучності, і саме в них амплітуда досягає свого максимального значення.

$$x_{\text{пучн}} = \pm n\lambda/2$$

Точки, в яких виконується умова $2/\pi x \sqrt{n\lambda} = \pm \pi$ (де $n = 0, 1, 2, \dots$), отримали назву вузлів стоячої хвилі. У вузлах амплітуда коливань стає рівною нулю. Координати цих вузлів можуть бути визначені за вищезгаданою умовою

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

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

Коли відбувається перехід через нуль, відбувається зміна знаку відхилення, що вказує на різницю в фазі коливань з обох боків від вузла на величину π . Це означає, що точки, розташовані по протилежні сторони від вузла, коливаються в протилежних фазах, або у протифазі. Точки, що знаходяться між двома сусідніми вузлами, коливаються з однаковою фазою, або синфазно.

Позначено, що коливання точок в стоячій хвилі відбуваються вздовж осі x , оскільки хвилі в повітрі є поздовжніми.

Важливо відзначити, що, відмінно від біжучої хвилі, стояча хвиля не переносить енергію. Енергія в стоячій хвилі періодично перетворюється між кінетичною і потенціальною енергією пружної деформації середовища, подібно до коливань маятника. Це відсутнє перенесення енергії обумовлене тим, що енергія в падаючій та відбитій хвилях рухається у протилежних напрямках, компенсуючи одна одну.

В контексті дослідження проводиться аналіз стоячої хвилі в стовпі повітря, обмеженому циліндричною трубою довжини L . Утворення стоячої хвилі визначається умовою, що на протилежних межах повітряного стовпа повинні утворитися або вузли, або пучності. Розмірність між пучністю і вузлом становить $\lambda / 4$, і загалом умова існування стоячої хвилі формулюється як:

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

Існування вузла чи пучності на межі відбиття залежить від хвильового опору r_v . Якщо середовище, від якого відбивається хвиля, має менший хвильовий опір (іноді називають "меншою густину"), то у точці відбиття утворюється пучність. З іншого боку, якщо хвиля відбивається від середовища з більшим хвильовим опором, то в точці відбиття утворюється вузол.

Утворення вузла пов'язане з тим, що хвиля, відбиваючись від середовища з більшим хвильовим опором, змінює фазу на протилежну. Це призводить до додавання коливань з протилежними фазами на межі середовищ, формуючи вузол. З іншого боку, якщо хвиля відбивається від середовища з меншим хвильовим опором, то зміна фази відсутня, і коливання на межі середовищ додаються з однаковими фазами, утворюючи пучність.

Очевидно, якщо на обох протилежних межах повітряного стовпа знаходяться пучності або вузли (парна кількість $\lambda / 4$), то умову (20) можна виразити так:

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

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

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

Дослідна установка і метод вимірювання

На схемі установки для вимірювання швидкості звуку методом стоячої хвилі, яка представлена на рис. 7, використовуються наступні елементи: розсувна труба РТ, звуковий генератор ГЗ, динамік Д, мікрофон М і осцилограф О.

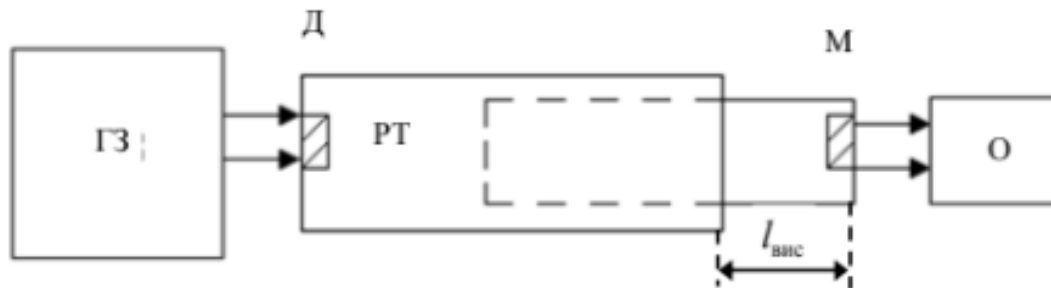


Рис. 7

Звуковий генератор (ГЗ) генерує електромагнітні коливання зі звуковою частотою, які передаються на динамік (Д). Динамік розташований на початку труби, де він перетворює електромагнітні коливання в акустичні, що подальше поширюються вздовж труби. Під час відбиття звукової хвилі від поверхні мікрофона, розташованого на кінці труби, виникає зворотна біжуча хвиля. При накладанні цих двох хвиль у трубі може утворитися стояча хвиля. Мікрофон перетворює звукові коливання в електричний сигнал, який подається на осцилограф. Максимальна амплітуда цього сигналу вказує на фіксацію певної пучності стоячої хвилі.

Умови (21) і (22) можна задовольнити, змінюючи довжину труби шляхом висування внутрішньої її частини. Коли виникає стояча хвиля і фіксується пучність хвилі на осцилографі, спостерігається максимальне значення амплітуди. Збільшуючи довжину труби при фіксованій частоті сигналу, можна спостерігати як максимуми, так і мінімуми амплітуди зі зростанням відстані між ними, що дорівнює половині довжини хвилі ($\lambda/2$). Слідкування за максимумами сигналу на осцилографі дозволяє вимірювати відповідні довжини труби L_1, L_2, \dots, L_m .

Різниця між довжинами сусідніх вимірювальних точок відповідає половині довжини хвилі, тобто виконується умова $(1 - 1)/(2) L_m - L_{m-1} = \lambda$. Враховуючи, що $\lambda = v/\nu$, де ν - частота, швидкість звуку (v) можна виразити як

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

Досліди

Температура повітря у дослідах $T=299.5$ К.

№ з/п	$\nu_1 = 1000$ Гц				$\nu_2 = 1500$ Гц				$\nu_3 = 2000$ Гц			
	L1	Lm	m	ν_1	L1	Lm	m	ν_2	L1	Lm	m	ν_3
1	1.01 8	1.89	6	348.8	1.029	1.95 6	9	347.62	1.04 2	1.997	12	347.27
2	1.03 1	1.901	6		1.037	1.96 5	9		1.02 5	1.981	12	
3	1.00 7	1.874	6		1.002	1.92 8	9		1.01 6	1.97	12	

Швидкість звуку обчислюється за формулою:

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

Теоретичне значення швидкості звуку:

$$v_{\text{теор}} = 20.1 * \sqrt{(T)} = 20.1 * \sqrt{(299.5)} \approx 347.852 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Похибки вимірювань

Середнє значення швидкостей звуку:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{\sum_{i=1} 3v_i}{3} \approx 347.899$$

Абсолютна похибка:

$$\Delta v = |v_{\text{теор}} - v_{\text{сеп}}| = 0.047 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)$$

Відносна похибка:

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

Висновок

Під час виконання лабораторної роботи я активно користувалася теоретичною інформацією та виконала вимірювання швидкості звуку, використовуючи метод стоячої хвилі в імітаторі. Зазначаючи велику важливість проведення додаткового аналізу, я також розрахувала похибки вимірювань.

Узагальнюючи, метод стоячої хвилі включає в себе фіксацію пучностей стоячої хвилі шляхом накладання двох зустрічних хвиль звуку. Цей процес досягається зміною довжини труби та реєстрацією максимальних або мінімальних значень амплітуди. Знання довжини цієї хвилі та звукової частоти дозволяє визначити швидкість звуку.

Важливо підкреслити, що проведення додаткових обчислень і аналізу похибок вимірювань є важливою частиною лабораторного експерименту, що дозволяє забезпечити точні та надійні результати.

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:

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

2. Які головні відмінності між біжучою і стоячою хвилями?

Біжуча хвиля і стояча хвиля — це два різних типи хвиль, які мають ряд основних відмінностей:

Рух:

Біжуча хвиля: Рухається вздовж середовища. Енергія переноситься від джерела до приймача у вигляді хвильового фронту.

Стояча хвиля: Точки в середовищі коливаються, але хвильовий фронт залишається непорушним, що створює вигляд "стоячої" структури.

Причина:

Біжуча хвиля: Може поширюватися в будь-якому напрямку у просторі.

Стояча хвиля: Виникає внаслідок накладання двох або більше хвиль, які рухаються в протилежних напрямках.

Енергія:

Біжуча хвиля: Переносить енергію вздовж шляху її поширення.

Стояча хвиля: Не переносить енергію у просторі, оскільки вона виникає внаслідок інтерференції біжучих хвиль.

Рух точок середовища:

Біжуча хвиля: Точки середовища рухаються вздовж напрямку поширення хвилі.

Стояча хвиля: Точки середовища коливаються, але не рухаються вздовж напрямку поширення хвилі.

Напрямок коливань:

Біжуча хвиля: Коливання відбуваються вздовж напрямку поширення хвилі.

Стояча хвиля: Коливання відбуваються у фіксованих точках середовища.

Перенос енергії:

Біжуча хвиля: Переносить енергію від джерела до приймача.

Стояча хвиля: Не переносить енергію вздовж простору, але енергія переходить між кінетичною та потенціальною енергією у фіксованих точках.

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

У стовпі повітря, обмеженому трубою, стояча хвиля виникає, якщо на його протилежних межах утворюються або вузли, або пучності. Відстань між сусідніми вузлами або пучностями становить $\lambda/4$, де λ - довжина хвилі.

Таким чином, умова існування стоячої хвилі в трубі визначається рівнянням:

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

, де L - довжина труби, λ - довжина хвилі, а m - ціле число (1, 2, 3, ...).

4. Що називають вузлом і пучністю стоячої хвилі?

В контексті стоячих хвиль вузол і пучність є основними термінами, що описують розподіл амплітуди коливань в середовищі.

Вузол стоячої хвилі — це точка або область в середовищі, де амплітуда коливань дорівнює нулю. В вузлі стоячої хвилі коливання скасовуються одне одним, оскільки позитивні і негативні відхилення збігаються, взаємно відмінюючи одне одне.

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

Пучність стоячої хвилі — це точка або область в середовищі, де амплітуда коливань максимальна. У пучності стоячої хвилі коливання досягають свого максимального значення, оскільки позитивні і негативні відхилення збігаються і підсилюють одне одне.

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

Зазвичай, вузли і пучності стоячої хвилі чергуються, і відстань між ними визначається довжиною хвилі та умовами, за яких виникає стояча хвиля, як, наприклад, у відкритих або закритих трубах. В умовах вібраційного руху вузли і пучності відіграють ключову роль в формуванні характерних зон коливань.

5. Чи відбувається перенесення енергії стоячею хвилею?

У стоячій хвилі не відбувається перенесення енергії вздовж простору. Енергія в стоячій хвилі періодично переходить між кінетичною та потенціальною енергією, пов'язаною із пружною деформацією середовища.

У конкретний момент часу кількість енергії, яка знаходиться в кінетичній формі, дорівнює кількості енергії, що зберігається у потенціальній формі. Під час коливань точок середовища амплітуда змінюється, і разом із нею змінюється і розподіл енергії між цими двома формами.

У роботі стоячої хвилі середня за часом потужність (енергія, яка переноситься через площинний об'єм простору на одиницю часу) дорівнює нулю. Це означає, що в середньому жодна енергія не переноситься вздовж простору у напрямку поширення хвилі. Однак, незважаючи на це, внутрішні коливання в стоячій хвилі можуть бути істотними для певних фізичних явищ та досліджень.