

Лабораторна робота № 20

ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ОСЦИЛЯТОРА МЕТОДОМ СТОЯЧИХ ХВИЛЬ

Мета роботи: вивчення стоячих хвиль і визначення частоти коливань осцилятора.

Прилади й матеріали: лабораторна установка для визначення частоти вимушених коливань осцилятора методом стоячих хвиль.

Теоретичні відомості

Хвильовий рух являє собою різновидність механічного руху, що полягає в поширенні механічних коливань у просторі. Закон поширення одновимірної хвилі в напрямку осі Ox має вигляд:

$$y_1 = y_1(t, x) = A_m \cos(\omega t - kx + \varphi_0), \quad (1)$$

де A_m – амплітуда хвилі, що дорівнює амплітуді відповідних механічних коливань;

$\cos(\omega t - kx + \varphi_0)$ – фазовий множник;

$(\omega t - kx + \varphi_0)$ – фаза хвилі;

φ_0 – початкова фаза;

$k = 2\pi / \lambda$ – хвильове число;

$\omega = 2\pi / T$ – циклічна частота коливань;

T – період коливань.

Очевидно, що вираз для швидкості v поширення хвилі при цьому може бути записаний як:

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{\omega}{k}.$$

Існує один цікавий різновид хвиль, так звані стоячі хвилі, що по суті являють собою ізохронні коливання, тобто коливання, параметри яких не залежать від часу. Ці коливання можна одержати в результаті суперпозиції (тобто накладання) двох або більше когерентних хвиль з однаковими амплітудами. Зазначимо, що когерентні хвилі – це хвилі з постійними частотою та фазою коливань.

Стоячу хвилю можна одержати в результаті накладання прямої та відбитої хвиль. Уявимо собі струну довжини L , один кінець якої закріплений, а інший коливається з частотою f . В результаті по струні поширюється поперечна хвиля (рис. 1), закон поширення якої описується рівнянням (1).

Досягнувши закріпленого кінця, хвиля відбивається від нього, поширюється в зворотному напрямку і накладається на хвилю, що падає. Закон поширення відбитої хвилі записується як:

$$y_2 = y_2(t, x) = A_m \cos(\omega t + kx + \varphi_0). \quad (2)$$

Враховано що фазова швидкість відбитої хвилі змінює напрямок і знак відповідно.

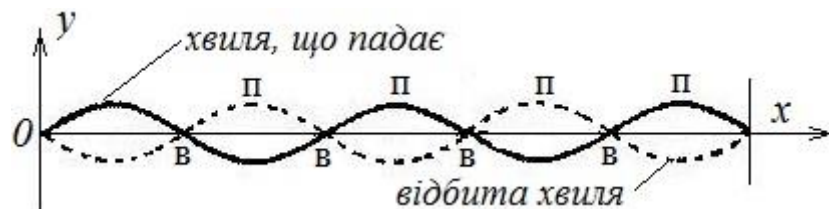


Рисунок 1. Структура стоячої хвилі.

Суперпозиція хвиль (1) та (2) має вигляд:

$$y_1 + y_2 = A_m [\cos(\omega t - kx + \varphi_0) + \cos(\omega t + kx + \varphi_0)],$$

$$y = y(t, x) = y_1 + y_2 = 2A_m \cos(kx) \cos(\omega t + \varphi_0), \quad (3)$$

або (якщо $\varphi_0 = 0$)

$$y(t, x) = y_1 + y_2 = 2A_m \cos(kx) \cdot \cos(\omega t), \quad (4)$$

де $2A_m \cos\left(\frac{2\pi}{\lambda}x\right)$ являє собою амплітуду стоячої хвилі. Як бачимо, амплітуда стоячої хвилі вдвічі більша, ніж амплітуди хвиль, що падають та відбиваються. У точках, де

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = \pm k\pi, \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (5)$$

амплітуда коливань досягає найбільшого значення $2A_m$. Ці точки називаються пучностями стоячої хвилі. Координати пучностей

$$x_{\text{п}} = \pm k\lambda/2, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (6)$$

У точках, де

$$\frac{2\pi}{\lambda}x = \pm \left(k + \frac{1}{2}\right)\pi, \quad (k = 0, 1, 2, \dots), \quad (7)$$

амплітуда коливань дорівнює нулю. Ці точки називаються вузлами стоячої хвилі. Координати вузлів:

$$x_{\text{в}} = \pm \left(k + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}, \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \quad (8)$$

Таким чином, відстань між найближчими вузлами та найближчими пучностями дорівнює $\lambda/2$.

Для реалізації стоячої хвилі потрібно, щоб довжина струни L дорівнювала цілому числу півхвиль (рис. 2):

$$L = \frac{\lambda}{2}n, \quad (n = 1, 2, 3, \dots). \quad (9)$$

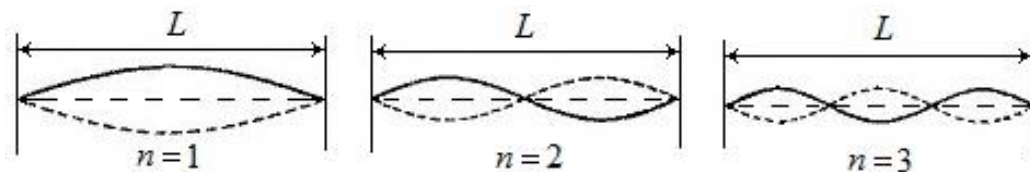
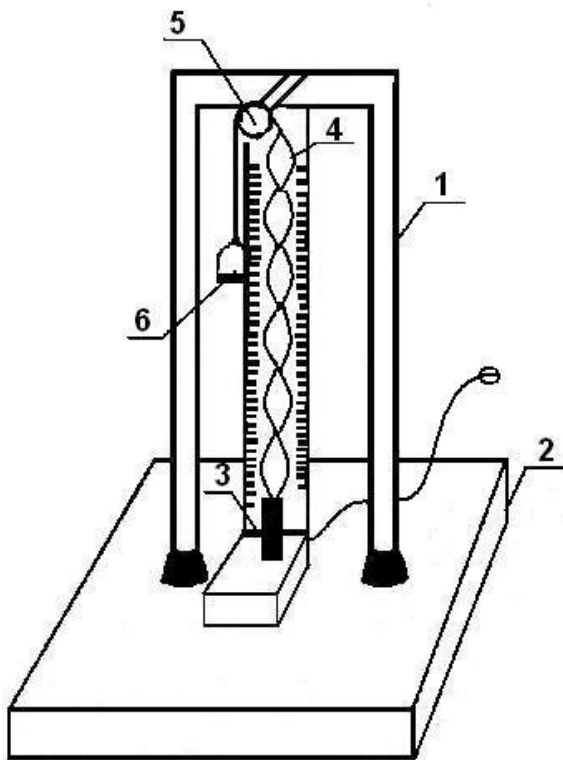


Рисунок 2. Стоячі хвилі на струні.

Значенню $n = 1$ відповідає основна (найнижча) частота коливань. Частоти, для яких $n = 2, 3, \dots$ називаються першими, другими і т. д. обертонами, або старшими тонами. Слід зазначити, що в стоячій хвилі середній потік енергії у будь-якій точці дорівнює нулю. Відбувається лише перехід енергії від вузлів до пучностей і навпаки.

В лабораторній установці (рис. 3) коливання збуджуються в закріпленій по обидва боки та натягнутій струні. Струну натягають за допомогою тягарців з набору лабораторних терезів. Коливання нижнього



кінця струни здійснюється з постійною частотою за допомогою осереддя електромагніта, через обмотку котушки якого проходить змінний струм. Частота коливань осереддя постійна, тому в лабораторній установці можуть існувати коливання тільки основної частоти.

Дивлячись на рис. 2, можна припустити, що частота коливань змінюється. Але це не так. Змінюється лише швидкість поширення хвиль та їх довжина, бо саме швидкість поширення хвиль залежить від сили натягу струни F

та лінійна густини матеріалу ρ_l , із якого виготовлена струна:

Рисунок 3.
Макет установки.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\rho_l}}. \quad (10)$$

З урахуванням виразу для швидкості хвилі

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda f$$

та (10) одержимо співвідношення для частоти:

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{F}{\rho_l}} = \frac{1}{2L} \sqrt{\frac{mg}{\rho_l}}. \quad (11)$$

Лабораторна установка для вивчення стоячих хвиль (рис. 3) складається із стійки 1, закріпленій на підставці 2. На підставці 2 знаходиться електромагніт 3, до осереддя якого прикріплена струна 4. Інший кінець струни через блок 5 закріпленій із шалькою 6 для тягарців. На стійці 1 знаходиться шкала для відліку відстаней між вузлами стоячої хвилі.

Послідовність виконання роботи

1. Ввімкнути електромагніт у мережу змінного струму.
2. Поступово за допомогою тягарців натягувати струну до реалізації стійких коливань.
3. Користуючись шкалою, визначити відстань між сусідніми вузлами L . Вважаючи, що відстань між сусідніми вузлами дорівнює $\lambda/2$, визначити довжину хвилі: $\lambda = 2L$.
4. Визначити силу натягу F струни. Вона дорівнює вазі шальки маси $m_{\text{ш}}$ (позначена на шальці) та тягарців маси m' :

$$m = m' + m_{\text{ш}} \quad \rightarrow \quad F = (m' + m_{\text{ш}})g.$$

5. Змінюючи тягарці, визначити іншу довжину хвилі.
6. Вимірювання здійснити для 2 ÷ 3 різних тягарців з масами m'_1, m'_2, m'_3 , для яких реалізуються стійкі коливання.
7. Дані вимірювань внести в Таблицю 1.
8. Згідно з формулою (11) визначити частоту коливань.
9. Обчислити відносну та абсолютну похибки для одного значення сили натягу струни.

Звіт за виконану роботу

1. Робоча формула:

$$f = \frac{1}{2L} \cdot \sqrt{\frac{mg}{\rho_l}} \text{ – частота коливань.}$$

1.1. Величини, що вимірюються:

L – відстань між двома сусідніми вузлами, $[L] = \text{м}$.

1.2. Табличні величини:

$$g = 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2},$$

$m_{\text{ш}} = \dots\dots\dots \text{кг}$ – маса шальки, ;

$\rho_l = 1,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{м}}$ – лінійна густина струни,

1.3. Величини, що обчислюються:

f – частота коливань, $[f] = \text{Гц}$.

2. Результати експерименту в таблиця 1:

Таблиця 1

i	m' , кг	L , м
1		
2		
3		

3. Обробка результатів експерименту.

3.1. Частоти коливань при різних силах натягу:

$$f_1 = \frac{1}{2 \cdot L_1} \cdot \sqrt{\frac{(m'_1 + m_{\text{ш}}) \cdot 9,8}{1,1 \cdot 10^{-3}}} =$$

$$f_2 = \frac{1}{2 \cdot L_2} \cdot \sqrt{\frac{(m'_2 + m_{\text{ш}}) \cdot 9,8}{1,1 \cdot 10^{-3}}} =$$

$$f_3 = \frac{1}{2 \cdot L_3} \cdot \sqrt{\frac{(m'_3 + m_{\text{ш}}) \cdot 9,8}{1,1 \cdot 10^{-3}}} =$$

3.2. Середнє значення частоти вимушених коливань:

$$\langle f \rangle = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{3} =$$

4. Висновки:

Контрольні питання

1. Що таке стояча хвиля, за яких умов вона існує?
2. Які хвилі називаються когерентними?
3. Дати визначення пучності та вузла стоячої хвилі?
4. Дати визначення обертона.
5. Якими параметрами визначається швидкість хвиль в пружному середовищі?
6. Які хвилі називаються поперечними?
7. Які хвилі називаються поздовжніми?
8. Вивести формулу для обчислення відносної похибки вимірювань.
9. Внаслідок якого явища існує стояча хвиля?
10. Чим відрізняються поперечні хвилі від поздовжніх?
11. Яким чином в даній лабораторній роботі здійснюються умови для існування стоячої хвилі?
12. Як зміниться довжина хвилі в цій лабораторній роботі, якщо частота коливань стане вдвічі більшою?