

Тема 27. Механічні та електромагнітні хвилі.

Поширення у просторі коливань речовини або поля називають **хвилею**.

За фізичною природою розрізняють електромагнітні хвилі (наприклад, радіохвилі, світло, γ -випромінювання) і механічні хвилі (звукові, сейсмічні, хвилі на поверхні рідини).

Виділимо деякі **особливості хвильового руху**.

1. Будь-які хвилі мають свій початок від *джерела коливань*; коливання частинок у процесі розширення хвилі є *вимушеними*, їхня частота *дорівнює частоті коливань джерела*.
2. *Хвиля поширюється у просторі не миттєво, а з певною швидкістю*. Після того, як одній частинці було надано коливального руху, інші частинки починають коливатися не відразу, а через деякий час.
3. Хвильовий рух не супроводжується перенесенням речовини – частинки середовища тільки коливаються біля деякого положення рівноваги. У будь-якій механічній хвилі *одночасно існують два види руху: коливання частинок середовища та поширення коливань*. Оскільки частинки середовища можуть здійснювати вимушені коливання тільки тоді, коли їм передається енергія, то під час хвильового руху *відбувається перенесення енергії без перенесення речовини*.

Довжина хвилі – це відстань між двома найближчими точками, які коливаються в однаковій фазі.

Довжину хвилі позначають символом λ і вимірюють у метрах (м).

За час одного повного коливання (час, який дорівнює одному періоду коливань) хвиля поширилась на відстань, що дорівнює довжині цієї хвилі. Отже, можна дати *ще одне означення довжини хвилі*.

Довжина хвилі – це відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду коливань.

Швидкість поширення хвилі пов'язана з довжиною хвилі співвідношенням:

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

де T – період коливань.

Таким чином, довжину хвилі можна визначити за формулами:

$$\lambda = vT = \frac{v}{\nu} = \frac{2\pi v}{\omega},$$

де ν – лінійна частота, ω – колова частота.

Монохроматичною хвилею називається поширення гармонічних коливань у просторі з плином часу.

Закон руху монохроматичної хвилі, що поширюється у напрямку осі X :

$$\psi(x, t) = A \cos \left(\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right),$$

або

$$\psi(x, t) = A \sin \left(\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \alpha_0 \right),$$

де ψ – відхилення частинок середовища від положення рівноваги, A – амплітуда коливань, $\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0$ – фаза хвилі.

Різниця фаз у двох точках хвилі, що знаходиться на відстанях x_1 та x_2 від джерела коливань:

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = 2\pi \frac{x_2 - x_1}{\lambda}.$$

Електромагнітна хвиля – це процес поширення в просторі електричних і магнітних полів, що періодично змінюються.

Джерелом хвилі у першому випадку буде коливне заряджене тіло, у другому – провідник, по якому тече змінний струм.

Проте реальну електромагнітну хвилю створить тільки змінний струм, але і її енергія буде настільки малою, що хвиля навряд чи подолає навіть декілька метрів. Тому *джерелом електромагнітної хвилі може бути тільки пристрій, у якому створюються електромагнітні коливання високої частоти.*

Швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі є сталою й дорівнює швидкості світла у вакуумі: $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Довжина хвилі λ – це відстань, на яку поширюється електромагнітна хвиля за час, що дорівнює періоду коливань.

Довжину хвилі обчислюють за формулами:

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu},$$

де c – швидкість поширення електромагнітних хвиль у даному середовищі.

Приклад 1. Човен за 30 с піднявся на гребнях хвиль 10 разів. Визначте швидкість хвиль, якщо відстань між їхніми гребнями дорівнює 3 м.

$$T = t/N = 30/10 = 3 \text{ с.}$$

$$\nu = \frac{\lambda}{T} = \frac{3}{3} = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: 1 м/с.

Приклад 2. Швидкість поширення хвилі – 4 м/с, а її частота – 1,25 Гц. Визначте довжину хвилі.

$$\lambda = \frac{v}{\nu} = \frac{4}{1,25} = 3,2 \text{ м.}$$

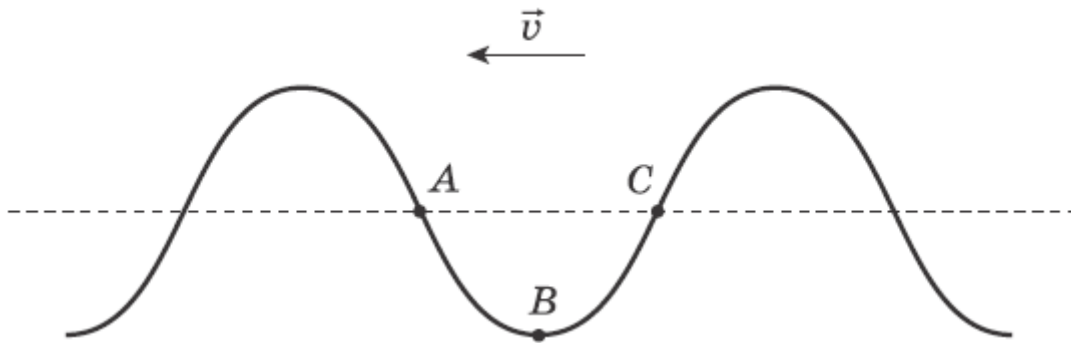
Відповідь: 3,2 м..

Приклад 3. У пружному середовищі поширюється хвиля довжиною 0,5 м. Чому дорівнює частота хвилі, якщо вона поширюється зі швидкістю 4 м/с?

$$\nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{4}{0,5} = 8 \text{ Гц.}$$

Відповідь: 8 Гц.

Приклад 4. По натягнутому джгуту поширюється поперечна хвиля (див. рисунок). Визначте напрямок руху точок А, В, С (вгору, вниз, не рухається).



Відповідь: А – вниз, В – не рухається, С – вгору.

Приклад 5. Звук поширюється із води в повітря. Як змінюється його частота та довжина хвилі?

Відповідь: частота не змінюється, довжина хвилі зменшується.

Приклад 6. Довжина хвиль, які генерує скрипка, може змінюватися від 23 мм до 1,3 м. Звуки якої частоти можна почути під час гри на скрипці? Швидкість звуку у повітрі становить 340 м/с.

А) 18 кГц; Б) 1800 Гц; В) 180 Гц; Г) 36 Гц.

$$v_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{340}{0,023} = 14782,6 \text{ Гц,}$$

$$v_2 = \frac{v}{\lambda_2} = \frac{340}{1,3} = 261,5 \text{ Гц.}$$

Відповідь: Б.

Приклад 7. Керованим реактивним снарядом було зроблено постріл, і снаряд полетів до цілі зі швидкістю 510 м/с. Визначте час після пострілу, через який людина, що зробила постріл, почує звук вибуху снаряду. Ціль знаходиться на відстані 10,2 км. Швидкість звуку у повітрі становить 340 м/с.

$$v_1 = 510 \text{ м/с, } v_2 = 340 \text{ м/с, } s = 10200 \text{ м.}$$

$$t_1 = 10200/510 = 20 \text{ с, } t_2 = 10200/340 = 30 \text{ с, } t = t_1 + t_2 = 20 + 30 = 50 \text{ с.}$$

Відповідь: 50 с.

Приклад 8. Рівняння плоскої монохроматичної хвилі має вигляд:

$$y = 5 \cdot 10^6 \cos(1800t - 6x),$$

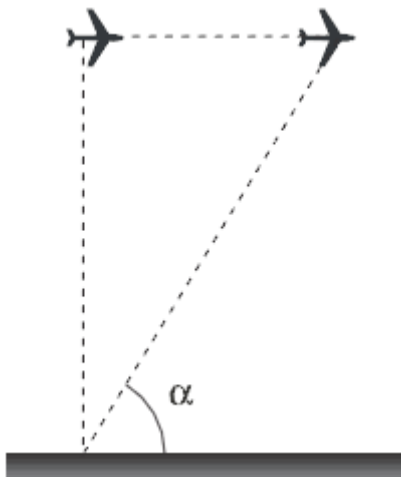
де всі величини задано в СІ. З якою швидкістю поширюється хвиля?

$$\psi(x, t) = A \cos \left(\omega \left(t - \frac{x}{v} \right) + \varphi_0 \right),$$

$$\omega = 1800, \quad \frac{\omega}{v} = 6, \quad v = \frac{\omega}{6} = \frac{1800}{6} = 300 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: 300 м/с.

Приклад 9. Визначте швидкість літака, який рухається горизонтально на певній висоті над спостерігачем. Коли звук від двигунів літака прийшов до спостерігача з точки траєкторії, яка розташована над ним, літак уже був у точці траєкторії, яку спостерігач бачить на висоті $73,6^\circ$ над горизонтом. Швидкість звуку у повітрі становить 340 м/с. $\text{tg}73,6^\circ = 3,4$.



$$\text{tg}73,6^\circ = s_3/s_{\text{л}} = v_3 t/v_{\text{л}} t = v_3/v_{\text{л}}, \quad v_{\text{л}} = v_3/3,4 = 340/3,4 = 100 \text{ м/с}.$$

Відповідь: 100 м/с.

Приклад 10. Визначте максимальну відстань, на якій може знаходитись перешкода у воді, що її «почує» дельфін, якщо він випромінює короткі імпульси ультразвуку, проміжок часу між якими становить 200 мс. Швидкість ультразвуку у воді становить 1500 м/с.

$$t = 0,2 \text{ с}, \quad v = 1500 \text{ м/с}.$$

$$2S_{\text{max}} = vt = 1500 \cdot 0,2 = 300 \text{ м}, \quad S_{\text{max}} = 150 \text{ м}.$$

Для того, щоб дельфін «почув» перешкоду, ультразвуковий імпульс, який випустив дельфін, має встигнути дійти до перешкоди і повернутися назад за час між двома послідовними імпульсами.

Відповідь: 150 м.

Приклад 11. Для організації мобільного зв'язку використовуються:

- А) довгі хвилі; Б) середні хвилі;
В) короткі хвилі; Г) ультракороткі хвилі.

Відповідь: Г.

Приклад 12. За 0,5 мкс індукція магнітного поля хвилі в певній точці простору змінилася від нуля до максимального значення. Якою є довжина хвилі?

$$\lambda = cT, \quad T = 4t = 4 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ с.}$$

$$\lambda = cT = 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 600 \text{ м.}$$

Відповідь: 600 м.

Приклад 13. Радіостанція працює на довжині хвилі 15 м. На яку частоту необхідно налаштувати вхідний контур радіоприймача, щоб слухати передачі цієї радіостанції?

$$\lambda = \frac{c}{\nu}, \quad \nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{15} = 2 \cdot 10^7 \text{ Гц.}$$

Відповідь: 20 МГц.

Приклад 14. Радіоприймач налаштований на прийом хвиль із частотою 30 МГц. Якій довжині хвиль відповідає ця частота?

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{3 \cdot 10^8}{3 \cdot 10^7} = 10 \text{ м.}$$

Відповідь: 10 м.

Приклад 15. Ємність вхідного контуру радіоприймача можна змінювати від 100 до 400 пФ. Радіохвилю якої частоти може прийняти цей радіоприймач, якщо індуктивність вхідного контуру становить 100 мкГн?

А) 50 кГц; Б) 0,5 МГц; В) 1 МГц; Г) 2,5 МГц.

$$T = 2\pi\sqrt{LC}, \quad \nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$\nu_1 = 1,6 \cdot 10^6 \text{ Гц}, \nu_2 = 0,8 \cdot 10^6 \text{ Гц.}$$

Відповідь: В.

Приклад 16. Якою має бути ємність вхідного контуру радіоприймача, щоб у разі індуктивності контуру 0,4 мкГн він був налаштований на прийом радіохвиль частотою 200 МГц?

Відповідь: 1,6 пФ.

Приклад 17. Визначте довжину радіохвиль, які випромінює радіопередавач, якщо під час його роботи в антенному контурі амплітудне значення сили струму сягає 31,4 А, а амплітудне значення заряду – 5 мкКл.

$$\frac{q_{max}^2}{2C} = \frac{LI_{max}^2}{2}, LC = \frac{q_{max}^2}{I_{max}^2},$$

$$T = 2\pi\sqrt{LC} = 2\pi \frac{q_{max}}{I_{max}} = 2 \cdot 3,14 \cdot \frac{5 \cdot 10^{-6}}{31,4} = 10^{-6} \text{ с.}$$

$$\lambda = cT = 300 \text{ м.}$$

Відповідь: 300 м.

Приклад 18. Котушку якої індуктивності потрібно підключити до конденсатора ємністю 50 пФ у вхідному контурі радіоприймача, щоб налаштувати його на прийом радіостанції, яка працює на частоті 1,3 МГц? Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

Відповідь: 0,3 мГн.

Приклад 19. Під час перемикання діапазонів радіоприймача в його вхідному коливальному контурі до котушки індуктивності була підключена ще одна така сама котушка. У скільки разів і як змінилася довжина хвиль, на прийом яких став налаштований радіоприймач? Індуктивності котушок під час їх підключення додаються.

$T = 2\pi\sqrt{LC}$, період, а отже і довжина хвиль, збільшиться в $\sqrt{2}$ разів.

Відповідь: збільшилась у $\sqrt{2}$ разів.

Приклад 20. На прийом радіохвиль якої довжини налаштований радіоприймач, якщо ємність вхідного контуру становить 2000 пФ, а індуктивність – 0,02 мГн?

Відповідь: 380 м.

Приклад 21. Котушку з якою індуктивністю потрібно підключити до конденсатора ємністю 200 пФ у вхідному контурі радіоприймача, щоб налаштувати його на прийом радіостанції, яка працює на довжині 100 м? Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

Відповідь: 14 мкГн.

Приклад 22. У вхідному контурі радіоприймача впаяна котушка з індуктивністю 20 мкГн. Конденсатор якої ємності потрібно додати до цієї котушки, щоб радіоприймач був налаштований на прийом радіохвиль довжиною 25 м? Вважайте, що $\pi^2 = 10$.

Відповідь: 8,7 пФ.

Приклад 23. У радіолокації використовують ультракороткі хвилі завдяки властивості:

- А) не поглинатися в повітрі;
- Б) не відбиватися від перешкод;
- В) поширюватися у межах прямого бачення;
- Г) не заломлюватися на межі різних середовищ.

Відповідь: В.

Приклад 24. Максимальна відстань виявлення цілей радіолокатором становить 60 км і не визначається потужністю радіолокатора. Якою є частота проходження імпульсів радіолокатора?

$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{c}{2S_{max}} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 6 \cdot 10^4} = 2500 \text{ Гц.}$$

Відповідь: 2500 Гц.

Приклад 25. Визначте індуктивність контуру радіоприймача, який налаштовано на прийом хвиль довжиною 62,8 м. Під час роботи приймача амплітуда напруги на обкладках конденсатора вхідного коливального контуру становить 1,8 В, амплітуда сили струму – 0,2 мА.

$$\frac{CU_{max}^2}{2} = \frac{LI_{max}^2}{2}, C = L \left(\frac{I_{max}}{U_{max}} \right)^2.$$

$$\lambda = cT = 2\pi c \sqrt{LC}, \lambda^2 = 4\pi^2 c^2 LC = 4\pi^2 c^2 L^2 \left(\frac{I_{max}}{U_{max}} \right)^2,$$

$$L = \frac{\lambda U_{max}}{2\pi c I_{max}} = \frac{62,8 \cdot 1,8}{2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot 2 \cdot 10^{-4}} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ Гн.}$$

Відповідь: 0,3 мГн.

Приклад 26. Визначте кількість (у тисячах) високочастотних коливань, які містяться у кожному імпульсі радіолокатора, що працює на хвилі довжиною 4,5 см. Тривалість кожного імпульсу 1,8 мкс.

Відповідь: 12 тисяч.

Приклад 27. Радіолокатор аеродрому випромінює імпульси тривалістю 4 мкс. Визначте найменшу відстань, на якій цей радіолокатор може виявити літак.

$$2S_{min} = ct = 3 \cdot 10^8 \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 1200,$$

$$S_{min} = 600 \text{ м.}$$

Відповідь: 600 м.

Домашнє завдання:

основне: 4.43, 4.50, 4.52, 4.56, 4.59, 4.60, 4.62, приклади 16, 18, 20, 21, 22, 26.

додаткове: 4.57, 4.61, 4.63.