

## МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

Хвиля - процес поширення коливань.

Найпоширенішими серед пружних хвиль є звукові хвилі в повітрі. Серед, передає коливання від точки до точки, володіє пружністю на стиск або зсув. Пружні властивості притаманні газам, рідинам і твердим тілам.

Рідини набагато сильніше, ніж гази, чинять опір зміні їх об'єму, хоча так само, як і гази, не мають сдвигової пружністю, тобто зсув одного шару рідини відносно іншого не породжує сил, що прагнуть вер-нути його в початкове положення. В газах і рідинах можуть поширюватися лише хвилі стиснення-розрідження.

Т. ч. хвилі можна розділити на:

поздовжні – в яких частинки середовища коливаються вздовж напрямку поширення хвилі;

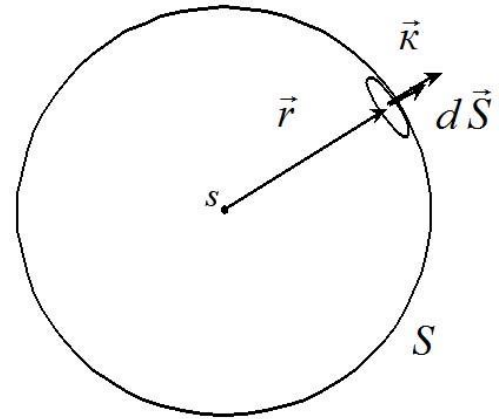
поперечні – в яких частинки середовища коливаються в напрямку, перпендикулярному до напрямку її поширення.

В твердих тілах, крім поздовжніх можуть поширюватися і поперечні хвилі. Хвилі на поверхні рідини добре ілюструють притаманне всім хвилям властивість – поширюючись у просторі, хвиля не переносить речовини: тріска, плаваюча на водній поверхні озера, здійснює коливання вгору-вниз, залишаючись на одному місці, в той час як хвиля безперервно переміщується. Існування поперечних хвиль пояснюється притаманною твердим тілам сдвигової пружністю.

### Рівняння плоскої і сферичної хвиль

Тіло, що здійснює коливання в пружному середовищі, служить джерелом хвиль. Від джерела хвилі поширюються в просторі. Область промандрівки, в якій відбуваються коливання частинок середовища, називається хвильовим полем. Поверхня, яка відділяє хвильове поле від решти простору, в якій коливання ще не почалися, називається фронтом хвилі. Поширення коливань в середовищі супроводжується переміщенням фронту хвилі зі швидкістю, що залежить від властивостей середовища.

Джерело хвиль називається точковим, якщо він випромінює хвилі в усіх напрямках рівномірно, а розміри його малі в порівнянні з відстанню від нього до точки спостереження. Точкове джерело  $S$  випромінює хвилю, фронт якої в однорідному середовищі має форму сфери (рис.1). Хвиля в цьому випадку називається сферичною. На великій відстані від джерела сферична поверхня фронту хвилі поблизу точки спостереження мало відрізняється від плоскої. Хвилю, фронтом якої є плоска поверхня, називають плоскою хвилею. Джерелом плоских хвиль може також служити коливається площина. Хвиля поширюється в перпендикулярному до неї напрямку. Якщо відстань від точки спостереження до площини набагато менше її розмірів, ми говоримо про нескінченну площину.



Отримаємо рівняння плоскої хвилі, що випромінюється такою площиною в перпендикулярному до неї напрямку (уздовж осі  $X$  на рис.2). Позначимо через  $\xi(x,t)$  зміщення від положення рівноваги в момент часу  $t$  точок середовища, що відстоять від джерела на відстані  $X$ . Джерело хвиль (площина  $YOZ$ ) здійснює коливання уздовж осі  $Y$ , тобто випромінює поперечні хвилі.

Колівання джерела описуються функцією

$$\xi(0,t) = A \cos \omega t, \quad (1)$$

Де  $A$  - амплітуда,  $\omega$  - циклічна частота.

Нехай  $\tau$  - час, протягом якого фронт хвилі проходить відстань  $x$  від джерела до точки спостереження. Зміщення точок середовища, що мають координату  $x$ , тобто знаходяться в площині, перпендикулярної осі  $X$ , відстає по фазі від зміщення джерела. У момент часу  $t = \tau$  воно дорівнює зміщенню джерела в момент часу  $t = 0$ , тобто

$$\xi(x,t) = A \cos \omega(t - \tau), \quad (2)$$

де  $\tau = x/v$ , а  $v$  - швидкість поширення коливань (фронту хвилі). Ця швидкість називається *фазовою*, оскільки за час  $\tau$  на відстань  $X$  переміщається фаза коливань. Підстановка  $\tau$  в формулу (2) призводить до рівняння

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

яке записують в симетричному відносно  $x$  та  $t$  вигляді:

$$\xi(x,t) = A \cos(\omega t - kx). \quad (3)$$

Множник

$$k = \frac{\omega}{v} \quad (4)$$

називається *хвильовим числом*.

Рівняння (3) - рівняння плоскої хвилі. При  $t = \text{const}$  функція  $\xi(x,t)$  періодична по координаті  $x$ . Вона зображена на рис. 2.

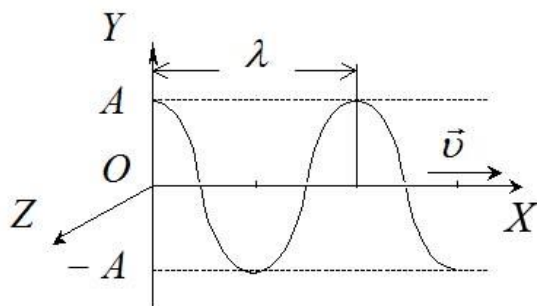


Рис.2

Якщо зафіксувати координату, тобто покласти  $t = \text{const}$ , то періодична функція часу описує коливання точок середовища, що мають цю координату, тобто коливання площині. Ці коливання відтворюють коливання джерела з відставанням по фазі на  $kx$ .

Відстань, що проходить фронтом хвилі за час, рівне періоду коливань джерела  $T$ , називається довжиною хвилі  $\lambda$ . Отже, довжина хвилі  $\lambda = vT$ . Довжина хвилі - найкоротша відстань між двома точками, що хитаються в однакових фазах (див. рис. 2).

Оскільки  $v = \lambda/T$ ,  $\omega T = 2\pi$ , з формули (4) випливає:

$$k = \frac{\omega T}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda}. \quad (5)$$

Хвильове число  $k$  показує, скільки довжин хвиль укладається на відрізку довжиною  $2\pi$ , виміряної в тих же одиницях, що і  $\lambda$ .

Враховуючи, що частота коливань джерела  $\nu$  і його період пов'язані співвідношенням  $T = 1/\nu$ , з формул (4) і (5) отримаємо.

$$v = \frac{\omega}{k} = \frac{2\pi\nu}{k} = \lambda\nu \quad (6)$$

Амплітуда  $A$  плоскої хвилі в рівнянні (3) постійна, оскільки передбачається, що при поширенні хвилі її енергія не поглинається середовищем. Амплітуда

сферичної хвилі зменшується при видаленні від джерела, оскільки площа поверхні фронту хвилі при цьому зростає. Рівняння сферичної хвилі має вигляд

$$\xi(\vec{r}, t) = \frac{A_0}{r} \cos(\omega t - \vec{k} \vec{r}) \quad (7)$$

Де  $A_0$  - амплітуда хвилі на відстані  $r = l$  м від джерела,  $\vec{r}$  - радіус-вектор, що з'єднує джерело з точкою спостереження. Вектор  $\vec{k}$  називається *хвильовим вектором*. Він перпендикулярний фронту хвилі (див. рис. 1) і по модулю збігається з хвильовим числом (5):

$$\vec{k} = \frac{2\pi}{\lambda} \vec{n}. \quad (8)$$

( $\vec{n}$  - одиничний вектор нормалі до фронту хвилі).

### Стоячі хвилі

У середовищі можуть одночасно поширюватися у вигляді хвиль коливання, що виходять від різних джерел. Якщо дві хвилі перекриваються в деякій області, а потім знову розходяться, то далі кожна з хвиль поширюється так, як якщо б вона не зустрічала на своєму шляху іншу. Цей принцип незалежності поширення хвиль відомий під назвою принципу суперпозиції. Він притаманний всім хвильовим процесам.

В області перекриття хвиль коливання накладаються один на одного, в ре-док чого в одних місцях вони посилюються, а в інших – слабшають. У кожній точці середовища результуюче коливання буде сумою коливань, що дійшли до цієї точки, тобто зміщення точки середовища від положення рівноваги дорівнює сумі зміщень, вироблених кожною з хвиль. Коли джерела коливаються з однаковою частотою, мають однакові напрямки коливань і постійну різницю фаз, вони називаються когерентними. У цьому випадку результуюче коливання в кожній точці середовища має постійну в часі амплітуду, що залежить від різниці рас-стояння цієї точки від джерел коливань. Результат складання такого роду коливань називається інтерференцією.

Рівняння плоскої хвилі, що поширюється вздовж осі X зліва направо:

$$\xi_{\text{ЛЕВ}}(x, t) = a \cos(\omega t - kx)$$

Рівняння хвилі, що йде в зворотному напрямку -справа наліво:

$$\xi_{\text{ПР}}(x,t) = a \cos(\omega t + kx).$$

Складаючи їх і використовуючи формулу перетворення суми косинусів в твір, отримаємо

$$\xi(x,t) = \xi_{\text{ЛЕВ}}(x,t) + \xi_{\text{ПР}}(x,t) = 2a \cdot \cos kx \cdot \cos \omega t. \quad (9)$$

Виникле коливання носить назву *стоячої хвилі*. Множник  $\cos \omega t$  показує, що всі точки середовища здійснюють коливання з тією ж частотою  $\omega$ , що і коливання зустрічних хвиль.

Множник  $2a \cdot \cos kx$  не залежить від часу. Він виражає амплітуду результуючого коливання в площині, що має координату  $x$  :

$$A = \left| 2a \cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right| \quad \left( k = \frac{2\pi}{\lambda} \right). \quad (10)$$

Амплітуда максимальна в точках, в яких  $|\cos(2\pi x / \lambda)| = 1$ . Ці точки називаються *пучностями* стоячої хвилі, для яких  $A = 2a$ . Їх координати знайдемо з умови  $\frac{2\pi}{\lambda} x_n = \pm n\pi$  ( $n=0, 1, 2, \dots$  – ціле число), звідки

$$x_n^{\text{пучн}} = \pm n \frac{\lambda}{2}.$$

(11)

Відстань між сусідніми пучностями становить половину довжини хвилі кожної з доданків хвиль:

$$x_{n+1}^{\text{пучн}} - x_n^{\text{пучн}} = \frac{\lambda}{2}.$$

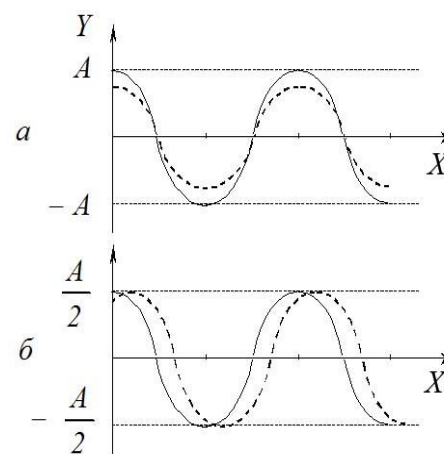
Аналогічно можна знайти координати точок, в яких результуюча амплітуда дорівнює нулю. Ці точки називаються *вузлами* стоячої хвилі. Координати вузлів, згідно (10), знайдемо з умови  $\cos(2\pi x / \lambda) = 0$  або

$$\frac{2\pi}{\lambda} x_n = \pm (2n + 1) \frac{\pi}{2} \quad \text{де } n \text{ – ціле число, звідки}$$

$$x_n^{\text{вузл}} = \pm (2n + 1) \frac{\lambda}{4}. \quad (12)$$

Відстань між сусідніми вузлами теж дорівнює  $\lambda/2$ , а відстань від вузла до найближчої пучності  $(2n+1)\lambda/4 - n\lambda/2 = \lambda/4$ , тобто вузли і пучності відстоять один від одного на чверть довжини хвилі.

На миттєвої фотографії стоячу хвилю неможливо відрізнити від хвилі, що переміщається в просторі, яку ми розглядали вище і яку називають *біжущою*,



**Рис.3**

щоб відрізнити її від стоячої хвилі. На рис.3,а зображена стояча поперечна хвиля, а на рис.3, б- хвиля біжить.

Пунктиром позначено розташування точок середовища через малу частку періоду коливань. З малюнка видно, що якщо при поширенні біжучої хвилі амплітуди коливання всіх точок середовища однакові, то в стоячій хвилі різні точки мають різні амплітуди.

В силу того, що амплітуда коливань у вузлах стоячої хвилі дорівнює нулю, дорівнює нулю і потік енергії через будь-який з них, тому стояча хвиля не переносить енергії.

Поперечні стоячі хвилі виникають в струнах музичних інструментів – фортепіано, скрипки, віолончелі; поздовжні стоячі хвилі – у трубах, духових інструментів.

### **Шкала електромагнітних хвиль**

Електромагнітні хвилі класифікуються по довжині хвилі  $\lambda$  або пов'язаної з нею частотою хвилі  $\nu$ . *Спектром електромагнітних хвиль* називається смуга частот електромагнітних хвиль, що існують в природі.

Спектр електромагнітного випромінювання в порядку збільшення частоти складають:

- 1) Радіохвилі;
- 2) Інфрачервоне випромінювання;
- 3) Світлове випромінювання;
- 4) Рентгенівське випромінювання;
- 5) Гамма випромінювання.

Різні ділянки електромагнітного спектра відрізняються за способом випромінювання і прийому хвиль, що належать тій чи іншій ділянці спектра.

З цієї причини, між різними ділянками електромагнітного спектра немає різких меж.

Радіохвилі вивчає класична електродинаміка. Інфрачервоне світлове і ультрафіолетове випромінювання вивчає як класична оптика, так і квантова фізика. Рентгенівське і гамма випромінювання вивчається в квантовій і ядерній фізиці.

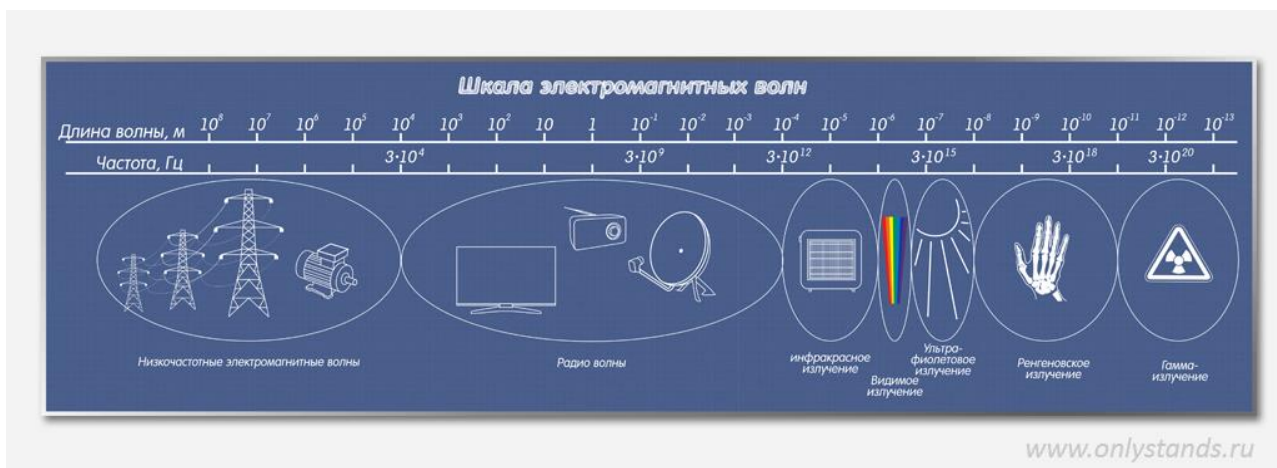


Рис.4.