

§ 22. МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ



Якщо, виникнувши в одному місці, коливання поширюються в сусідні ділянки простору, говорять про *хвильовий рух* — *хвилі*. Унаслідок підземних поштовхів поширюються сейсмічні хвилі в земній корі — виникають землетруси та цунамі; коливання дифузора гучномовця викликають появу звукових хвиль, і ми чуємо звук; коливання серця є причиною коливань стінок артерії (пульс). Згадаємо особливості хвильового руху.

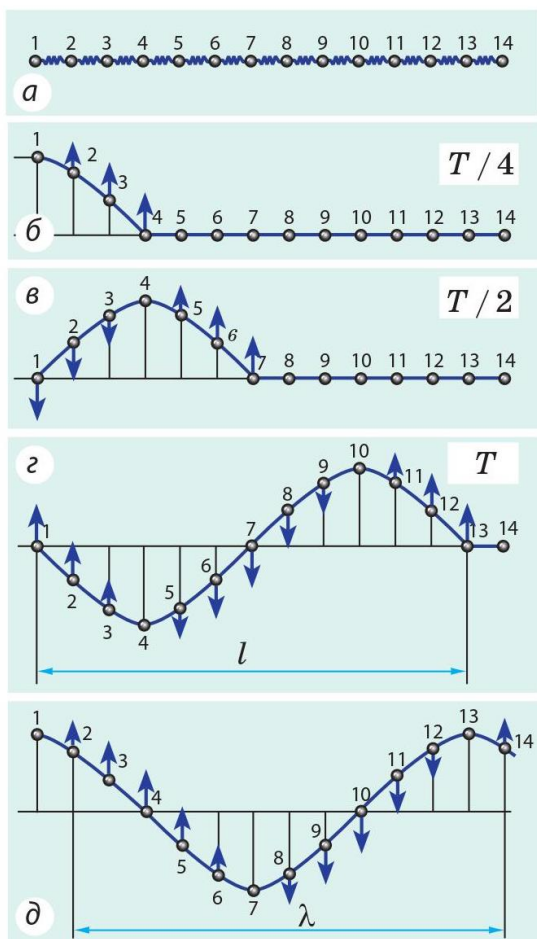


Рис. 22.1. Механізм поширення поперечної хвилі. Сині стрілки показують напрямок і відбивають модуль швидкості руху (чим довша стрілка, тим більшою є швидкість руху); λ — довжина хвилі

Якщо надати кульці 1 коливального руху, то кулька 2 теж почне коливатись, але з деяким запізненням; коливання кульки 2 спричинять коливання кульки 3, далі кульки 4 і т. д. (рис. 22.1, б–д). Зрештою всі кульки почнуть рух і будуть коливатися з тією самою частотою, що й кулька 1, однак їхні коливання відрізнятимуться фазою.

1 Як поширюється механічна хвиля

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

За фізичною природою розрізняють *електромагнітні хвилі* (наприклад, радіохвилі, світло) і *механічні хвилі*.

Механічна хвиля — це поширення коливань у пружному середовищі.

Середовище називають *пружним*, якщо під час його деформації виникають сили, які протидіють цій деформації, — сили пружності.

Якщо одному кінцю гімнастичної стрічки надати коливального руху, до цього руху будуть поступово залучатися все більш віддалені точки стрічки, — стрічкою побіжить хвиля. Розглянемо процес поширення такої хвилі на моделі: подамо стрічку у вигляді системи однакових кульок (кульки моделюють частинки* стрічки), з'єднаних невагомими пружинами, які моделюють пружну взаємодію частинок (рис. 22.1, а).

Якщо відхилити кульку 1 від положення рівноваги, пружина розтягнеться і на кульку 2 почне діяти сила пружності; у результаті кулька 2 теж почне рух. Кулька інертна, тому її рух почнеться не відразу, а через деякий інтервал часу.

* Розглядаючи механічні хвилі, *частинками* будемо називати не молекули, атоми, йони, а *невеликі фрагменти (ділянки) середовища*.

У загальному вигляді механізм поширення пружної хвилі є таким. Тіло, що коливається в пружному середовищі, — *джерело хвилі* — деформує прилеглі до нього шари середовища (у такт своїм коливанням стискає та розтягує або зсовує їх). *Сили пружності*, що виникають у результаті деформації, діють на наступні шари середовища, спонукаючи їх теж здійснювати *вимушені коливання*. Поступово, один за одним, усі шари середовища долучаються до коливального руху — середовищем поширюється хвиля.

2

Властивості хвильового руху

1. *Хвилі поширюються в середовищі зі скінченною швидкістю*: коливальний рух від однієї точки середовища до іншої передається не миттєво, а з певним запізненням.

2. *Джерелом механічних хвиль завжди є тіло, що коливається*; оскільки коливання частинок середовища в ході поширення хвилі є вимушеними, то *частота коливань кожної частинки дорівнює частоті коливань джерела хвилі*.

3. *Механічні хвилі не можуть поширюватись у вакуумі*.

4. *Хвильовий рух не супроводжується перенесенням речовини* — частинки середовища тільки коливаються біля деяких положень рівноваги.

5. Із приходом хвилі частинки середовища починають рухатися (набувають кінетичної енергії). Це означає, що *під час поширення хвилі відбувається перенесення енергії. Перенесення енергії без перенесення речовини — найважливіша властивість будь-якої хвилі*.



Рис. 22.2. До завдання в § 22



Згадайте поширення хвиль на поверхні моря (рис. 22.2). Чи рухатиметься людина разом із гребнями хвиль, наприклад, до берега? А як вона рухатиметься? Чому?

3

Фізичні величини, які характеризують хвилю

Хвиля — це поширення коливань, тому фізичні величини, які характеризують коливання (*частота ν , період T , амплітуда A* коливань), характеризують і хвилю. Ще двома важливими характеристиками хвилі є *довжина λ хвилі і швидкість v поширення хвилі*.

Швидкістю поширення хвилі називають швидкість переміщення точок із однаковою фазою коливань (наприклад, швидкість переміщення гребеня хвилі). Швидкість поширення хвилі не збігається зі швидкістю руху частинок середовища: частинки коливаються біля положень рівноваги, а хвиля поширюється в певному напрямку.

Повернемося до рис. 22.1. Нехай кулька 1 здійснила одне коливання, тобто час її руху дорівнює одному періоду ($t = T$). За цей час хвиля поширилася до кульки 13. Неважко помітити, що надалі кульки 1 і 13 коливатимуться абсолютно однаково — синхронно, в однаковій фазі. Очевидно, що однаково коливатимуться також кульки 2 і 14, 3 і 15 і т. д.

Довжина хвилі λ — це відстань між двома найближчими точками, які коливаються синхронно; відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду T :

$$\lambda = vT$$

Одиниця довжини хвилі в СІ — метр: $[\lambda] = 1 \text{ м (m)}$.

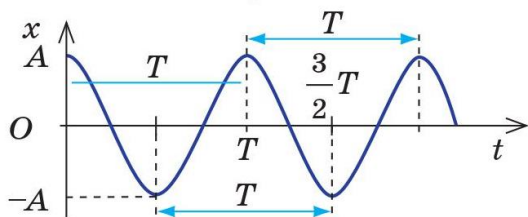
Урахувавши, що $T = 1/\nu$, отримаємо формулу взаємозв'язку довжини, частоти та швидкості поширення хвилі — **формулу хвилі**:

$$v = \lambda \nu$$

Зверніть увагу! Швидкість поширення хвилі в основному визначається пружними властивостями середовища, в якому хвиля поширюється, тому, якщо хвиля переходить із одного середовища в інше, то швидкість її поширення змінюється, а от частота хвилі залишається незмінною, оскільки вона визначається частотою коливань джерела хвилі. Отже, відповідно до формули хвилі в разі переходу хвилі з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється.

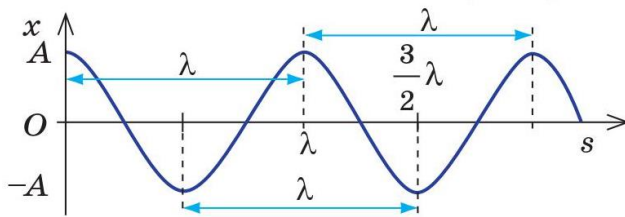
Хвиля періодична в часі та в просторі. Що це означає?

Будь-яка частинка середовища, де поширюється хвиля, здійснює періодичні коливання в часі: через певний інтервал часу T коливання частинки повторюються.



Період T — характеристика періодичності хвилі в часі.

Якщо зафіксувати певний момент часу, то через відстань, яка дорівнює довжині λ хвилі, форма хвилі повториться. Частинки, розташовані на відстані λ одна від одної, коливаються однаково (синхронно).

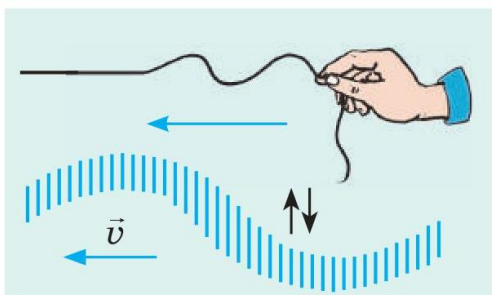


Довжина λ хвилі — характеристика періодичності хвилі в просторі.

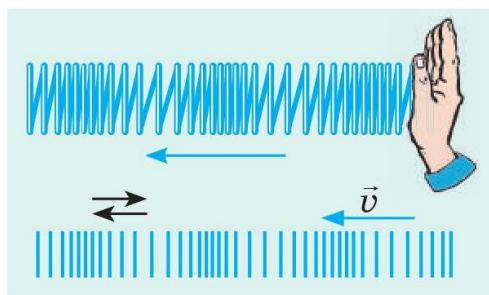
4 Які існують види механічних хвиль

Із курсу фізики 9 класу ви знаєте, що за напрямком руху частинок середовища відносно напрямку поширення хвилі розрізняють *поздовжні та поперечні хвилі*.

Поперечна хвиля — хвиля, в якій частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі



Поздовжня хвиля — хвиля, в якій частинки середовища коливаються вздовж напрямку поширення хвилі



У *поперечній хвилі* відбувається по-черговий *зсув* одних шарів середовища відносно інших. *Деформація зсуву* спричиняє появу сил пружності тільки у твердих тілах, тому *поперечні хвилі можуть поширюватися тільки у твердих тілах*.

У *поздовжній хвилі* відбувається по-чергове *стиснення* або *розтягнення* середовища. Такі деформації спричиняють появу сил пружності в будь-якому середовищі, тому *поздовжні хвилі можуть поширюватися у всіх середовищах* (рідких, твердих, газоподібних).

Хвилі на поверхні води не є ані поздовжніми, ані поперечними. Це хвилі *змішаного типу*. Частинки води переміщуються як уздовж напрямку поширення хвилі, так і перпендикулярно до нього. У загальному випадку частинки рухаються по еліпсах.



Хвилі, які поширюються шнуром, стрічкою або пружиною, можуть поширюватися тільки в двох напрямках — уздовж шнура (стрічки, пружини). А от якщо джерело хвилі коливається всередині середовища, хвиля поширюється в усі боки та захоплює дедалі більше точок простору, які утворюють певну поверхню. *Поверхню, до якої дійшли коливання на даний момент, називають фронтом хвилі*.

Усі частинки фронту хвилі коливаються однаково (в одній фазі). *Поверхні однієї фази називають хвильовими поверхнями*. Отже, фронт хвилі — це гранична хвильова поверхня. За формою хвильової поверхні розрізняють *сферичні, циліндричні, плоскі хвилі*.

Сферична хвиля (рис. 22.3) виникає, якщо джерелом хвилі є матеріальна точка або сфера, що пульсує. У цьому випадку енергія, яку прилеглі шари середовища отримали від джерела хвилі, розподіляється по дедалі більшій площі, тому зі збільшенням відстані від джерела амплітуда хвилі зменшується. Те саме стосується й **циліндричної хвилі** (таку хвилю створює, наприклад, стрижень, що пульсує).

Інша річ, коли **хвиля плоска** (рис. 22.4). Плоску хвилю можна отримати, якщо коливати пластинку перпендикулярно до її поверхні. У цьому випадку енергія буде розподілятися такою самою площею, тому, якщо сили тертя в середовищі нехтовно малі, амплітуда хвилі залишатиметься незмінною.



Як буде змінюватися амплітуда хвилі на поверхні рідини (рис. 22.5) у випадку колової хвилі? плоскої хвилі?

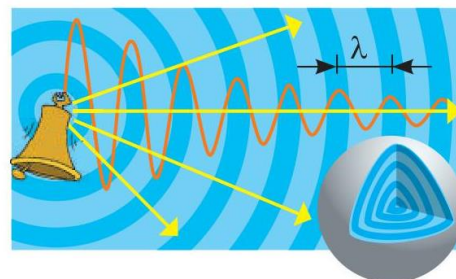


Рис. 22.3. Хвильові поверхні сферичної хвилі — сфери; зі збільшенням відстані від джерела амплітуда хвилі зменшується

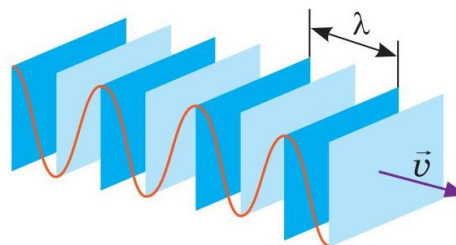


Рис. 22.4. Хвильові поверхні плоскої поздовжньої хвилі. Синім показано області найбільшого стиснення середовища, блакитним — найменшого

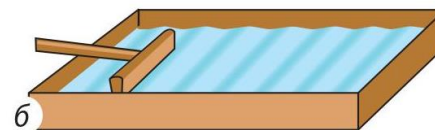


Рис. 22.5. Хвилі на поверхні рідини: колова хвиля (а); плоска хвиля (б)

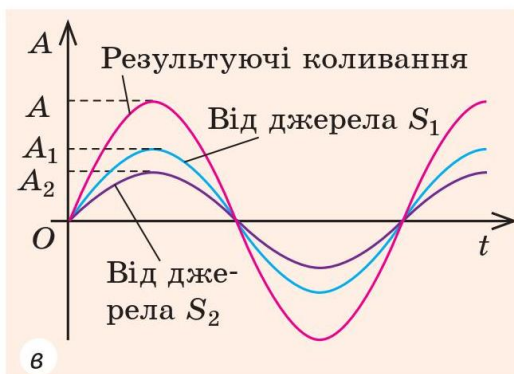
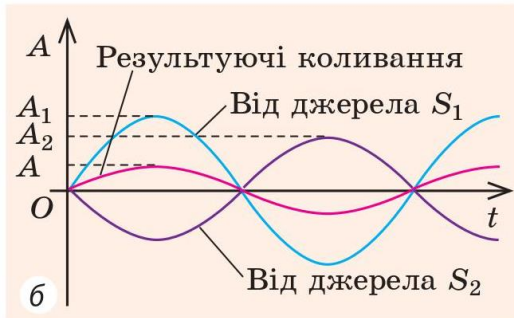
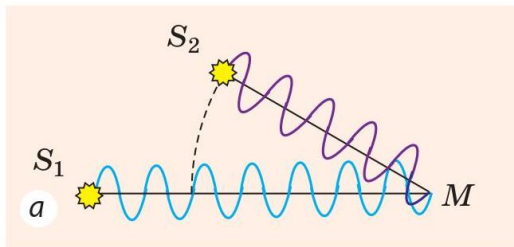


Рис. 22.6. Якщо хвилі надійшли в точку M у протилежних фазах, амплітуда результуючих коливань зменшується: $A = A_1 - A_2$ (б), а якщо в однаковій фазі, амплітуда результуючих коливань збільшується: $A = A_1 + A_2$ (в)

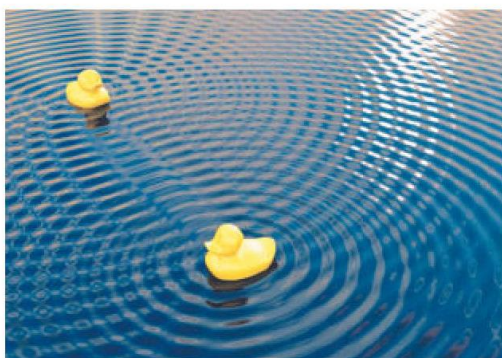


Рис. 22.7. Інтерференційна картина двох колових хвиль від точкових джерел. На поверхні води можна побачити ділянки, де коливання майже не відбуваються

5 Інтерференція хвиль

Для хвиль не дуже великих амплітуд виконується *принцип суперпозиції*: якщо в певну точку простору надходять хвилі від кількох джерел, то ці хвилі накладаються одна на одну. Унаслідок такого накладання в деяких точках простору весь час може спостерігатися посилення коливань, а в деяких — послаблення. З'ясуємо, чому і коли це відбувається. Нехай у деяку точку M надходять дві когерентні хвилі — хвилі від двох джерел S_1 і S_2 , що коливаються синхронно, тобто в однаковій фазі та з однаковою частотою (рис. 22.6, а).

Якщо хвилі надходять у точку M у протилежних фазах (у той самий момент часу одна хвиля «штовхає» точку M угору, а друга «штовхає» її вниз), то хвилі весь час гаситимуть одна одну (рис. 22.6, б).

Якщо ж хвилі надійшли в точку M в однаковій фазі, то в точці M весь час будуть спостерігатися коливання зі збільшеною амплітудою (рис. 22.6, в).

Явище накладання хвиль, унаслідок якого в певних точках простору спостерігається стійке в часі посилення або послаблення результуючих коливань, називають **інтерференцією**.

? Розгляньте рис. 22.7 і згадайте, коли ви спостерігали подібне. Чи побачимо ми інтерференційну картину, якщо качки будуть коливатися з різною частотою?

6 Дифракція хвиль

Судно, що пливе морем, утворює на поверхні води хвилю. Якщо на своєму шляху хвиля зустрине скелю або гілку, що стирчить із води, то за скелею утвориться тінь (тобто безпосередньо за скелею хвиля не проникає), а за гілкою тінь не утвориться (хвиля просто її огинає).

Явище огинання хвилями перешкод називають **дифракцією** (від латин. *diffractus* — розламаний) (рис. 22.8).

У наведеному прикладі дифракція хвилі відбувається на гілці, але не відбувається на скелі. Але це не завжди так. Якщо скеля достатньо віддалена від берега, то на певній відстані від скелі тінь зникне — хвиля обігне й скелю. Річ у тім, що дифракція спостерігається у двох випадках: 1) коли лінійні розміри перешкод, на які падає хвиля (або розміри отворів, через які хвиля поширюється), порівнянні з довжиною хвилі; 2) коли відстань від перешкоди до місця спостереження набагато більша за розмір перешкоди.

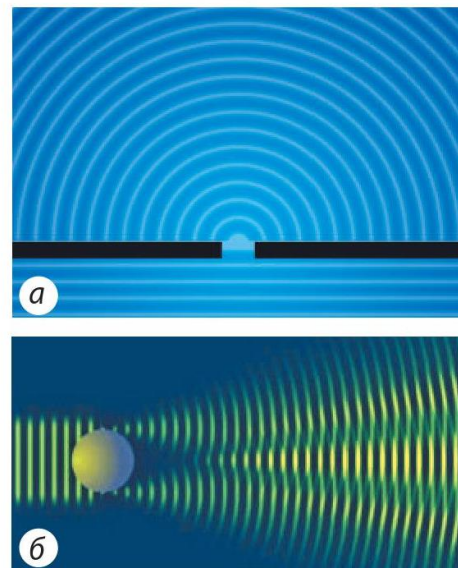


Рис. 22.8. Дифракція механічних хвиль на отворі (а); на перешкоді (б)



Підбиваємо підсумки

- Поширення в просторі коливань речовини або поля називають хвилею. Механічною хвилею називають поширення коливань у пружному середовищі.

- Хвиля поширюється в просторі не миттєво, а з певною швидкістю. Під час поширення хвилі відбувається перенесення енергії без перенесення речовини. У певних точках простору внаслідок накладання хвиль одна на одну може спостерігатися стійке в часі посилення або послаблення результируючих коливань — це явище називають інтерференцією. Хвилі можуть огинати перешкоди — це явище називають дифракцією.

- Хвилю, в якій частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі, називають поперечною. Хвилю, в якій частинки середовища коливаються вздовж напрямку поширення хвилі, називають поздовжньою.

- Хвиля періодична в часі та просторі. Періодичність хвилі в часі характеризується періодом коливань кожної окремої точки хвилі. Періодичність хвилі в просторі характеризується довжиною хвилі. Довжина хвилі — це відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду коливань. Довжина λ хвилі та частота ν хвилі пов'язані формулою хвилі $v = \lambda \nu$, де v — швидкість поширення хвилі.



Контрольні запитання

1. Дайте означення механічної хвилі, опишіть механізм її утворення.
2. Назвіть основні особливості хвильового руху.
3. Які фізичні величини характеризують хвилю?
4. Що таке довжина хвилі? Від чого вона залежить?
5. Як пов'язані довжина, частота та швидкість поширення хвилі?
6. Що означає вираз «хвиля періодична в часі та просторі»?
7. Які хвилі називають поздовжніми? поперечними? У яких середовищах вони поширюються?
8. Які хвилі називають сферичними? плоскими? Як із віддаленням від джерела змінюється енергія хвилі?
9. У чому полягає явище інтерференції? У яких випадках хвилі посилюють одна одну? послаблюють одна одну?
10. Наведіть приклади дифракції механічних хвиль.



Вправа № 22

1. Тіло на поверхні води здійснює 90 коливань за 36 с. Від тіла зі швидкістю 1,5 м/с поширюється механічна хвиля. Установіть відповідність між фізичною величиною та її числовим значенням в одиницях СІ.

1 Довжина хвилі	А 0,4
2 Частота хвилі	Б 0,6
3 Період коливань джерела хвилі	В 2,4
	Г 2,5

2. На рис. 1 показано поширення хвилі пружиною. Визначте довжину хвилі. Яка це хвиля — поздовжня чи поперечна?

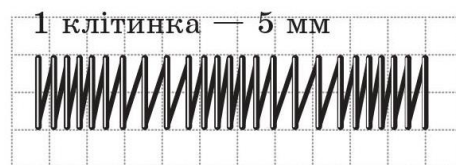


Рис. 1

3. Шнуром поширюється поперечна хвиля. У поданий на рис. 2 момент часу точка В рухається вгору. Визначте: 1) амплітуду, довжину, частоту хвилі; 2) напрямок поширення хвилі; 3) напрямок, у якому в даний момент часу рухаються точки А і С хвилі; 4) напрямок прискорення руху точок А і С.
4. Skorиставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся, як утворюються та поширюються сейсмічні хвилі під час землетрусу. Якими можуть бути частота, довжина, швидкість поширення таких хвиль? Як передбачити землетрус? Складіть задачу за отриманими даними.

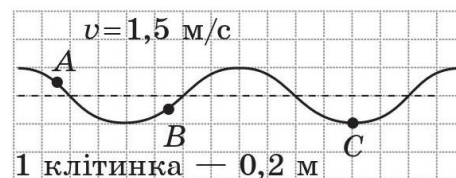


Рис. 2

5. Звукові хвилі — це механічні хвилі. Згадайте курс фізики 9 класу та наведіть кілька прикладів джерел звукових хвиль.



Експериментальне завдання

Виготовте пристрої (див., наприклад, рис. 22.5, б), за допомогою яких можна створити колові та плоскі хвилі на поверхні води у ванні. Здійсніть відеозапис таких хвиль і визначте їх характеристики. Поспостерігайте інтерференцію хвиль від двох джерел (поміркуйте, як їх слід коливати), дифракцію хвиль на отворі та на перешкоді.

Фізика і техніка в Україні



Інститут проблем міцності ім. Г. С. Писаренка НАН України (Київ) створений у 1966 р.; його засновником і першим директором був академік *Георгій Степанович Писаренко*.

Основні напрями наукової діяльності інституту — механіка руйнування й живучість конструкцій, коливання неконсервативних механічних систем — принесли установі світове визнання (нагадаємо одну із задач будівельної механіки: якими мають бути завтовшки стіни різних будівель, щоб

витримати навантаження не тільки в нормальних умовах, але й у разі землетрусів). Учені інституту здійснили вагомий внесок у розвиток теоретичних і експериментальних досліджень із встановлення критеріїв міцності та методів підвищення несної здатності матеріалів і елементів технічних конструкцій.