

§ 45. МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ

75 Механічні коливання надзвичайно поширені в природі та техніці. Коливається поршень у двигуні автомобіля, а разом із ним коливається (вібрує) сам двигун, коливаються земна кора під час землетрусу, повітря в духових музичних інструментах, поверхня води від кинутого у воду каменя і т. д. Якщо, виникнувши в одному місці, коливання поширюються в сусідні ділянки простору, то говорять про хвильовий рух — хвилі. Про те, що таке механічна хвиля і які особливості має хвильовий рух, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

Яким є механізм поширення механічної хвилі

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

За фізичною природою розрізняють *електромагнітні хвилі* (наприклад, радіохвилі, світло, γ -випромінювання) і *механічні хвилі*. Механічні хвилі бувають двох видів: *пружні хвилі* (наприклад, звукові та сейсмічні) і *хвилі на поверхні рідини*. Ми зупинимося на вивченні тільки *пружних механічних хвиль*.

Пружною механічною хвилею називають поширення коливань у пружному середовищі.

Середовище називають *пружним*, якщо між його частинками існують сили взаємодії, що перешкоджають деформації цього середовища.



Рис. 45.1. Поширення хвилі по пружному шнуру

Наприклад, якщо взяти довгий гумовий шнур, один кінець якого закріпити, а другому кінцю надати коливального руху, то ці коливання поступово передадуться іншим частинам шнура — по шнуру побіжить хвиля (рис. 45.1).

Розглянемо процес поширення такої хвилі на моделі: подамо гумовий шнур у вигляді системи однакових кульок (кульки моделюють частинки гуми), з'єднаних пружними невагомими пружинами (пружины моделюють пружну взаємодію частинок) (рис. 45.2, а).

Якщо відхилити кульку 1 (кінець шнура) від положення рівноваги, то пружина розтягнеться і на кульку 2 почне діяти сила пружності, у результаті чого кулька 2 теж почне рух. Оскільки кулька інертна, то її рух почнеться не відразу, а через певний проміжок часу. Рух кульки 2 викличе рух кульки 3 (рис. 45.2, б).

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. 45.2, в–д). Зрештою всі кульки почнуть рух і будуть коливатися з тією самою частотою, що й кулька 1, однак їхні коливання відрізнятимуться фазою (рис. 45.2, е).

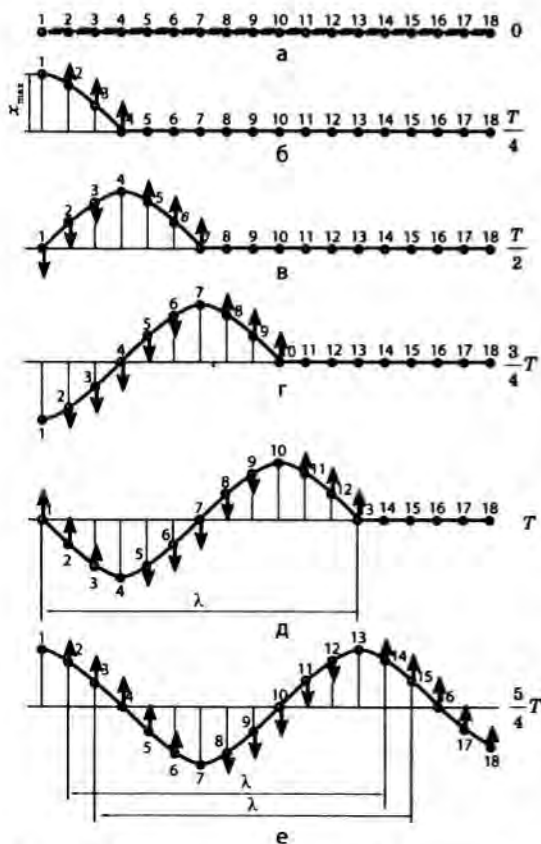


Рис. 45.2. Механізм поширення поперечної хвилі (λ — довжина хвилі)

У загальному вигляді механізм поширення пружної хвилі є таким. Тіло, що коливається в пружному середовищі, — *джерело хвилі* — діє на прилеглі до нього частинки середовища і спонукає їх робити вимушені коливання. При цьому відстані між частинками, які коливаються, і сусідніми частинками то збільшуються, то зменшуються. У результаті виникають сили пружності, які зближують частинки середовища, якщо вони віддаляються одна від одної, і навпаки — розштовхують ці частинки, якщо вони зближуються. Поступово всі частинки, одна за одною, долучаються до коливального руху — у середовищі поширюється хвиля.

2 Які особливості має хвильовий рух

Повернемося до моделі пружного шнура (див. рис. 45.2) і виділимо деякі *особливості хвильового руху*.

1. Будь-які хвилі мають свій початок від *джерела коливань*; коливання частинок у процесі поширення хвилі є *вимушеними*, їхня частота *дорівнює частоті коливань джерела*.

2. *Хвиля поширюється в 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*.

1 Поперечні та поздовжні хвилі

Зверніть увагу на поширення хвилі в пружному шнурі: хвиля поширюється вздовж шнура, а окремі частинки шнура коливаються перпендикулярно до поширення хвилі (див. рис. 45.1, 45.3).

Хвиля, у якій частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі, називається **поперечною**.

У поперечній хвилі деформації являють собою зсуви одних шарів середовища відносно інших (рис. 45.3, б). Деформація зсуву спричиняє появу сил пружності тільки у твердих тілах, тому поперечні хвилі можуть поширюватися тільки у твердих тілах.

Розглянемо інший приклад поширення хвилі. Візьмемо довгу м'яку пружину і закріпимо її один кінець.

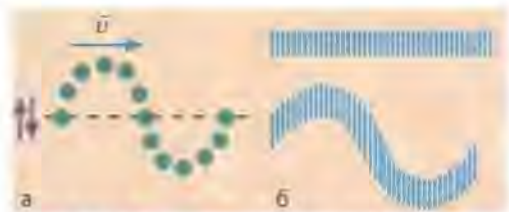


Рис. 45.3. У поперечній хвилі частинки коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі (а); коливання частинок супроводжуються деформацією зсуву (б)



Рис. 45.4. Поширення хвилі в м'якій пружині



Рис. 45.5. У поздовжній хвилі частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі (а); коливання частинок супроводжуються деформаціями розтягнення та стискання (б)

По другому кінцю пружини здійснимо серію послідовних ударів і побачимо, що коливання витків пружини передаватимуться вздовж шнура — по пружині поширюватиметься хвиля (рис. 45.4). Однак у цьому випадку окремі витки пружини коливатимуться вздовж напрямку поширення хвилі, а не перпендикулярно до нього.

Хвиля, у якій частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі, називається **поздовжньою**.

У поздовжній хвилі деформації являють собою стискання або розтягнення одних шарів середовища відносно інших (рис. 45.5). Але деформація стиску завжди (у будь-якому середовищі) супроводжується виникненням сил пружності. Тому поздовжні хвилі можуть поширюватися у всіх середовищах (рідких, твердих, газоподібних).

Зазначимо, що хвилі на поверхні рідини не є ні поздовжніми, ні поперечними. Вони мають складний поздовжньо-поперечний характер, при цьому частинки рідини рухаються по еліпсах. У цьому легко переконатися, якщо поспостерігати переміщення на воді кинутої в річку легкої тріски.

4 Як визначити довжину хвилі

Повернемося до рис. 45.2. Нехай кулька 1 здійснила одне повне коливання, тобто час її руху дорівнює одному періоду ($t = T$) (рис. 45.2, д). 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. (рис. 45.2, е).

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

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

Зверніть увагу: за час одного повного коливання (час, який дорівнює одному періоду коливань) хвиля поширилася 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.

Оскільки швидкість поширення хвилі для даного середовища — величина постійна, її можна обчислити за формулою: $v = \frac{s}{t}$.

Якщо час дорівнює періоду коливань ($t = T$), то відстань, на яку пошириться хвиля, дорівнює довжині хвилі ($s = \lambda$), тому швидкість поширення хвилі пов'язана з довжиною хвилі співвідношенням: $v = \frac{\lambda}{T}$.

Згадаємо, що $\frac{1}{T} = \nu$, де ν — частота коливань частинки у хвилі, і запишемо **формулу хвилі**:

$$v = \lambda \nu$$

Зверніть увагу: швидкість поширення хвилі в основному визначається пружними властивостями середовища, в якому хвиля поширюється, тому, якщо хвиля (наприклад, звукова) переходить з одного середовища в інше, то швидкість її поширення змінюється. Частота коливань частинок у хвилі визначається частотою коливань джерела хвилі, тому залишиться незмінною. Отже, відповідно до формули хвилі в разі переходу хвилі з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється.

5 Два роди періодичності хвилі

Формула $v = \frac{\lambda}{T}$ пов'язує два роди періодичності хвилі, тому що *хвиля періодична в часі та в просторі*. Що це означає?

Розглянувши рух будь-якої частинки середовища, де поширюється хвиля, можна зазначити, що ця частинка здійснює періодичні коливання в часі. Через певний проміжок часу T коливання частинки повністю повторюються (рис. 45.6). Період T характеризує періодичність хвилі в часі.

Якщо зафіксувати даний момент часу, то через відстань, яка дорівнює довжині λ хвилі, форма хвилі повториться (рис. 45.7). Частинки, розташовані на відстані, яка дорівнює довжині хвилі, коливаються однаково. Тому довжина хвилі характеризує періодичність хвилі в просторі.

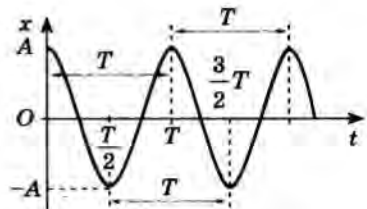


Рис. 45.6. Через час, який дорівнює періоду T , коливання частинки повторюються

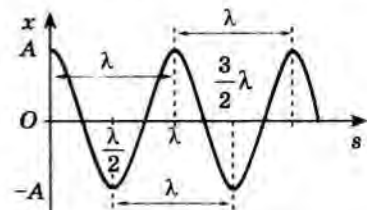


Рис. 45.7. Через відстань, яка дорівнює довжині λ хвилі, форма хвилі повторюється

6 Учимся розв'язувати задачі

Задача. На рис. 1 подано графік поперечної хвилі, що поширюється вправо. У якому напрямку в даний момент часу рухаються частинки A , B і C хвилі?

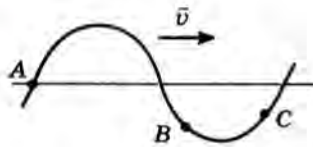


Рис. 1

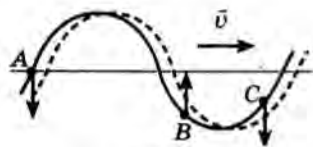


Рис. 2

Розв'язання. Нехай через певний невеликий проміжок часу Δt хвиля змістилася на відстань Δs . Оскільки хвиля зміщується вправо, а форма хвилі з часом не змінюється, то її графік через цей проміжок набуде вигляду, показаного на рис. 2 пунктирною лінією. Хвиля поперечна, тому її частинки рухаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

З рисунка бачимо, що частинка A в наступний момент часу виявиться нижче від свого початкового положення, отже, швидкість її руху в момент початку спостереження напрямлена вниз; частинка B переміститься вище, отже, швидкість її руху напрямлена вгору; швидкість руху частинки C напрямлена вниз.

Відповідь: частинки A і C рухаються вниз, частинка B — вгору.

Підбиваємо підсумки

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

Хвиля, в якій частинки середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі, називається поперечною. Хвиля, в якій частинки коливаються вздовж напрямку поширення хвилі, називається поздовжньою.

Хвиля періодична в часі та просторі. Періодичність хвилі в часі характеризується періодом коливань кожної окремої точки хвилі. Періодичність хвилі у просторі характеризується довжиною хвилі.

Довжина хвилі — це відстань між двома найближчими точками, які коливаються в однаковій фазі; це відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду. Довжина λ хвилі і частота ν коливань частинок середовища, в якому поширюється ця хвиля, пов'язані формулою хвилі $v = \lambda \nu$, де v — швидкість поширення хвилі.

Контрольні запитання

1. Що таке хвиля? 2. Які хвилі називають пружними? 3. Опишіть механізм утворення хвилі. 4. Назвіть основні особливості хвильового руху. 5. Які хвилі називають поздовжніми? поперечними? У яких середовищах вони поширюються? 6. Що таке довжина хвилі? Від чого вона залежить? 7. Що означає вираз «хвиля періодична в часі та просторі»?

Вправа № 39

1. У результаті вибуху, зробленого геологами, у земній корі поширилася хвиля зі швидкістю 4,5 км/с. Відбита від глибоких шарів Землі, ця хвиля була зафіксована на поверхні Землі через 20 с після вибуху. На якій глибині залягає порода, густина якої різко відрізняється від густини земної кори?

2. В океані довжина хвилі сягає 270 м, а її період 13,5 с. Визначте швидкість поширення такої хвилі.
3. Людина, стоячи на березі моря, визначила, що відстань між сусідніми гребенями хвиль, які йдуть одна за одною, дорівнює 15 м. Крім того, вона підрахувала, що за 75 с повз неї пройшло 16 хвильових гребенів, рахуючи з першого. Визначте швидкість поширення хвиль.
4. На рис. 1 дано графіки поперечних хвиль і показано напрямки їхнього поширення. У якому напрямку зміщуються частинки хвиль, зазначені на рисунку?
5. На рис. 2 дано графіки поперечних хвиль і показано напрямки коливань однієї з їхніх частинок. У якому напрямку поширюються хвилі?
- 6*. За графіком коливань джерела хвилі (графік залежності $x(t)$) (рис. 3) побудуйте графік хвилі, яка йде від нього (графік залежності $x(s)$). Швидкість поширення хвилі 20 м/с.

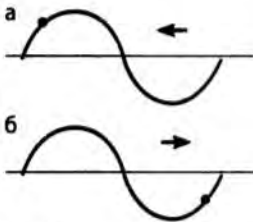


Рис. 1

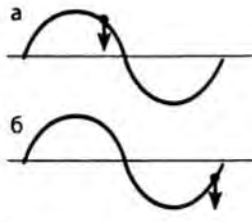


Рис. 2

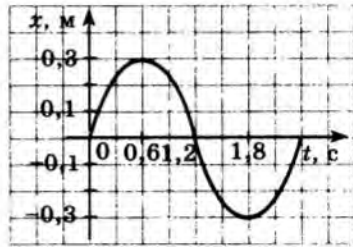


Рис. 3



В. В. Панасюк

ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка
НАН України (Львів)

Інститут, заснований у 1951 р., зараз є всесвітньо визнаним науковим центром у галузі механіки руйнування та міцності матеріалів, водневого матеріалознавства, фізико-хімічних процесів корозії та протикорозійного захисту металів, контролю матеріалів та діагностики конструкцій. Науковці Інституту створили теорію адсорбційної та водневої втоми сталей; розвинули теорію граничної рівноваги деформованих тіл із дефектами типу тріщин; започаткували новий науковий напрямок — фізико-хімічну механіку матеріалів.

Інститут займається також математичною теорією дифракції хвиль, теорією сигналів і теорією електричних кіл. Результати наукових досліджень співробітників Інституту опубліковано більш ніж у 250 монографіях, серед яких — 12-томна фундаментальна праця «Механіка руйнування та міцність матеріалів».

Із 1971 р. директором Інституту є академік НАНУ Володимир Васильович Панасюк (див. фото) — лауреат багатьох наукових відзнак, зокрема найвищої нагороди Європейського товариства з цілісності конструкцій (ESIS) — медалі Гріффітса.