

МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ. ГАРМОНІЧНІ КОЛИВАННЯ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Механічне коливання — такий вид руху тіла, під час якого воно багаторазово проходить одні й ті самі положення.

Коливання називаються **гармонічними**, якщо їх характеристики (наприклад, зміщення тіла з положення рівноваги) змінюються у часі за законом синуса або косинуса.

Вільними (власними) називаються коливання, які здійснює тіло за рахунок початкової енергії, без зовнішньої дії під час коливань. Приклад: коливання математичного маятника, який відхилили від положення рівноваги і відпустили.

Деякі фізичні характеристики коливань матеріальної точки (наприклад, період, частота, циклічна частота) дуже схожі на характеристики руху матеріальної точки по колу.

Період — час одного коливання, $T = \frac{t}{N_{\text{коливан}}}$, обернена величина — частота $\nu = \frac{N_{\text{коливан}}}{t}$; $\nu = \frac{1}{T}$, $[\nu] = \text{Гц}$ (герц), $\text{Гц} = \text{с}^{-1}$.

Величина, аналогічна кутовій швидкості обертання ω , називається **циклічною (круговою) частотою** коливань: $\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$.

Амплітудою коливань A називається максимальне зміщення матеріальної точки з положення рівноваги: $A = x_{\text{макс}}$.

Рівняння гармонічних коливань $x = A \sin \omega t$. Аргумент синуса ωt називається **фазою коливань** і позначається φ . Фаза показує, яка частина повного коливання здійснилась на даний момент часу.

Якби в початковий момент t_0 маятник не проходив через положення рівноваги, тобто нитка математичного маятника утворювала б кут φ_0 з вертикаллю, то рівняння коливань мало б вигляд $x = A \sin(\omega t + \varphi_0)$, де весь вираз у дужках — фаза коливань, а φ_0 — початкова фаза коливань.

МАТЕМАТИЧНИЙ І ПРУЖИННИЙ МАЯТНИКИ. ПЕРІОДИ ЇХ КОЛИВАНЬ

Математичний маятник — тіло типу матеріальної точки, підвішене на довгій невагомій нерозтяжній нитці (a).

При відхиленні нитки від вертикального положення система нитка-тягарець може здійснювати коливання у *вертикальній* площині. Коливання відбуваються під дією повертаючої сили \vec{F}_1 , яка є складовою сили тяжіння \vec{F}_2 .

Значення періоду T тим більше, чим більша довжина маятника l (тягарець на довгій нитці коливається «не поспішаючи»). Числове значення T визначається

також значенням прискорення, що його надає тілу сила тяжіння (отже, значення T на Землі і Місяці відрізняються).

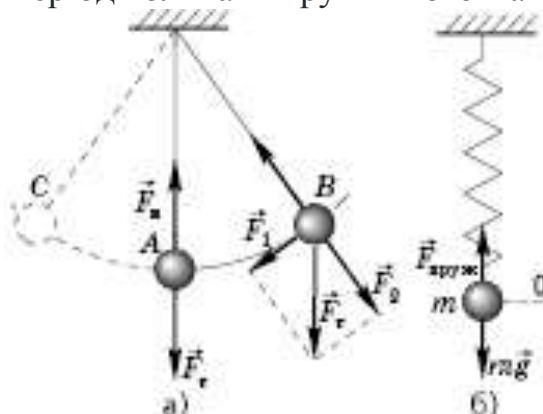
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

Період коливань математичного маятника

Пружинний маятник (б) складається з тягарця масою m , з'єднаного з пружиною жорсткістю k . Якщо зовнішньою силою вивести систему з положення рівноваги, вона може коливатися *відносно положення O* .

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

Період коливань пружинного маятника



Коливання такого маятника відбувається під дією сили пружності, отже, на відміну від математичного, пружинний маятник може бути розташований і *горизонтально*.

ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В КОЛИВАЛЬНОМУ РУСІ

Під час коливань безперервно відбувається перетворення одного виду механічної енергії на інший.

а) Нехай спочатку кулька математичного маятника, зображеного на рисунку, утримується у точці B , при цьому $W_{\text{р.мак}}, W_k = 0$;

б) при русі від точки B до точки A : w_r зменшується, w_k зростає;

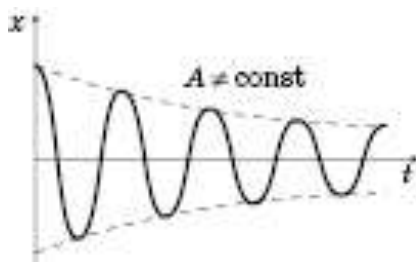
в) у точці A : $W_{k,\text{мак}}, W_{\text{р}} = 0$;

г) при русі від точки A до точки C (внаслідок інерції) W_k зменшується, $W_{\text{р}}$ зростає;

д) після досягнення точки C ($W_{\text{р.мак}}, W_k = 0$) кулька починає рухатися у протилежний бік.

ВИМУШЕНІ КОЛИВАННЯ. РЕЗОНАНС

Графік ідеалізованого власного коливання являє собою синусоїду або косинусоїду. Однак у будь-якій реальній коливальній системі, внаслідок неминучості дії сил тертя й опору, власні коливання згасають, тобто їх амплітуда зменшується з часом.

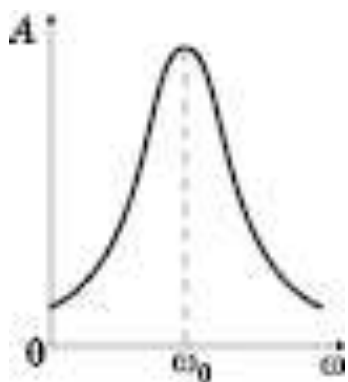


У природі і техніці дуже часто реалізуються не власні, а вимушені коливання, тобто коливання під дією зовнішньої (змушуючої) сили. Приклади: вимушені коливання здійснюють дерева і фрагменти споруд під натиском вітру; підлога машинного залу

на заводі; міст під ногами людей, мембрана мікрофона та ін.

Вимушені коливання можуть бути *незгасаючими*, якщо зовнішня дія буде компенсувати зменшення енергії в системі, викликане дією сил тертя й опору.

Особливим проявом дії змушуючої сили є явище **резонансу** — стрімкого (різкого) зростання амплітуди вимушених коливань за умови збігу частоти



власних коливань системи ω_0 (або ω_0) і частоти ν (або ω), з якою змінюється змушуюча сила.

Приклад перших проявів руйнівної дії резонансу: руйнування підвісних мостів через річку Луару у Франції наприкінці XIX ст. та в Росії на початку XX ст. через річку Фонтанка. У першому випадку солдати крокували по мосту в ногу, у другому — гарцювали кінні гренадери.

Для послаблення шкідливої дії резонансу в техніці використовують гасителі коливань (демпфери), гумові та повстяні прокладки.

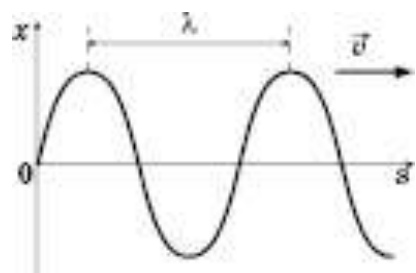
Але резонанс може бути не тільки шкідливим. Приклади корисних проявів резонансу: підсилення звуку музичними інструментами (корпус гітари, міхи баяна), настроювання радіоприймача на частоту потрібної радіостанції.

ПОШИРЕННЯ КОЛИВАНЬ У ПРУЖНИХ СЕРЕДОВИЩАХ.

ПОПЕРЕЧНІ ТА ПОЗДОВЖНІ ХВИЛІ ТА ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Коливання — це процес, який протягом тривалого часу локалізується у деякій ділянці простору, а **хвиля** — коливний процес, який безперервно переходить з однієї ділянки простору до іншої.

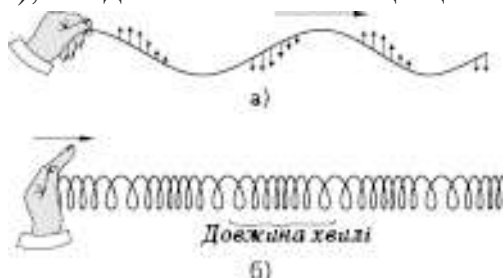
Отже, хвиля — це процес поширення коливань у просторі. **Механічна хвиля** — це поширення деформацій пружних середовищ.



Хвильовий процес, крім характеристик, притаманних і коливанням (період, частота, фаза, амплітуда), має специфічну характеристику — довжину хвилі λ («ламбда»). **Довжина хвилі** — це відстань, яку проходить хвиля за час, що дорівнює одному періоду. Інакше кажучи: λ — це відстань між найближчими точками середовища, що коливаються в однакових фазах.

$$\text{Швидкість хвилі } v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu, \quad \text{звідси } \lambda = vT = \frac{v}{\nu}.$$

Хвиля називається **поперечною**, якщо напрямок, у якому коливання відбуваються, і напрямок, у якому вони поширюються, взаємно перпендикулярні (а), **поздовжньою** — якщо ці напрямки паралельні (б).



Поперечні хвилі бувають лише в твердих тілах, поздовжні (хвилі стиснення–розрідження) — у газах, рідинах, твердих тілах.

На поверхні рідин можуть утворюватися хвилі, що нагадують поперечні

(наприклад, колові хвилі на воді від каменя), але вони обумовлені в основному силою тяжіння.

ЗВУКОВІ ХВИЛІ. ШВИДКІСТЬ ЗВУКУ

У широкому розумінні **звуківі хвилі** — це будь-які механічні хвилі (тобто хвилі в пружних середовищах). У вузькому значенні **звук** — це такі пружні хвилі, дія яких створює у людини слухові відчуття.

Більшість людей чує звуки, яким відповідають частоти коливань від 16?20 Гц до 20 кГц. Більш низькі частоти відповідають інфразвуку, а більш високі — ультразвуку.

Швидкість звуку в речовинах визначається їх пружністю і густиною й

обчислюється за формулою $v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$, де E — модуль Юнга, ρ — густина.

Швидкість звуку мінімальна у газах (за нормальних умов у

повітрі $v = 330 + 340 \frac{m}{c}$, залежно від температури: чим більше значення T , тим

більша v); максимальна у твердих тілах (у сталях $v \approx 6000 \frac{m}{c}$); рідини займають

проміжне положення (у воді $v \approx 1500 \frac{m}{c}$).

ГУЧНІСТЬ ЗВУКУ І ВИСОТА ТОНУ. ЛУНА

Звукові хвилі мають об'єктивні характеристики, наприклад енергія хвилі W або інтенсивність хвилі I .

Інтенсивність хвилі виражається формулою $I = \frac{W}{St}$. Отже, вона чисельно дорівнює енергії, яку переносить хвиля протягом секунди через одиничну площадку в просторі.

Крім того, звук має додаткові характеристики — гучність звуку і висота тону.

Гучність звуку визначається не тільки об'єктивними властивостями звуку (чим більше значення I , тим більша гучність), але й індивідуальними особливостями органів слуху людини.

Висота тону звуку (звукова тональність) визначається об'єктивною характеристикою — частотою: чим більша ν , тим вищий тон звуку при його слуховому сприйнятті.

Звукова хвиля, досягаючи деякого тіла, — це може бути стіна будівлі, дерево, гора, хмара, — відбивається за таким самим законом, як і світлова хвиля (кут відбивання дорівнює куту падіння). Якщо відбиваюча поверхня досить віддалена, то людина чує не лише звук від його джерела, але й відбитий через деякий час звук, який називається **луною**.