

## § 26. КОЛИВАННЯ. ВИДИ КОЛИВАНЬ. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ КОЛИВАННЯ



У курсі фізики 10-го класу ви ознайомилися з одним із найпоширеніших видів рухів у природі — механічними коливаннями. Однак, окрім механічних, існують коливання зовсім іншої природи — електромагнітні. Хоча ці два явища — механічні та електромагнітні коливання — є різними за своєю природою, проте вони мають низку спільних характерних ознак і описуються однаковими математичними законами.



### Види коливань та умови їх виникнення

**Коливання** — рухи або зміни стану, які точно чи приблизно повторюються з часом.

Існують різні види коливань. Одні коливання, наприклад рух поршня у двигуні внутрішнього згоряння або зміна сили струму в електричній мережі, можуть *відбуватися тільки під дією зовнішньої сили, що змінюється періодично*. Такі коливання називають **вимушеними**.

Інші коливання, які називають **вільними**, зумовлені дією *внутрішніх сил системи й виникають після того, як систему виведено зі стану рівноваги й надано самій собі*. Такими, наприклад, є коливання маятника, які виникають, якщо тягарець відхилити від положення рівноваги й відпустити; коливання в коливальному контурі, які виникають, якщо заряджений конденсатор замкнути на котушку.

Система тіл, у якій можуть виникати вільні коливання, називають **коливальною системою**.

Щоб у коливальній системі виникли вільні коливання, необхідне виконання двох умов: 1) системі має бути передано надлишкову енергію; 2) втрати енергії в системі мають бути незначними, інакше коливання швидко затухнуть або навіть не виникнуть.

Якщо в коливальній системі немає жодних втрат енергії, то коливання триватимуть як завгодно довго — їхня амплітуда з часом не змінюватиметься. Такі коливання називають **незатухаючими**.

Однак у будь-якій коливальній системі завжди є втрати енергії: під час механічних коливань енергія витрачається на додання сил тертя, деформацію; під час електромагнітних — на нагрівання провідників, випромінювання електромагнітних хвиль та ін. У результаті амплітуда коливань із часом зменшується, і через певний проміжок часу, якщо немає надходжень енергії від зовнішнього джерела, коливання припиняються (затухають). Тому вільні коливання завжди є **затухаючими**.

Існують коливальні системи, в яких *незатухаючі коливання відбуваються внаслідок здатності системи самостійно регулювати*

надходження енергії від постійного джерела. Такі системи називаються **автоколивальними**, а процес незатухаючих коливань у таких системах — **автоколиваннями**.

## 2 Гармонічні коливання

Коли тіло здійснює механічні коливання, змінюються його положення в просторі (координата), швидкість і прискорення руху. У випадку електромагнітних коливань змінюються сила струму в колі, заряд і напруга на обкладках конденсатора, електрорушійна сила (ЕРС). Загальні закони коливального руху є досить складними й виходять за межі шкільного курсу фізики, тому ми розглядатимемо лише окремий випадок коливань — **гармонічні коливання**.

**Гармонічні коливання** — це коливання, під час яких фізична величина, що коливається, змінюється з часом за законом косинуса або синуса.

Рівняння гармонічних коливань має вигляд:

$$x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0) \quad \text{або} \quad x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0),$$

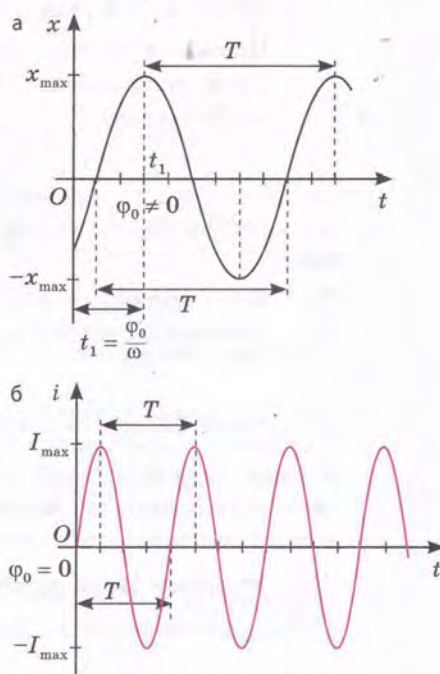
де  $x$  — значення змінної величини в даний момент часу  $t$ ;  $A$  — амплітуда коливань;  $\omega$  — циклічна частота;  $\varphi_0$  — початкова фаза коливань.

Графік залежності значення змінної величини від часу називають графіком коливань. Графік гармонічних коливань має вигляд кривої, яка в математиці називається синусоїдою або косинусоїдою (рис. 26.1). За графіком коливань, як і за рівнянням коливань, легко визначити основні характеристики коливань.

## 3 Які фізичні величини характеризують коливання

**Амплітуда коливань  $A$**  — це фізична величина, що характеризує коливання й дорівнює максимальному значенню змінної величини.

Амплітуда *вільних* коливань визначається початковими умовами, тобто тією енергією, яку було передано системі під час її виведення зі стану рівноваги. Одиниця амплітуди коливань визначається одиницею змінної величини. Наприклад, у механічних коливаннях амплітуду розуміють як максимальне зміщення:  $A = x_{\max}$  ( $[x_{\max}] = 1 \text{ м}$ ); можна говорити також про



**Рис. 26.1.** Графіки гармонічних коливань: *a* — графік залежності координати тіла від часу  $x(t) = x_{\max} \cos(\omega t + \varphi_0)$ ; *б* — графік залежності сили струму від часу  $I(t) = I_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$ .  $x_{\max}$ ,  $I_{\max}$  — амплітуди коливань;  $T$  — період коливань;  $\varphi_0$  — початкова фаза коливань



амплітуду швидкості ( $[v_{\max}] = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ) і амплітуду прискорення. У випадку електромагнітних коливань говорять про амплітуду сили струму ( $[I_{\max}] = 1 \text{ А}$ ), амплітуду напруги ( $[U_{\max}] = 1 \text{ В}$ ) та ін.

**Період коливань**  $T$  — це фізична величина, що характеризує коливання й дорівнює мінімальному інтервалу часу, через який значення змінної величини повторюється, тобто часу, за який здійснюється одне повне коливання:

$$T = \frac{t}{N},$$

де  $t$  — час коливань;  $N$  — кількість повних коливань за цей час.

Одиниця періоду коливань у СІ — **секунда** (с).

**Частота коливань** — це фізична величина, що характеризує коливання й кількісно дорівнює числу повних коливань, які здійснюються за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t}.$$

Одиниця частоти коливань у СІ — **герц** (Гц).

**Циклічна частота**  $\omega$  — це фізична величина, що характеризує коливання й кількісно дорівнює числу повних коливань, які здійснюються за  $2\pi$  секунд:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}.$$

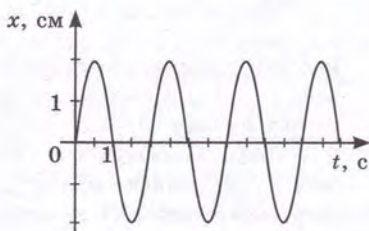
Одиниця циклічної частоти в СІ — **радіан на секунду** (рад/с або  $\text{с}^{-1}$ ).

**Фаза коливань**  $\varphi$  — це фізична величина, що характеризує стан коливальної системи в даний момент часу:

$$\varphi = \omega t + \varphi_0.$$

Фаза коливань визначається їх періодом (оскільки  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ), моментом часу  $t$ , у який фіксується значення змінної величини, та початковою фазою коливань  $\varphi_0$  — фазою коливань у момент початку відліку часу.

#### 4 Учимся розв'язувати задачі



**Задача.** За графіком коливань тіла на пружині, наведеним на рисунку: 1) визначте амплітуду, період, частоту й циклічну частоту коливань; 2) запишіть рівняння коливань та рівняння швидкості руху тіла; 3) знайдіть зміщення та швидкість руху тіла у фазі  $\frac{\pi}{6}$  рад.

*Аналіз фізичної проблеми, розв'язання*

1) Із графіка визначимо:

а) амплітуду коливань (максимальне зміщення тіла):

$$x_{\max} = 2 \text{ см} = 0,02 \text{ м};$$

б) проміжок часу, за який здійснюється одне повне коливання, дорівнює 2 с, отже,  $T = 2 \text{ с}$ ;

$$\text{в) } \nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2} \text{ с}^{-1} = 0,5 \text{ Гц};$$

$$\text{г) } \omega = 2\pi\nu = 2\pi \cdot 0,5 \frac{1}{\text{с}} = \pi \text{ с}^{-1}.$$

2) У момент початку спостереження ( $t = 0$ ) тіло перебувало у стані рівноваги ( $x_0 = 0$ ), тому рівняння коливань має вигляд:  $x = x_{\max} \sin \omega t$ . Підставляючи значення  $x_{\max} = 0,02 \text{ м}$  і  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$  у рівняння коливань, маємо:  $x = 0,02 \sin \pi t \text{ (м)}$ .

Швидкість руху тіла дорівнює швидкості зміни його координати:

$$v(t) = x'(t) = (0,02 \sin \pi t)' = 0,02\pi \cos \pi t = 0,02\pi \sin \left( \pi t + \frac{\pi}{2} \right) \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

3) Якщо  $\varphi = \frac{\pi}{6}$ , то  $x(t) = x_{\max} \sin \varphi = 0,02 \sin \frac{\pi}{6} = 0,01 \text{ (м)}$ ;

$$v(t) = 0,02\pi \cos \frac{\pi}{6} \approx 0,054 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

*Відповідь:* 1)  $x_{\max} = 0,02 \text{ м}$ ;  $T = 2 \text{ с}$ ;  $\nu = 0,5 \text{ Гц}$ ;  $\omega = \pi \text{ с}^{-1}$ ;

2)  $x = 0,02 \sin \pi t \text{ (м)}$ ;  $v = 0,02\pi \cos \pi t \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$ ; 3) зміщення у фазі  $\frac{\pi}{6}$ :

$$x = 1 \text{ см}; \text{ швидкість руху у фазі } \frac{\pi}{6}: v = 5,4 \left( \frac{\text{см}}{\text{с}} \right).$$

### Підбиваємо підсумки

Коливання — рухи або зміни стану, які точно чи приблизно повторюються з часом.

За умовами існування розрізняють коливання: вільні, які відбуваються під дією внутрішніх сил системи; вимушені, які відбуваються під дією зовнішньої сили, що періодично змінюється; автоколивання, які існують у системі за рахунок надходження енергії від постійного джерела, за умови що надходження енергії регулюється самою системою.

Коливання, амплітуда яких не змінюється з часом, називаються незатухаючими. Коливання, амплітуда яких із часом зменшується, називаються затухаючими.

Коливання, під час яких фізична величина, що коливається, змінюється з часом за законом косинуса (або синуса), називають гармонічними коливаннями. Рівняння гармонічних коливань має вигляд:  $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi_0)$  або  $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi_0)$ , де  $x$  — значення змінної величини в даний момент часу  $t$ ;  $A$  — амплітуда коливань;  $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$  — циклічна частота;  $\omega t + \varphi_0 = \varphi$  — фаза коливань;  $\varphi_0$  — початкова фаза коливань.



**Контрольні запитання**

1. Дайте визначення коливань. 2. Які коливання називаються вільними? вимушеними? автоколиваннями? Наведіть приклади. 3. Які умови необхідні для виникнення вільних коливань? 4. Які коливання називають затухаючими? незатухаючими? Наведіть приклади. 5. Назвіть основні фізичні величини, які характеризують коливальний рух. Дайте їх визначення. 6. Які коливання називають гармонічними? Запишіть рівняння гармонічних коливань. 7. Який вигляд має графік гармонічних коливань?

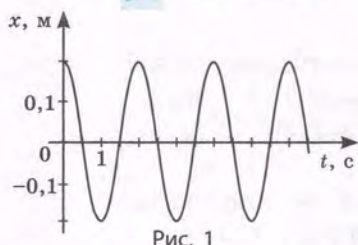
**Вправа № 22**

Рис. 1

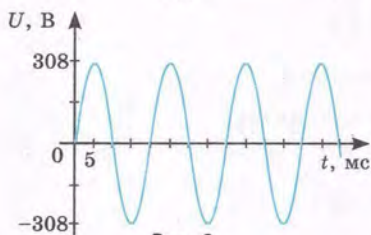


Рис. 2

1. Запишіть рівняння гармонічних коливань сили струму в електричній лампі розжарювання, якщо амплітуда коливань сили струму 0,5 А, а період коливань 0,02 с. У момент початку спостереження сила струму в лампі максимальна.

2. Тіло на пружині здійснює 3 коливання за секунду. Максимальне відхилення тіла від положення рівноваги 0,8 см. Запишіть рівняння гармонічних коливань, якщо в момент початку спостереження тіло перебувало в положенні рівноваги.

3. Рівняння коливань деякого тіла має вигляд:

$$x = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{4}t + \frac{\pi}{4}\right) \text{ (м).}$$

Визначте: а) амплітуду, період і частоту коливань цього тіла; б) фазу коливань, координату і швидкість руху тіла через 1 с після початку спостереження.

4. На рис. 1 і 2 наведено графіки гармонічних коливань. Для кожного випадку: а) визначте амплітуду, період і частоту коливань; б) запишіть рівняння коливань.