

РОЗДІЛ II. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ



§ 17. КОЛИВАННЯ. ВИДИ КОЛИВАНЬ. ФІЗИЧНІ ВЕЛИЧИНИ, ЯКІ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ КОЛИВАННЯ



У курсі фізики 10-го класу ви ознайомились з одним із найпоширеніших видів рухів у природі — *механічними коливаннями*. Існують також коливання зовсім іншої природи — *електромагнітні*. Хоча ці два процеси — механічні й електромагнітні коливання — є різними за своєю природою, вони мають низку спільних характерних ознак і описуються однаковими математичними законами.

1

Види коливань та умови їх виникнення

Коливання — це зміни стану системи біля певної точки рівноваги, які точно або приблизно повторюються з часом.

За характером взаємодії з навколишніми тілами та полями розрізняють *вільні коливання*, *вимушені коливання*, *автоколивання*.

Вільні коливання	Вимушені коливання	Автоколивання
<i>Вільні коливання</i> — це коливання, які відбуваються під дією внутрішніх сил системи і виникають після того, як систему виведено зі стану рівноваги. - Системи, в яких можуть виникнути вільні коливання, називають коливальними системами. - Щоб у коливальній системі виникли вільні коливання, необхідне виконання двох умов: 1) системі має бути передано енергію; 2) втрати енергії в системі мають бути незначними. Вільними, наприклад, є механічні коливання тягарця на пружині, які виникають, якщо тягарець відхилити від положення рівноваги й відпустити; електромагнітні коливання в коливальному контурі (див. § 18). - Амплітуда вільних коливань визначається початковими умовами.	<i>Вимушені коливання</i> — це коливання, які відбуваються в системі тільки під дією зовнішнього періодичного впливу. Вимушеними, наприклад, є коливання шарів повітря під час поширення звукової хвилі, періодична зміна сили струму в електричній мережі (див. § 19). - Під час вимушених коливань може виникнути явище <i>резонансу</i> — різке збільшення амплітуди коливань у разі, якщо частота зовнішнього періодичного впливу збігається з власною частотою коливань системи. - Амплітуда вимушених коливань визначається інтенсивністю зовнішнього періодичного впливу.	<i>Автоколивання</i> — це незгасаючі коливання, які відбуваються внаслідок здатності системи самостійно регулювати надходження енергії від постійного джерела. - Системи, в яких можуть виникнути автоколивання, називають автоколивальними системами. До автоколивальних систем можна віднести, наприклад, механічний годинник або генератор височастотних електромагнітних коливань (див. § 23). - Амплітуда автоколивань визначається властивостями автоколивальної системи.

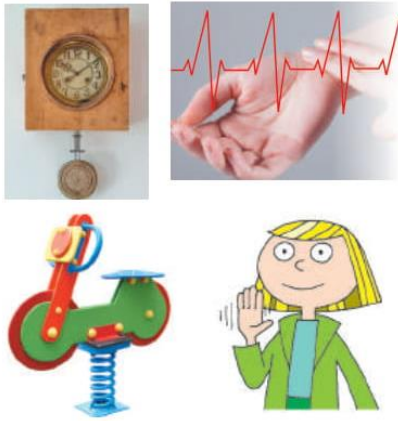


Рис. 17.1. Різні види механічних коливань

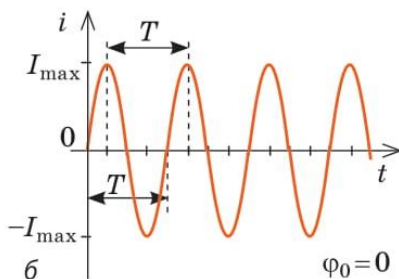
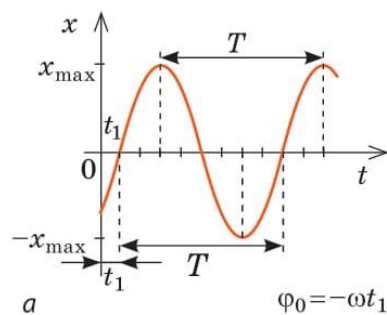


Рис. 17.2. Графіки гармонічних коливань: *а* — графік залежності координати тіла від часу: $x(t) = x_{\max} \sin(\omega t + \varphi_0)$; *б* — графік залежності сили струму від часу: $i(t) = I_{\max} \sin \omega t$. $x_{\max}$, $I_{\max}$ — амплітуди коливань; T — період коливань; φ_0 — початкова фаза коливань

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

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

? На рис. 17.1 подано різні приклади механічних коливань. Які ці коливання: вільні, вимушені? згасаючі, незгасаючі?

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 коливань є досить складними й виходять за межі шкільного курсу фізики, тому ми розглядатимемо лише окремий випадок — *гармонічні коливання*.

Гармонічні коливання — це коливання, за яких значення змінної величини змінюється з часом за гармонічним законом.

Рівняння гармонічних коливань має вигляд:

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

де x — значення змінної величини в даний момент часу t ; A — амплітуда коливань; ω — циклічна частота; φ_0 — початкова фаза коливань.

Графік залежності значення змінної величини від часу називають графіком коливань.

Графік гармонічних коливань має вигляд кривої, яку в математиці називають синусоїдою або косинусоїдою. За графіком коливань, як і за рівнянням коливань, легко визначити основні характеристики коливань (рис. 17.2).

Які фізичні величини характеризують коливання

Амплітуда коливань A — це фізична величина, яка характеризує коливання і дорівнює максимальному значенню змінної величини.

Одиниця амплітуди коливань визначається одиницею змінної величини. Так, у разі механічних коливань амплітуду розуміють як максимальне зміщення: $A = x_{\max}$ ($[x_{\max}] = 1 \text{ м}$); можна говорити також про амплітуду швидкості ($[v_{\max}] = 1 \text{ м/с}$) й амплітуду прискорення ($[a_{\max}] = 1 \text{ м/с}^2$). У разі електромагнітних коливань говорять про амплітуду сили струму ($[I_{\max}] = 1 \text{ А}$), амплітуду напруги ($[U_{\max}] = 1 \text{ В}$), амплітуду ЕРС ($[E_{\max}] = 1 \text{ В}$) тощо.

Період коливань T — фізична величина, яка характеризує коливання і 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) (s).

Частота коливань ν — фізична величина, яка характеризує коливання і чисельно дорівнює кількості повних коливань, які здійснюються за одиницю часу: $\nu = \frac{N}{t}$.

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

Циклічна частота ω — фізична величина, яка характеризує коливання і чисельно дорівнює кількості повних коливань, які здійснюються за 2π секунд: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

Одиниця циклічної частоти в СІ — радіан за секунду (рад/с, або с^{-1}) (rad/s , s^{-1}).

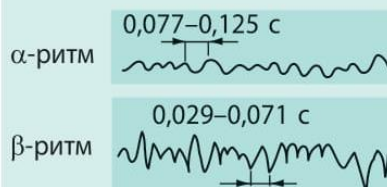
Фаза коливань φ — фізична величина, яка характеризує стан коливальної системи в даний момент часу: $\varphi = \omega t + \varphi_0$.

Фаза коливань визначається періодом коливань (оскільки $\omega = \frac{2\pi}{T}$), моментом часу t , у який фіксується значення змінної величини, та початковою фазою коливань φ_0 — фазою коливань у момент початку відліку часу.

Фізика в цифрах

Середньостатистичні періоди циклічних процесів в організмі людини

Ритми мозку — електричні коливання мозку



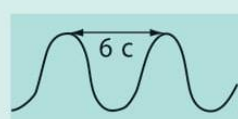
Ковтальні рухи стравоходу



Серцевий ритм



Легеневе дихання (вдих — видих)



Моторика шлунка



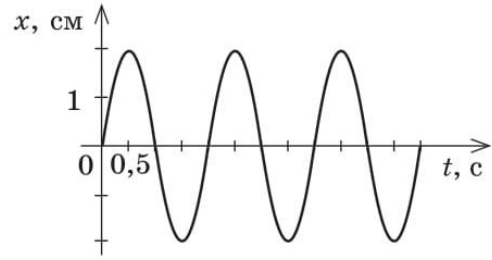
«Голодна» моторика шлунка



3

Учимося розв'язувати задачі

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



Розв'язання.

1) Амплітуду коливань (максимальне зміщення тіла) і період коливань (час, за який тіло здійснює одне коливання) визначимо за графіком:

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

Частоту і циклічну частоту коливань визначимо за відповідними формулами:

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

2) У момент початку спостереження ($t = 0$) тіло перебувало у стані рівноваги ($x_0 = 0$), тому рівняння коливань має вигляд: $x = x_{\max} \sin \omega t$. Підставивши 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:

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

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) $x = 0,02 \sin \pi t \text{ (м)}$; $v = 0,02\pi \cos \pi t \text{ (м/с)}$; 3) $x = 1 \text{ см}$; $v = 5,4 \text{ см/с}$.



Підбиваємо підсумки

- Коливання — це зміни стану системи біля певної точки рівноваги, які точно чи приблизно повторюються з часом.
- За характером взаємодії з навколишніми тілами та полями розрізняють вільні, вимушені та автоколивання: вільні коливання відбуваються під дією внутрішніх сил системи; вимушені — під дією зовнішньої сили, що періодично змінюється; автоколивання 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, називають незгасаючими; коливання, амплітуда яких із часом зменшується, — згасаючими.
- Коливання, за яких значення змінної величини змінюється з часом за гармонічним законом (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; $\omega t + \varphi_0$ — фаза коливань; φ_0 — початкова фаза.



Контрольні запитання

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



Вправа № 17

- Тіло на пружині здійснює три коливання за секунду. Максимальне відхилення тіла від положення рівноваги — 0,8 см. 1) Визначте період і циклічну частоту коливань. 2) Запишіть рівняння гармонічних коливань, якщо в момент початку відліку часу тіло перебувало в положенні рівноваги.
- Запишіть рівняння гармонічних коливань сили струму в електричній лампі, якщо амплітуда коливань становить 0,5 А, а період коливань — 0,02 с. У момент початку відліку часу сила струму в лампі максимальна.
- Рівняння коливань тіла має вигляд: $x(t) = 0,02 \cos\left(\frac{\pi}{12}t + \frac{\pi}{6}\right)$ (м). Визначте: а) амплітуду, період і частоту коливань; б) фазу коливань, координату і швидкість руху тіла через 2 с після початку спостереження.
- На рис. 1 і рис. 2 наведено графіки гармонічних коливань. Для кожного випадку: а) визначте амплітуду, період і частоту коливань; б) запишіть рівняння коливань.

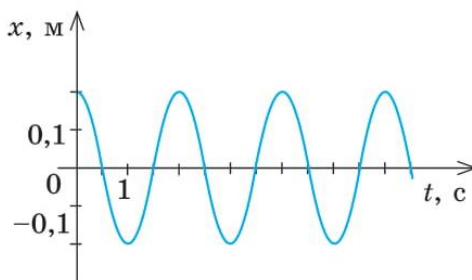


Рис. 1

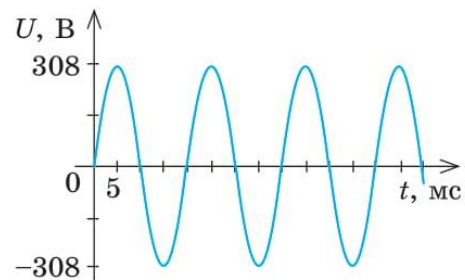


Рис. 2



Експериментальне завдання

Складіть пристрій (див. рис. 3). На паперову смужку нанесіть шар клейстеру (його можна виготовити з борошна й води) або шпалерного клею. Закрийте пальцем нижній отвір підвішеного конуса, насипте в конус сухий річковий пісок (або дрібну сіль, пшоно).

Відведіть конус від положення рівноваги та відпустіть. Одночасно почніть переміщувати паперову смужку так, як показано на рис. 3. Висипаючись, пісок залишить на смужці слід у вигляді хвилястої лінії. На одержаному «графіку гармонічних коливань» зазначте амплітуду коливань і виміряйте її. Виміряйте кількість коливань конуса за деякий час t , визначте період коливань і швидкість, із якою ви тягнули смужку. Запишіть рівняння коливань.

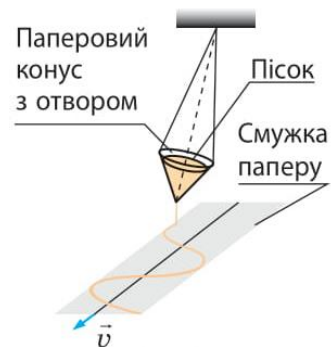


Рис. 3