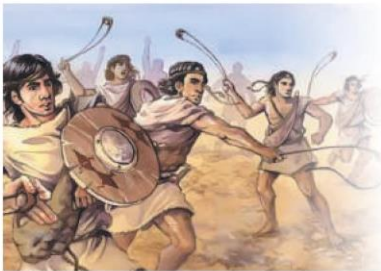




§ 8. РІВНОМІРНИЙ РУХ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ ПО КОЛУ



У давнину воїни користувалися пращею — простою, але дуже цікавою за принципом дії зброєю для метання каменів, ядер тощо: у мотузку (або смугу шкіри) вкладали «снаряд», розкручували мотузку по коловій траєкторії і в певний момент часу відпускали один кінець — «снаряд» прямував до цілі. А чому випущений із праці камінь не продовжує рухатися по колу, а поводитьься так, ніби його кинули в певному напрямку з дуже великою швидкістю? Про це та про інші особливості руху по колу ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1

Якими є особливості криволінійного руху

Рух по колу — це *криволінійний рух*, а будь-який криволінійний рух набагато складніший за прямолінійний.

- По-перше, у разі криволінійного руху змінюються щонайменше дві координати тіла.
- По-друге, безперервно змінюється напрямок вектора миттєвої швидкості: цей вектор завжди збігається з дотичною до траєкторії руху тіла в точці, що розглядається, й напрямлений у бік руху тіла (рис. 8.1, 8.2).
- По-третє, криволінійний рух — це завжди рух із прискоренням: навіть якщо модуль швидкості залишається незмінним, напрямок швидкості безперервно змінюється.



Якою може бути траєкторія руху каменя, який воїн випускає з праці? У який момент воїн має відпустити кінець мотузки, щоб камінь полетів якнайдалі?

2

Що таке лінійна швидкість

Скалярну фізичну величину, яка характеризує криволінійний рух і дорівнює середній шляховій швидкості, виміряній за нескінченно малий інтервал часу, називають **лінійною швидкістю руху тіла**:

$$v = \frac{\Delta l}{\Delta t}, \text{ якщо } \Delta t \rightarrow 0$$

Оскільки для дуже малих інтервалів часу модуль переміщення (Δs) наближається до довжини ділянки траєкторії (Δl) (див. рис. 8.1), **лінійна швидкість у даній точці дорівнює модулю миттєвої швидкості**.

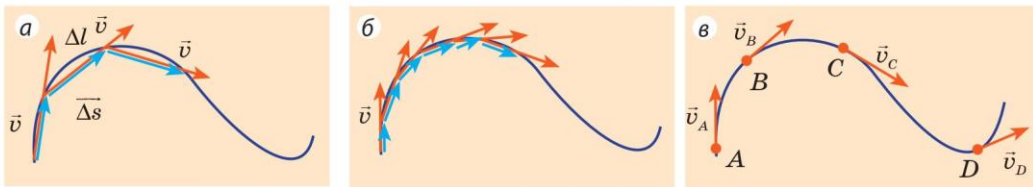


Рис. 8.1. Розбиваючи траєкторію руху тіла на дедалі менші ділянки Δl , бачимо, що вектор швидкості все більше наближається до дотичної (а, б). У даній точці миттєва швидкість напрямлена вздовж дотичної до траєкторії руху тіла (в)



Рис. 8.2. Швидкості руху іскор феєрверка, бризок з-під коліс автомобіля, металевих ошурок напрямлені по дотичній до кола. Саме в цьому напрямку частинки продовжують свій рух після відриву

Саме лінійну швидкість мають на увазі, коли, наприклад, характеризують рух автомобіля на повороті, коли описують рух частинки в прискорювачі, коли йдеться про швидкість польоту штучних супутників Землі тощо.

Із часом лінійна швидкість може залишатися незмінною, а може змінюватися. Залежно від цього у фізиці розглядають *рівномірний криволінійний рух* (рух із незмінною лінійною швидкістю) і *нерівномірний криволінійний рух* (рух зі змінною лінійною швидкістю).

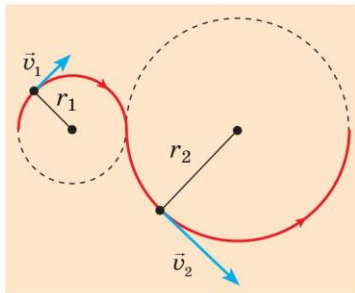


Рис. 8.3. У кожній точці колової траєкторії швидкість руху напрямлена уздовж дотичної до кола, тобто перпендикулярно до радіуса кола

У разі *рівномірного криволінійного руху* за будь-які рівні інтервали часу тіло долає однаковий шлях, тому *лінійну швидкість руху тіла можна визначити за формулою:*

$$v = \frac{l}{t},$$

де l — шлях, пройдений тілом; t — час руху.

Описувати криволінійний рух досить складно, адже різних форм криволінійних траєкторій — безліч. Однак практично будь-яку складну криволінійну траєкторію можна подати як сукупність дуг різних радіусів, а криволінійний рух розглядати як рух по колу (рис. 8.3). Розглянемо найпростіший вид криволінійного руху — *рівномірний рух по колу*.

3 Які фізичні величини характеризують рівномірний рух по колу

Рівномірний рух тіла по колу — це такий криволінійний рух, за якого траєкторією руху тіла є коло, а лінійна швидкість руху не змінюється з часом.

Із курсу фізики 7 класу ви знаєте, що рівномірний рух по колу досить часто є періодичним рухом, а отже, характеризується такими фізичними величинами, як *період* і *частота*.

Період обертання T — фізична величина, що дорівнює інтервалу часу, за який тіло здійснює один оберт: $T = \frac{t}{N}$ (N — кількість обертів, здійснених тілом за інтервал часу t). **Одиниця періоду обертання в СІ — секунда:** $[T] = 1 \text{ с}$.

Обертота частота n — фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості обертів за одиницю часу: $n = \frac{N}{t}$. *Одиниця обертотвої частоти в СІ —*

оберт за секунду: $[n] = 1 \frac{\text{об}}{\text{с}} = \text{с}^{-1} \left(\frac{\text{р}}{\text{с}}, \text{s}^{-1} \right)$.

Період і обертота частота є *взаємно оберненими величинами*: $T = \frac{1}{n}$.

За періодом обертання та радіусом колової траєкторії легко визначити **лінійну швидкість** v рівномірного руху тіла по колу. Дійсно, за час одного обертуту ($t = T$) тіло долає відстань, що дорівнює довжині кола: $l = 2\pi r$. Оскільки $v = l/t$, маємо:

$$v = \frac{2\pi r}{T} \quad (1)$$

Для характеристики руху тіла по колу окрім лінійної швидкості часто використовують *кутову швидкість*.

Кутота швидкість — це фізична величина, яка чисельно дорівнює куту повороту радіуса за одиницю часу:

$$\omega = \frac{\varphi}{t},$$

де ω — кутота швидкість; φ — кут повороту радіуса за інтервал часу t (рис. 8.4).

Одиниця кутотвої швидкості в СІ —
радіан за секунду: $[\omega] = 1 \frac{\text{рад}}{\text{с}} = 1 \text{с}^{-1} \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}}, \text{s}^{-1} \right)$.

За час, що дорівнює одному періоду ($t = T$), радіус виконує один оберт ($\varphi = 2\pi$), тому кутотву швидкість можна обчислити за формулою:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2)$$

Із формул (1) і (2) випливає, що кутота і лінійна швидкості пов'язані співвідношенням:

$$v = \omega r$$

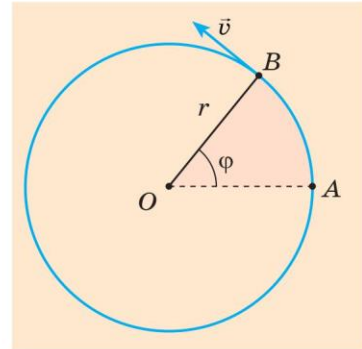


Рис. 8.4. Рівномірний рух тіла по колу: r — радіус кола; \vec{v} — вектор миттєвої швидкості в точці B ; φ — кут повороту радіуса

4 Чому в разі рівномірного руху тіла по колу прискорення називають доцентровим

Нагадаємо, що будь-який криволінійний рух — це завжди рух із прискоренням, оскільки напрямок миттєвої швидкості безперервно змінюється.

Визначимо напрямок прискорення під час рівномірного руху тіла по колу. За означенням $\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$, тому напрямки векторів прискорення та зміни швидкості збігаються ($\vec{a} \uparrow \Delta \vec{v}$).

Отже, визначимо напрямок вектора зміни швидкості $\Delta \vec{v}$ (рис. 8.5, а). Бачимо, що вектор $\Delta \vec{v}$ напрямлений усередину кола; вектор прискорення \vec{a} теж напрямлений усередину кола. Доведемо,

Перенесемо вектор \vec{v} паралельно самому собі так, щоб він виходив із точки A , і знайдемо різницю векторів $(\vec{v} - \vec{v}_0)$ — вектор зміни швидкості $(\Delta\vec{v})$

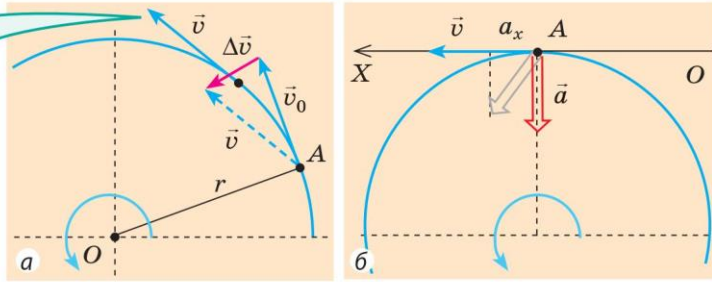


Рис. 8.5. Визначення напрямку прискорення рівномірного руху тіла по колу

що вектор \vec{a} напрямлений безпосередньо до центра кола, тобто вздовж радіуса. Оскільки миттєва швидкість \vec{v} руху тіла напрямлена по дотичній, а дотична перпендикулярна до радіуса r , потрібно довести, що $\vec{a} \perp \vec{v}$.

Доведення здійснимо методом від супротивного. Припустимо, що вектор прискорення \vec{a} не є перпендикулярним до вектора миттєвої швидкості \vec{v} (сіра стрілка на рис. 8.5, б). Однак у такому випадку швидкість руху тіла буде збільшуватися, якщо $a_x > 0$, і зменшуватися, якщо $a_x < 0$, — отже, йдеться про нерівномірний рух, тоді як ми розглядаємо рівномірний рух. Таким чином, наше припущення було хибним. Отже, $\vec{a} \perp \vec{v}$.

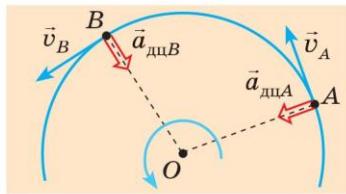


Рис. 8.6. У випадку рівномірного руху по колу прискорення руху тіла в даній точці завжди напрямлене до центра кола (є перпендикулярним до миттєвої швидкості)

У разі рівномірного руху тіла по колу:

- вектор прискорення напрямлений до центра кола — саме тому прискорення рівномірного руху тіла по колу називають *доцентровим прискоренням* $\vec{a}_{\text{дц}}$ (рис. 8.6);
- модуль доцентрового прискорення обчислюють за формулами:

$$a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r}^* ; a_{\text{дц}} = \omega^2 r ,$$

де v — лінійна швидкість; r — радіус кола; ω — кутова швидкість.



Підбиваємо підсумки

- У разі криволінійного руху вектор миттєвої швидкості збігається з дотичною до траєкторії руху тіла, напрямок миттєвої швидкості безперервно змінюється, тому криволінійний рух — це завжди рух із прискоренням. Криволінійний рух, під час якого траєкторією руху тіла є коло, а лінійна швидкість не змінюється з часом, називають *рівномірним рухом по колу*.

- У разі рівномірного руху тіла по колу:

— миттєва швидкість перпендикулярна до радіуса кола, за модулем

дорівнює лінійній швидкості та обчислюється за формулами: $v = \frac{l}{t}$; $v = \frac{2\pi r}{T}$, де T — період обертання; r — радіус кола;

* Спробуйте отримати цю формулу самостійно або скористайтеся додатковими джерелами інформації.

— кутова швидкість ω чисельно дорівнює куту φ повороту радіуса за одиницю часу t , обчислюється за формулами $\omega = \frac{\varphi}{t}$; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ і пов'язана з лінійною швидкістю v співвідношенням $v = \omega r$;

— прискорення є доцентровим ($\vec{a}_{\text{дц}}$), тобто напрямлене до центра кола; його модуль обчислюють за формулами: $a_{\text{дц}} = \frac{v^2}{r}$; $a_{\text{дц}} = \omega^2 r$.



Контрольні запитання

1. Чи може тіло рухатися криволінійною траєкторією без прискорення? Доведіть ваше твердження.
2. Як у разі криволінійного руху напрямлений вектор миттєвої швидкості?
3. Які фізичні величини описують рівномірний рух тіла по колу? Дайте їм характеристики.
4. Яким співвідношенням пов'язані кутова і лінійна швидкості руху? Виведіть це співвідношення.
5. Доведіть, що в разі рівномірного руху по колу прискорення напрямлене до центра цього кола.
6. За якими формулами визначають доцентрове прискорення?



Вправа № 8

1. Для чого поверх коліс велосипеда надівають щитки?
2. На рис. 1 показано траєкторію автомобіля, який рухається з незмінною швидкістю. У якій із зазначених точок траєкторії доцентрове прискорення автомобіля найбільше? найменше?

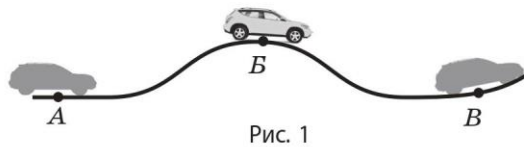


Рис. 1

3. Автомобіль рухається зі швидкістю 36 км/год по опуклому мосту з радіусом кривизни 30 м. Чому дорівнює і куди напрямлене прискорення руху автомобіля?
4. Хлопчик і дівчинка рівномірно рухаються по колах різного радіуса: $r_2 = 1,5r_1$ (рис. 2). У скільки разів швидкість руху хлопчика повинна бути більшою за швидкість руху дівчинки, щоб вони весь час перебували на одному радіусі? У скільки разів будуть відрізнятися прискорення їхніх рухів?
5. Точка на ободі колеса велосипеда рухається з прискоренням 100 м/с^2 , радіус колеса — 0,4 м. З якою швидкістю рухається велосипед? Скільки обертів за хвилину здійснює колесо? Вважайте, що $\pi^2 = 10$.
6. Хвилинна стрілка годинника втричі довша за секундну. У скільки разів більше прискорення руху кінця секундної стрілки?
7. З якою швидкістю має летіти літак над екватором Землі, щоб для людей у літаку Сонце не змінювало свого положення на небосхилі?

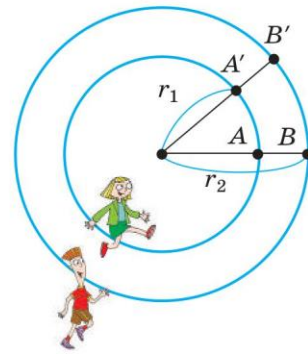


Рис. 2



Експериментальне завдання

Визначте доцентрове прискорення, лінійну та кутову швидкості руху точки на диску мікрохвильової печі (іграшкового автомобіля, міксеру тощо). Які вимірювання вам необхідно здійснити, щоб виконати це завдання?