

РОЗДІЛ І.
ФІЗИЧНІ ОСНОВИ МЕХАНІКИ

Лекція №2. Вступ до механіки. Елементи кінематики

1. Предмет механіки.
2. Класична, релятивістська та квантова механіки
3. Фізичні моделі механіки
4. Простір та час. Системи відліку
5. Переміщення, шлях. Рівняння руху матеріальної точки
6. Швидкість та прискорення
7. Нормальне та тангенціальне прискорення
8. Поступальний та обертальний рухи. Рух по колу

1. Предмет механіки.

Механіка – це розділ фізики, який вивчає найбільш просту і найбільш загальну форму руху матерії – механічний рух.

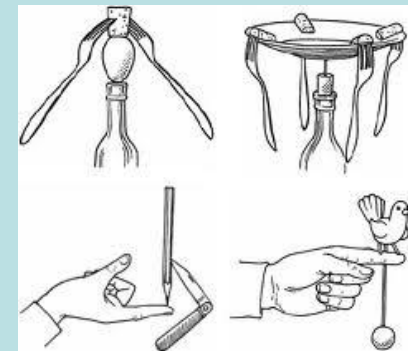
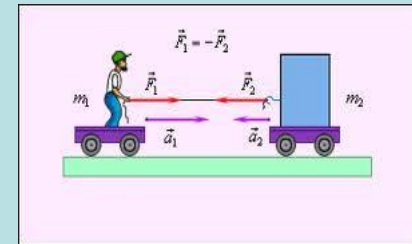
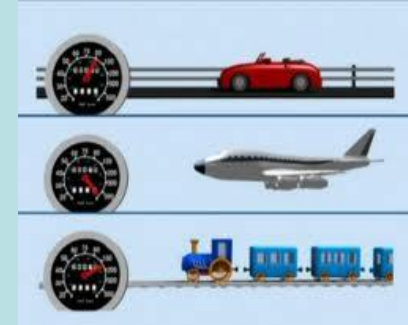


Під *механічним рухом* тіла розуміють зміну положення тіла (або його частин) в просторі і часі по відношенню до інших тіл (або інших частин тіла).



Механіку поділяють на три частини, це:

- **кінематика** – вивчає рух тіл без виявлення причин, що його зумовили;
- **динаміка** – вивчає закони руху тіл і причини, що зумовили цей рух;
- **статика** – вивчає закони рівноваги тіл або системи тіл (більш детально вивчається у курсі теоретичної механіки).



2. Класична, релятивістська та квантова механіки.

В залежності від швидкості і розмірів тіл, рух яких вивчають, виділяють:

- *класичну механіку (механіку Галілея-Ньютона)* – вивчає рух макроскопічних тіл, що рухаються зі швидкостями значно меншими швидкості світла;
- *релятивістську механіку (механіку Ейнштейна)* – вивчає рух тіл зі швидкостями порівняними зі швидкістю світла;
- *квантову механіку (хвильову механіку)* – вивчає рух мікроскопічних тіл (окремих атомів і елементарних частинок).

3. Фізичні моделі механіки

Основним принципом сучасної фізики є принцип моделювання.

Модель – це абстрактний об'єкт, що має основні властивості реального об'єкту (матеріальна точка, точковий заряд, ідеальна рідина, абсолютно чорне тіло тощо).

Моделювання – це процес заміни опису реального об'єкту (як правило надзвичайно складного) набагато простішим описом адекватної моделі, що дає змогу значно спростити процес його фізичного аналізу.

Для описання механічного руху та розв'язання основної задачі кінематики вводять такі основні фізичні моделі та поняття:

- *матеріальна точка (МТ)* — це тіло, що має масу, але розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати;



- *абсолютно тверде тіло (АТТ)* — тіло, деформацією якого за даних умов можна знехтувати;
- *суцільне середовище* — тверді тіла, рідини та гази, молекулярною будовою яких нехтують за даних умов.



4. Простір та час. Системи відліку.

Для фізики та інших природничих наук поняття *простору* та *часу* є основними.

Простір виражає відокремленість об'єктів та їхню протяжність.

Час характеризує послідовність існування явищ і відокремленість різних стадій розвитку, тривалість, періодичність та швидкість процесів.

В *класичній механіці*, за концепцією І. Ньютона, поняття простору та часу мають абсолютний характер, незалежний від матеріальних об'єктів.

Абсолютний простір – безмежна порожнеча, нерухома і проникна, безперервна, однорідна, ізотропна.

Абсолютний час – безвідносний до будь-чого зовнішнього, безперервний і однорідний, плине рівномірно в одному напрямі від минулого до майбутнього.

З розвитком науки змінюються уявлення про простір і час.

Теорія відносності А. Ейнштейна привела до заміни класичної концепції простору і часу новою концепцією, згідно якої, *простір і час* – відносні, органічно пов'язані між собою і з рухом матерії. Матерія, рух, простір і час розглядають як одне ціле.

Оскільки рух тіл відбувається у просторі і у часі, то для його описання необхідно знати, в яких місцях простору і в які моменти часу це тіло знаходилось.

Положення тіла визначають відносно якогось-небудь іншого, довільно вибраного тіла – *тіла відліку*.

Сукупність просторової системи координат і годинника, пов'язаних з тілом відліку, називають *системою відліку*.

Система відліку

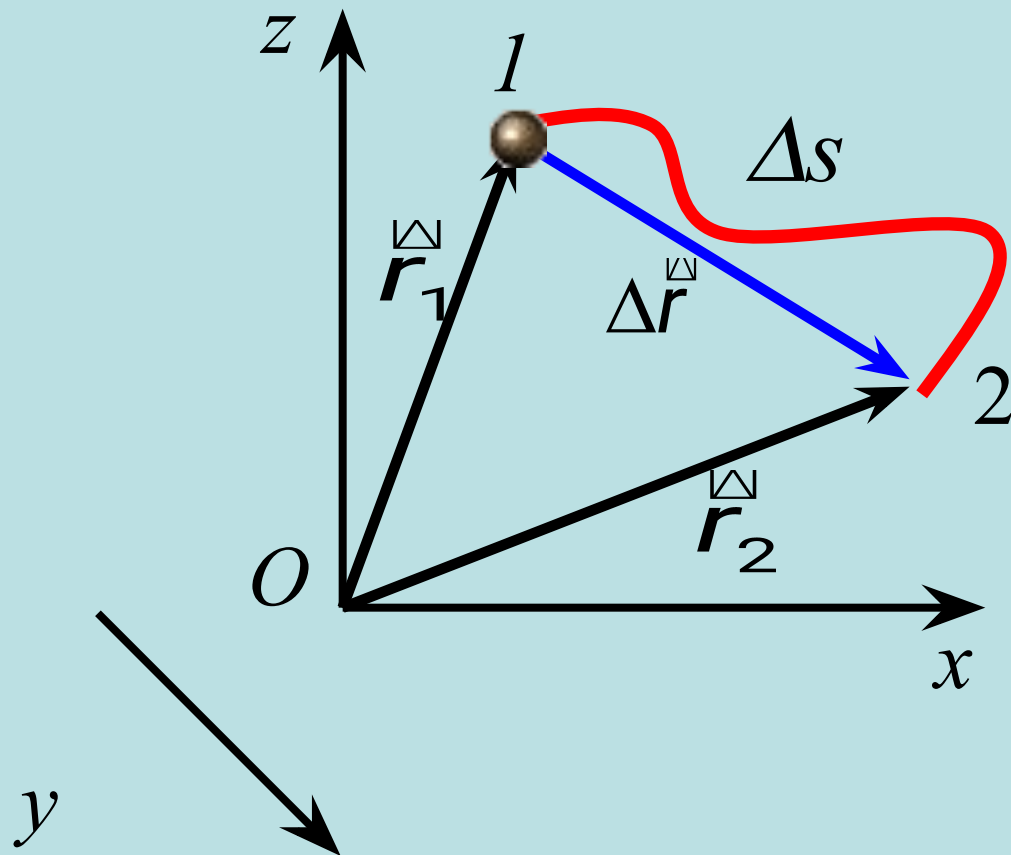




5. Переміщення, шлях. Рівняння руху матеріальної точки.

При вивченні руху тіл, найбільш часто використовують декартову прямокутну систему координат.

Положення точки у просторі в декартовій системі координат визначають трьома координатами x , y , z або радіус-вектором \vec{r} , проведеним з початку координат у дану точку (на рисунку, наприклад, \vec{r}_1 – радіус-вектор точки 1).



Рух точки в просторі описують рівнянням руху, характеризують переміщенням, швидкістю і прискоренням.

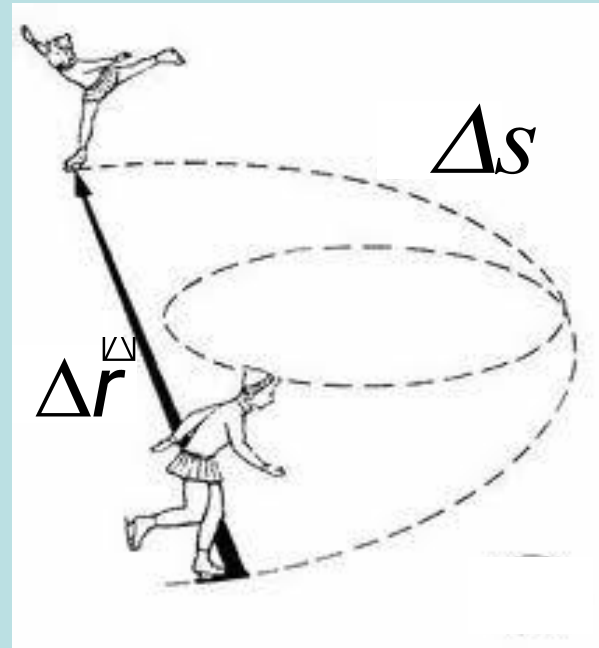
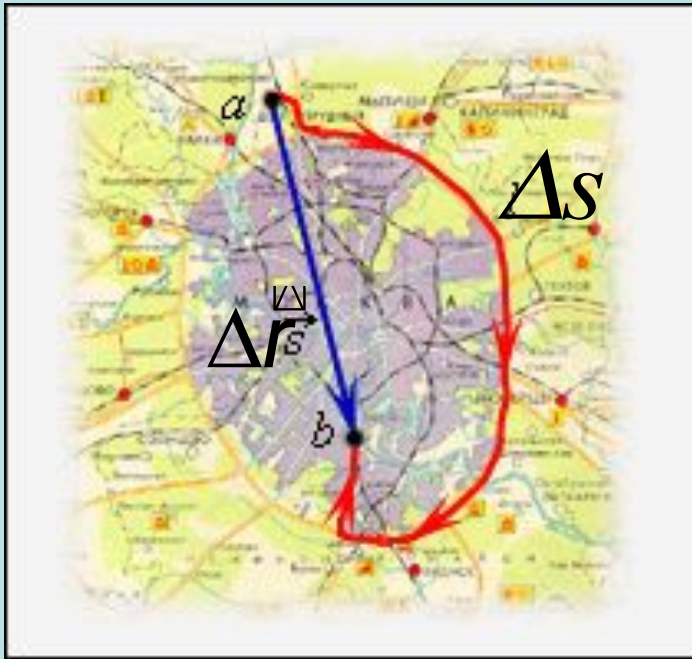
Основною задачею кінематики є визначення положення тіла у просторі відносно інших тіл у даний момент часу.

Рівняння руху – математичний вираз, який чітко дозволяє визначити місцеположення тіла у просторі в даний момент часу:

$$\left. \begin{aligned} x &= x(t) \\ y &= y(t) \\ z &= z(t) \end{aligned} \right\}, \quad \text{або} \quad \underline{\underline{r}} = \underline{\underline{r}}(t).$$

Переміщення $\Delta \vec{r}$ – це векторна фізична величина, що являє собою радіус-вектор, проведений із точки початку руху тіла (точка 1) у точку кінця руху (точка 2),

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2 + (\Delta z)^2}, \quad [r] = \text{м}$$



Лінію, вздовж якої тіло рухається, називають *траєкторією*.

Шлях – скалярна фізична величина, що дорівнює довжині лінії траєкторії руху тіла, $[S]=м$.





6. Швидкість та прискорення

Для характеристики інтенсивності зміни тілом свого положення у просторі з часом вводять поняття швидкості.

Середньою швидкістю називають векторну фізичну величину, що чисельно дорівнює відношенню переміщення до проміжку часу, за який це переміщення було здійснене:

$$\vec{v}_{\text{сер}} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}, \quad [v] = \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Якщо визначити швидкість у даний момент часу, тобто взяти границю від $\overset{\Delta}{v}_{сер}$ при $\Delta t \rightarrow 0$, то будемо мати *миттєву* швидкість:

$$\overset{\boxtimes}{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\overset{\Delta}{\Delta r}}{\Delta t} \quad \text{або} \quad \overset{\boxtimes}{v} = \frac{dr^{\Delta}}{dt}.$$

Миттєвою швидкістю називають векторну фізичну величину, що чисельно дорівнює зміні переміщення з часом:

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}, \quad [v] = \frac{m}{c}.$$

У випадку, коли $\Delta t \rightarrow 0$, Δr і Δs (переміщення і шлях) майже співпадають, тоді маємо:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} \text{ або } v = \frac{ds}{dt}, \text{ а } v_{\text{сеп}} = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$



Для характеристики інтенсивності зміни швидкості тіла з часом вводять поняття прискорення.

Прискорення – це векторна фізична величина, що характеризує зміну швидкості з часом:

$$\vec{a}_{\text{сер}} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} \quad (\text{середнє прискорення})$$

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}, \quad \vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}, \quad \vec{a} = \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} \quad (\text{миттєве прискорення});$$

$$[a] = \frac{m}{c^2}.$$

Знаючи кінематичне рівняння руху, шляхом диференціювання за часом можна знайти швидкість і прискорення в будь-який момент часу (*пряма задача кінематики*).

Навпаки, знаючи прискорення точки, а також початкові умови (положення r_0 і швидкість v_0 в початковий момент часу $t_0=0$), можна знайти переміщення і траєкторію руху точки у момент часу t (*обернена задача кінематики*).

Дійсно, із формул швидкості і прискорення випливає, що $dv = a \cdot dt$ і $dr = v \cdot dt$ тоді:

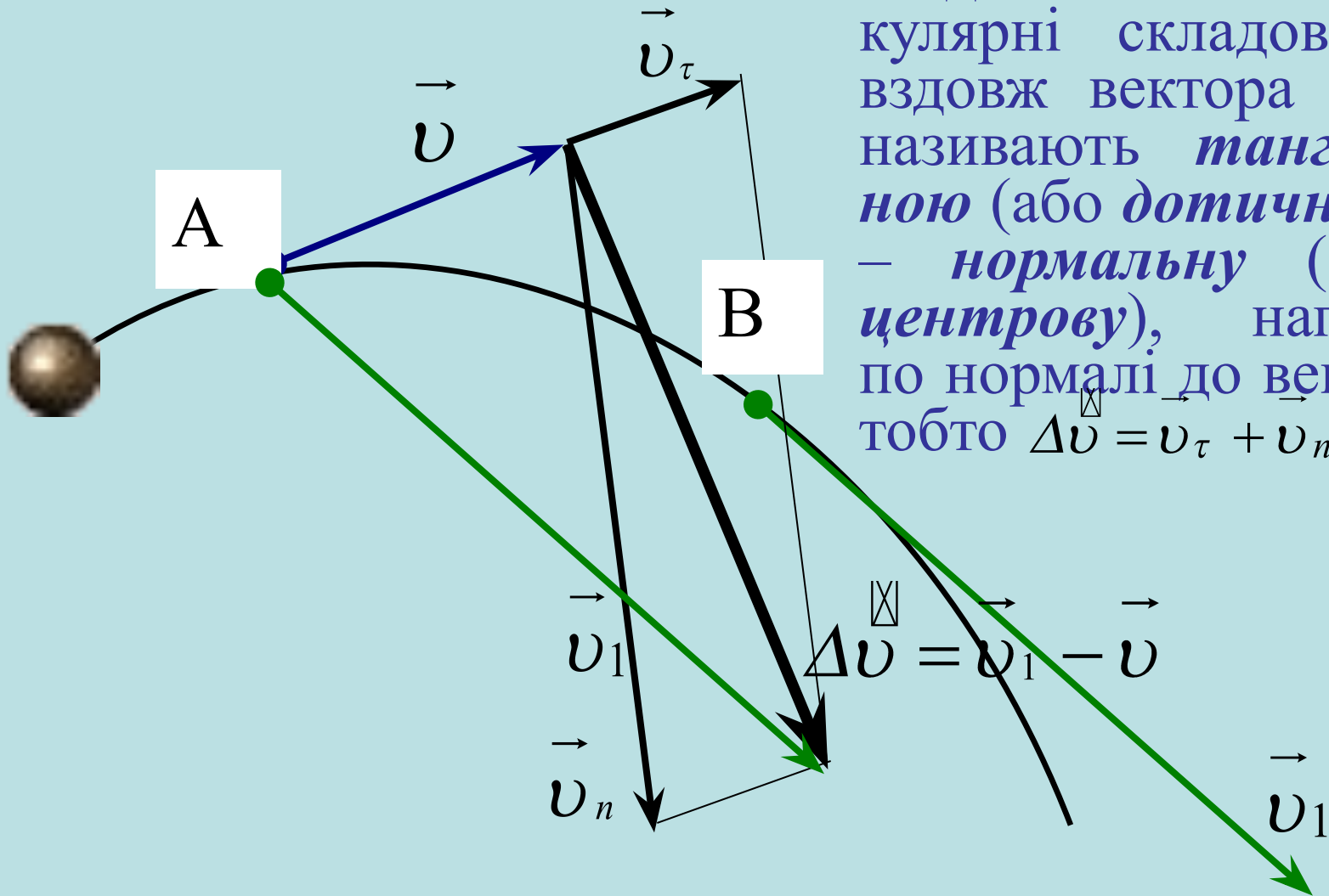
$$v(t) = v_0 + \int_0^t a \cdot dt, \quad r(t) = r_0 + \int_0^t v \cdot dt.$$

7. Нормальне і тангенціальне прискорення

Розглянемо матеріальну точку, що рухається вздовж довільної траєкторії зі змінною швидкістю.



Нехай точка в положенні А в момент часу t має швидкість \vec{v} . За час Δt рухома точка перейде в положення В і набуде швидкості \vec{v}_1 . Перенесемо вектор \vec{v}_1 у точку А і знайдемо зміну швидкості $\Delta \vec{v} = \vec{v}_1 - \vec{v}$. Розкладемо вектор зміни швидкості $\Delta \vec{v}$ на дві взаємно перпендикулярні складові: v_τ – вздовж вектора \vec{v} , яку називають *тангенціальною* (або *дотичною*), і v_n – *нормальну* (або *доцентрову*), направлену по нормалі до вектора \vec{v} , тобто $\Delta \vec{v} = v_\tau + v_n$



Прискорення може виникнути при зміні швидкості не лише за величиною, але і за напрямом, тому прискорення (або повне прискорення) має дві складові:

- *тангенціальне прискорення* характеризує зміну швидкості за величиною і направлене по дотичній до траєкторії руху точки:

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt}, \text{ або } a_{\tau} = \frac{d^2 r}{dt^2};$$

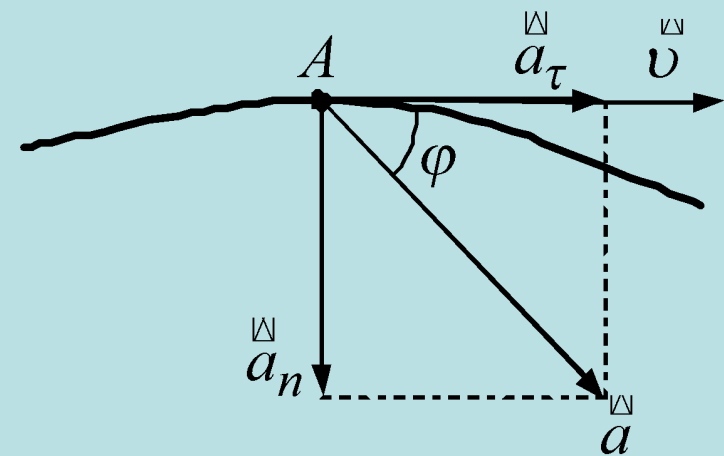
- *нормальне прискорення* характеризує зміну швидкості за напрямком і направлене до центру кривизни траєкторії у даний момент часу:

$$a_n = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t}, \text{ або } a_n = \frac{v^2}{R},$$

де R – радіус кривизни траєкторії.

Загальне (повне) прискорення визначається за теоремою Піфагора:

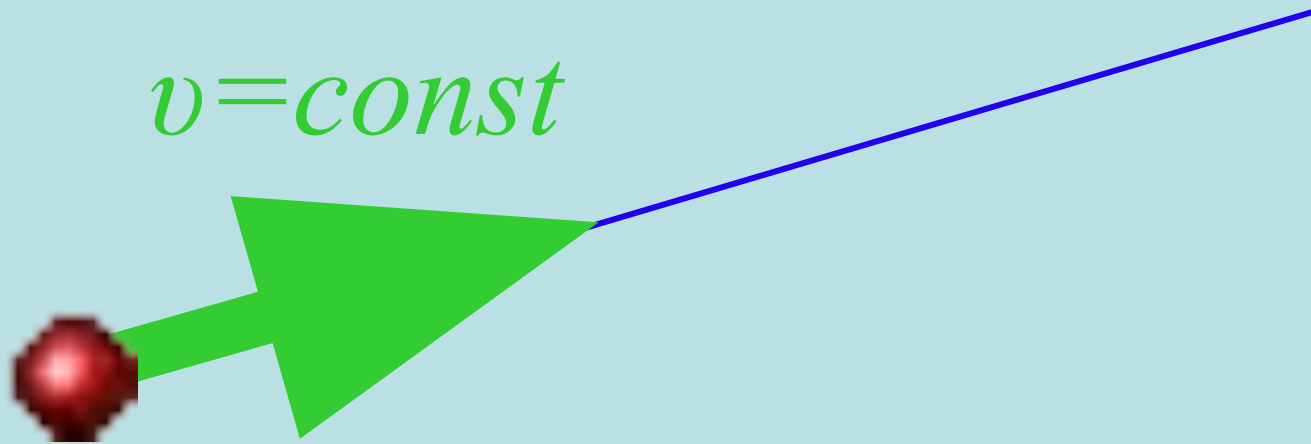
$$a = \sqrt{a_n^2 + a_{\tau}^2}.$$



Розрізняють такі види руху:

1) прямолінійний рівномірний рух:

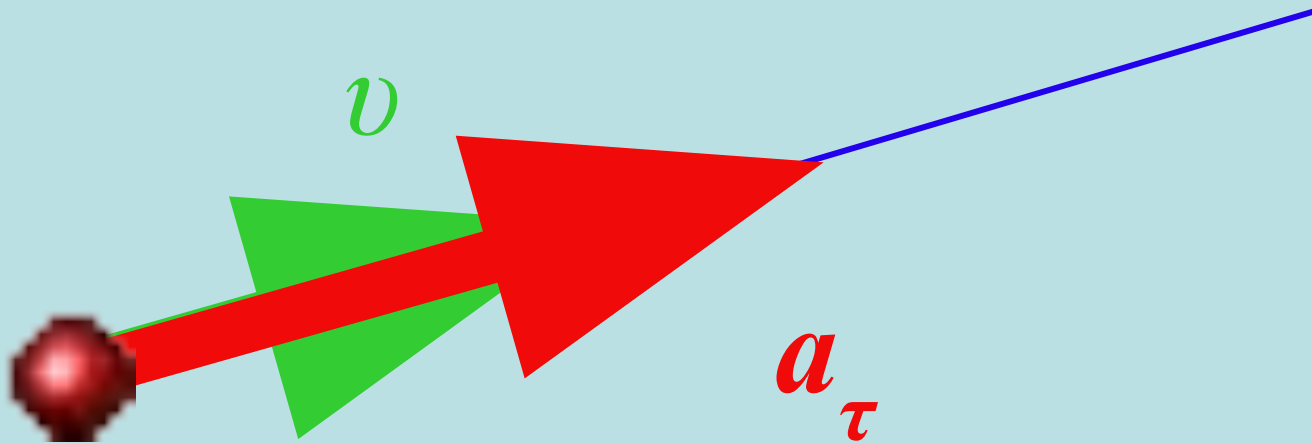
$$\vec{v} = const, \vec{a}_\tau = 0, \vec{a}_n = 0$$



$$v = \frac{|\Delta r|}{t} = \frac{s}{t}, \quad s = v \cdot t.$$

2) прямолінійний рівнозмінний (рівноприскорений або рівносповільнений) рух:

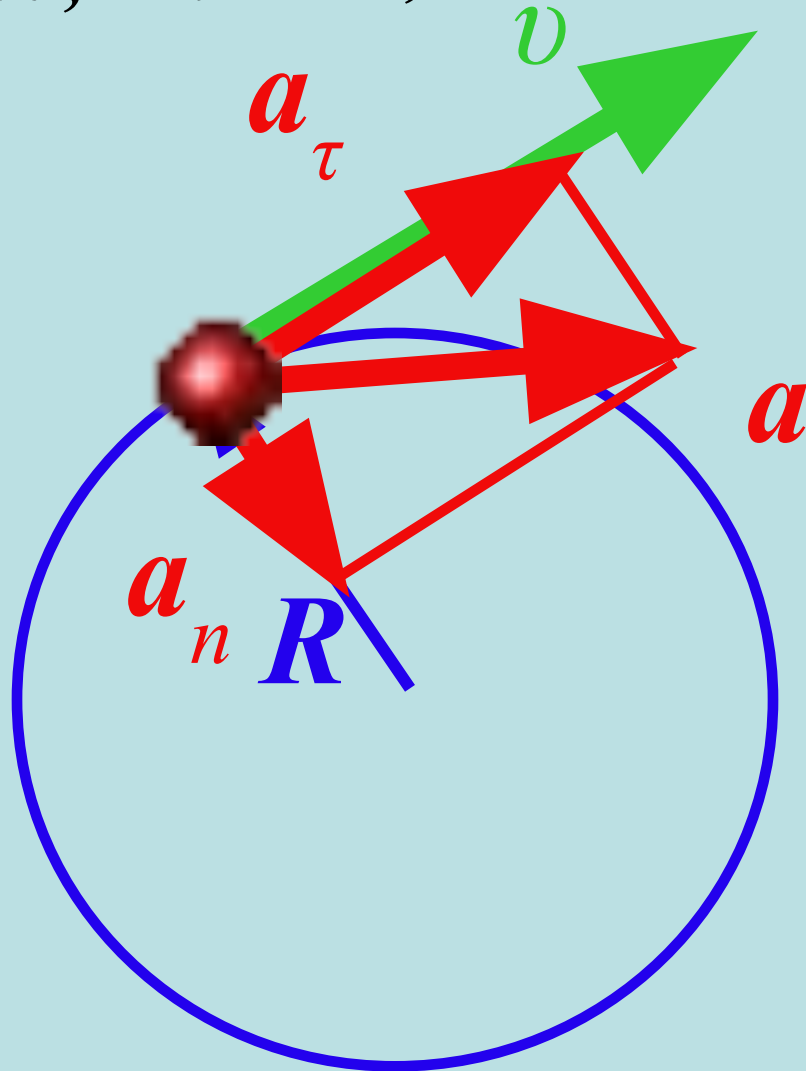
$$\vec{v} \neq \text{const}, \vec{a}_n = 0, \vec{a}_\tau = \vec{a} = \text{const}$$



$$\vec{r} = \vec{r}_0 + \vec{v}_0 t + \frac{\vec{a} \cdot t^2}{2}.$$

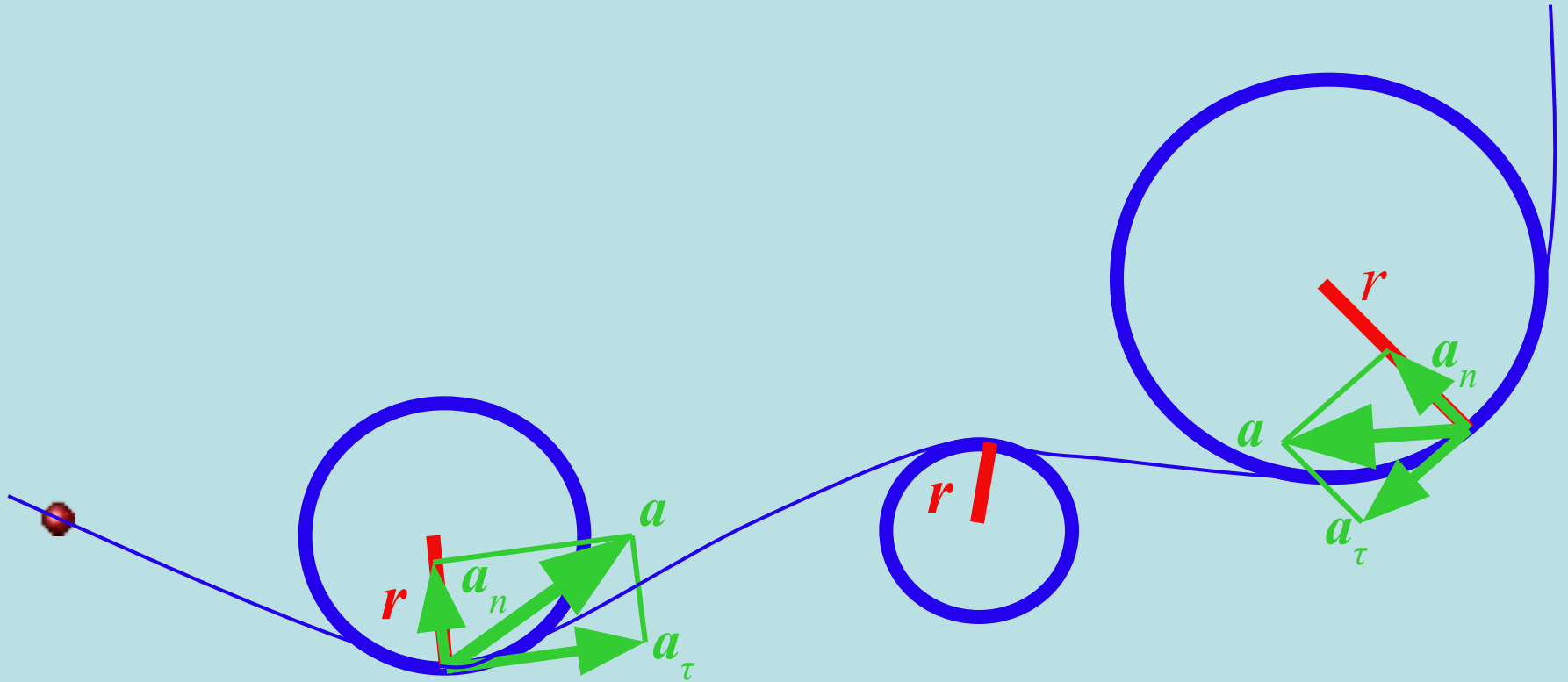
3) рівномірний рух по колу:

$$\vec{v} \neq \text{const}, \quad \vec{a}_\tau = 0, \quad \vec{a}_n = \text{const} = \frac{v^2}{R}$$



4) криволінійний рівнозмінний рух :

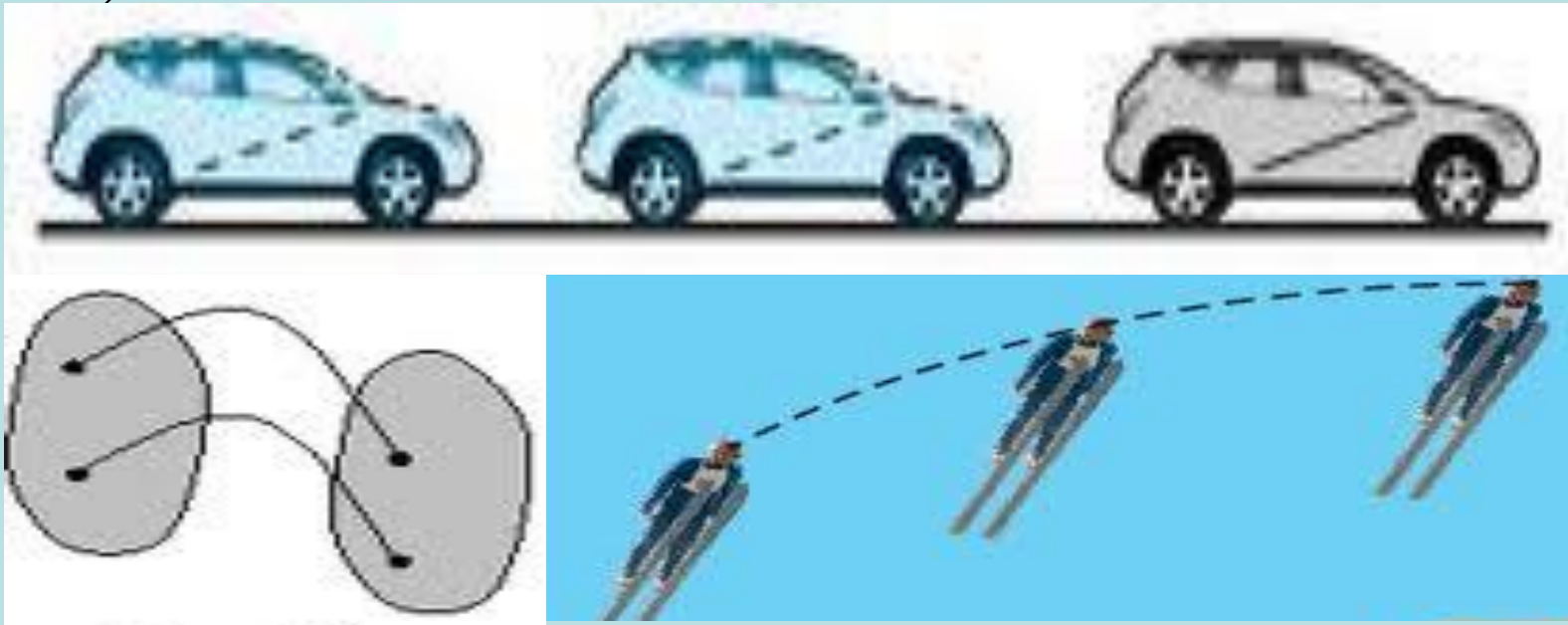
$$\vec{v} \neq \text{const}, \quad \vec{a}_\tau \neq 0, \quad \vec{a}_n \neq 0$$



Будь-яку криволінійну траєкторію руху тіла можна розкласти на прямолінійні ділянки та ділянки, що є частинами кіл різного радіусу.

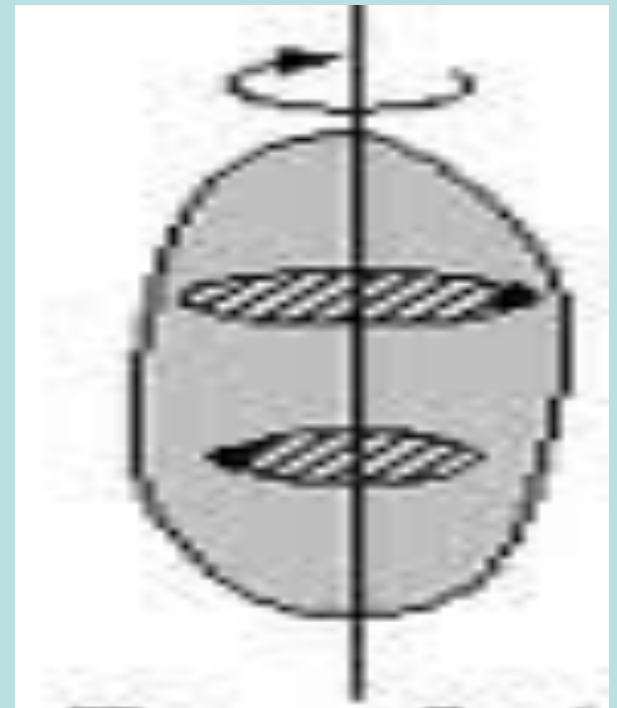
8. Поступальний та обертальний рухи. Рух по колу.

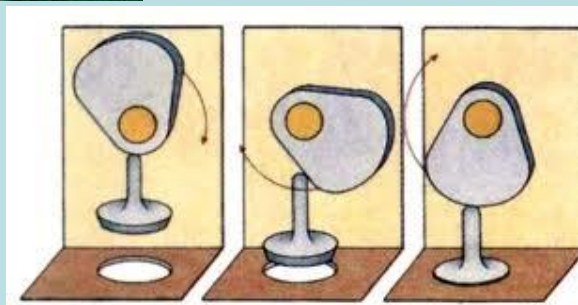
Поступальний рух – рух абсолютно твер-дого тіла (АТТ), при якому пряма лінія, що спо-лучає дві довільні точки тіла, залишається па-ралельною сама собі, тобто всі точки тіла опи-сують паралельні траєкторії та мають однакові швидкості і прискорення в даний момент часу (рух АТТ можна розглядати як рух МТ).



Обертальний рух – рух абсолютно твердого тіла (АТТ), при якому всі точки тіла описують траєкторії у вигляді концентричних кіл, центри яких лежать на одній прямій, яку називають *віссю обертання*.

Площини, в яких знаходяться кола, є паралельними між собою та перпендикулярними до осі обертання.





Положення в просторі абсолютно твердого тіла, що здійснює обертальний рух, визначають *кутовим переміщенням* $\Delta\varphi$ – значенням кута повороту навколо осі обертання із деякого умовно вибраного початкового положення цього тіла.

Обертання навколо нерухомої осі здійснюють ротори турбін, електричних генераторів і двигунів, колісні вали двигунів внутрішнього згоряння і т. д.



Кінематичною характеристикою напрямку і швидкості обертання тіла є кутова швидкість.

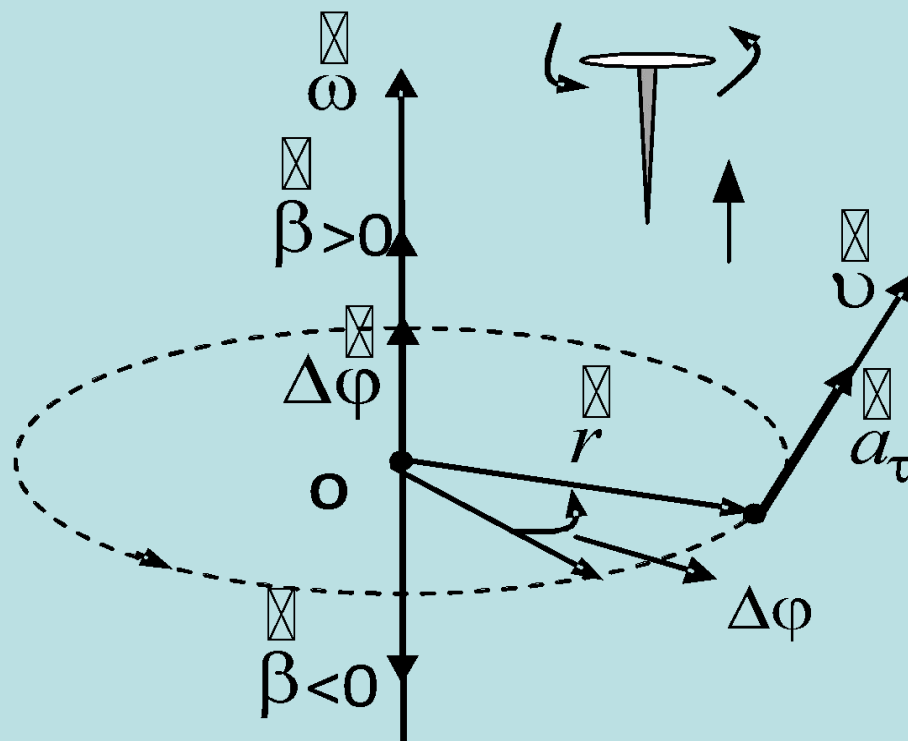
Кутовою швидкістю називають векторну величину, що чисельно дорівнює зміні кутового переміщення з часом:

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}, \quad [\vec{\omega}] = \frac{\text{рад}}{c}.$$

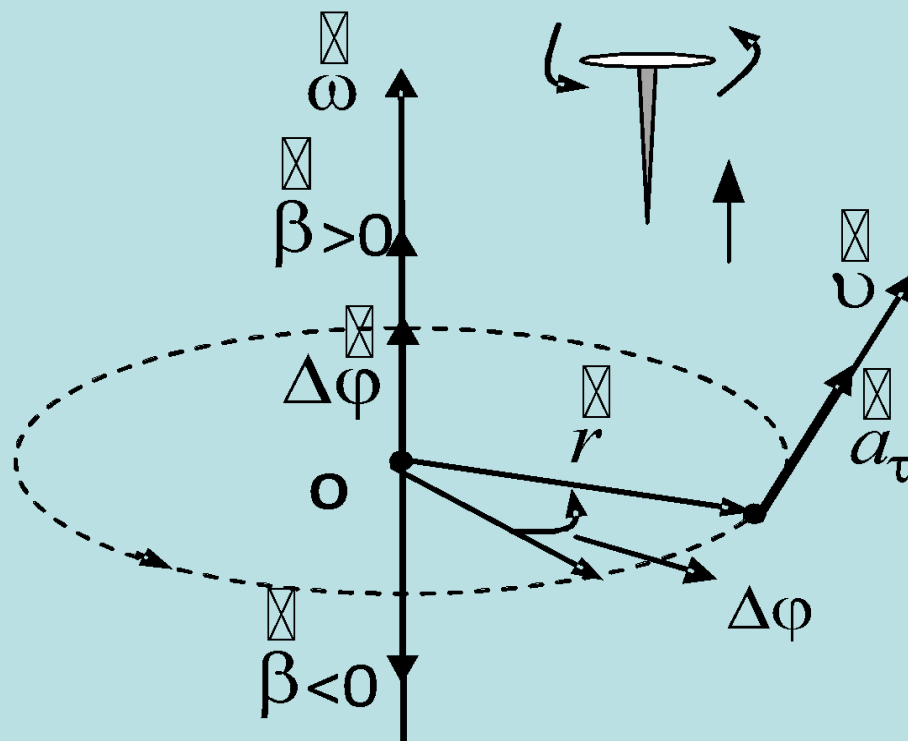
Кутовим прискоренням називають векторну величину, що чисельно дорівнює зміні кутової швидкості з часом:

$$\vec{\beta} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\omega}}{dt}, \quad [\vec{\beta}] = \frac{\text{рад}}{c^2}.$$

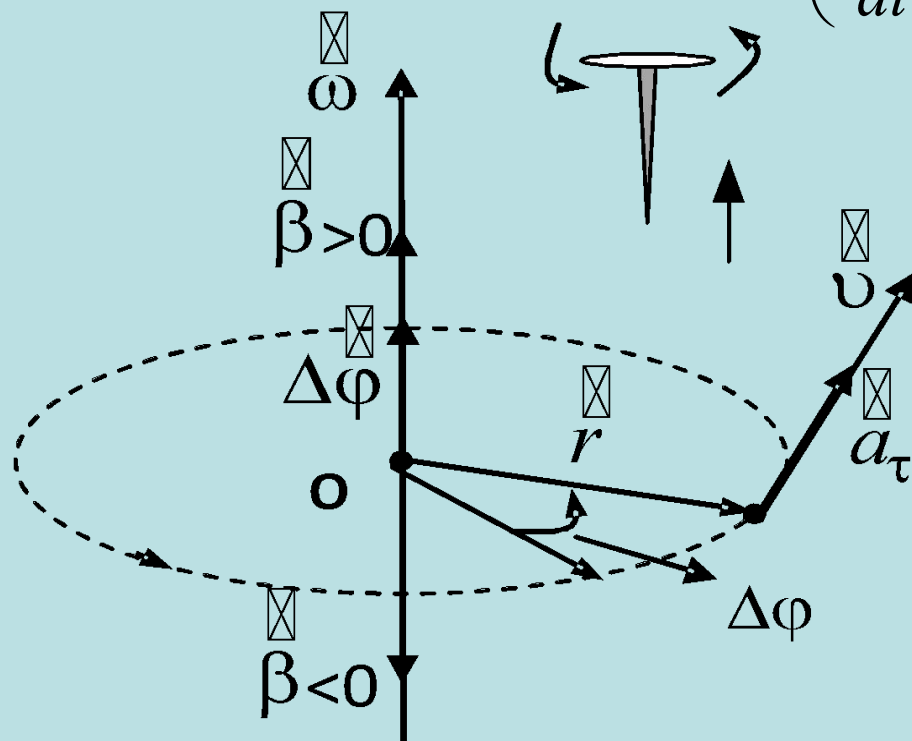
Кутове прискорення $\vec{\beta}$ і кутова швидкість $\vec{\omega}$ є *псевдовекторами*, оскільки на відміну від векторів переміщення, швидкості, прискорення й інших істинних (полярних) векторів, напрями яких очевидні, напрям вектора кутового переміщення пов'язується із напрямком обертання, а отже такий вектор є *аксіальним*, або *псевдовектором*.



Напрямок вектора кутового переміщення $\vec{\varphi}$ і кутової швидкості $\vec{\omega}$ визначають за **правилом правого гвинта**: напрям вектора кутового переміщення φ або кутової швидкості ω мають збігатися з поступальним рухом гвинта, якщо його головку повертати в напрямі обертання тіла.



Вектор кутового прискорення $\vec{\beta}$ направлений вздовж осі обертання в напрямку вектора приросту кутової швидкості: у той самий бік, що й $\vec{\omega}$, при прискореному обертанні $\left(\frac{d\omega}{dt} > 0\right)$ і в протилежний бік – при сповільненому обертанні $\left(\frac{d\omega}{dt} < 0\right)$.



Величини, що описують лінійні і кутові характеристики руху пов'язані між собою формулами зв'язку:

$$r = R \cdot \varphi,$$

$$v = R \cdot \omega,$$

$$a_{\tau} = R \cdot \beta,$$

$$a_n = R \cdot \omega^2.$$

Періодом обертання називають час, протягом якого тіло здійснює один повний оберт

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

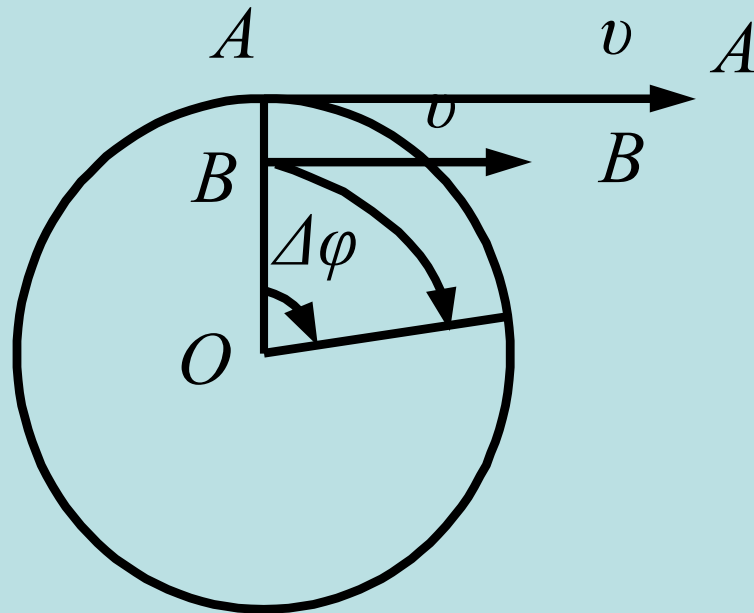
Оскільки тіло, що рівномірно обертається з кутовою швидкістю ω , за час T повертається на кут $\phi = 2\pi$, то

$$T = \frac{2\pi}{\omega}, \quad [T] = c.$$

Частотою обертання називають кількість обертів, що робить тіло за одиницю часу:

$$\nu = \frac{N}{t} = \frac{\omega}{2\pi}, \quad \omega = 2\pi\nu, \quad [\nu] = \text{Гц}.$$

Поширеною різновидністю криволінійного руху є *рух точки по колу*. При обертанні кількох жорстко зв'язаних точок, наприклад A і B , вони мають різні лінійні швидкості, але всі точки за проміжок часу Δt зміщуються на той самий кут $\Delta\varphi$, тобто обертаються з однаковою кутовою швидкістю ω .



Лекція №2. Вступ до механіки. Елементи кінематики.

1. Предмет механіки.
2. Класична, релятивістська та квантова механіки.
3. Фізичні моделі механіки.
4. Простір та час. Системи відліку.
5. Переміщення, шлях. Рівняння руху матеріальної точки.
6. Швидкість та прискорення.
7. Нормальне та тангенціальне прискорення.
8. Поступальний та обертальний рухи. Рух по колу.