

# КУРС ЗАГАЛЬНОЇ ФІЗИКИ

ЛЕКЦІЯ 1

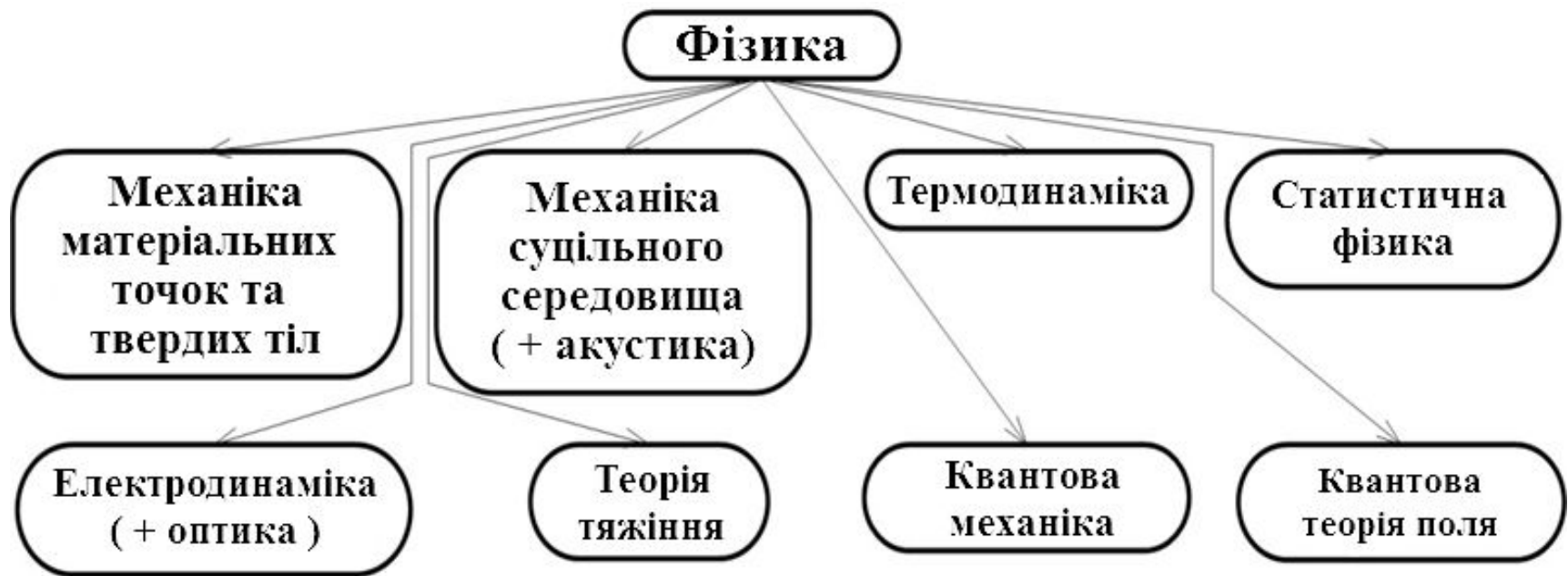
МЕХАНІЧНИЙ РУХ.

КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ.

# ФІЗИКА. ЩО ЦЕ?

**Фізика** (від грец. physis - природа) - це наука, що вивчає найпростіші і разом з тим найбільш загальні властивості і закони руху оточуючих нас об'єктів матеріального світу.

# РОЗДІЛИ ФІЗИКИ



# МЕХАНІКА. ФІЗИЧНІ МОДЕЛІ

**Механіка** - це наука про механічний рух, що полягає в переміщенні матеріальних тіл або їх частин одна відносно одної, і про те як відбуваються при цьому русі взаємодії між тілами.

Механіку ділять на кінематику, статику і динаміку. ***Кінематика*** - це вчення про геометричні властивості руху тіл. ***Статика*** - це вчення про рівновагу тіл під дією сил. ***Динаміка*** - це вчення про рух тіл під дією сил.

При вивченні руху матеріальних тіл в механіці використовують такі фізичні моделі:

- 1) ***матеріальна точка*** (м.т.) - це тіло, розмірами якого в умовах даної задачі можна знехтувати;
- 2) ***абсолютно тверде тіло*** - це система матеріальних точок, відстань між якими не змінюється в процесі руху (нехтують деформаціями тіла);
- 3) ***суцільне середовище*** - це середовище, яке можна розглядати як безперервне, нехтуючи її дискретною атомно-молекулярною будовою.

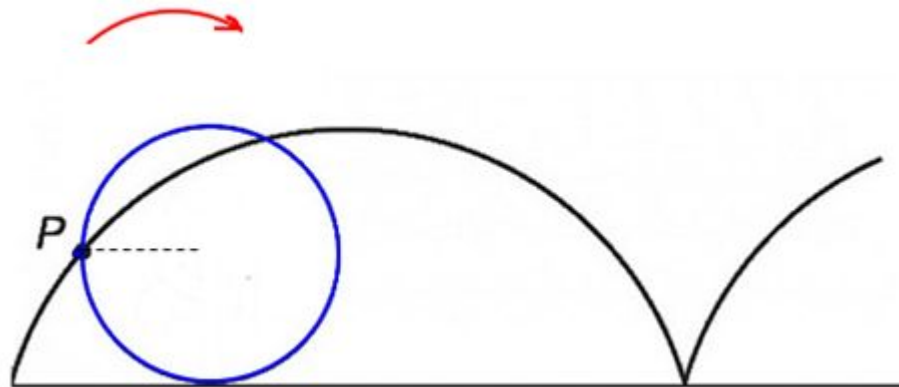
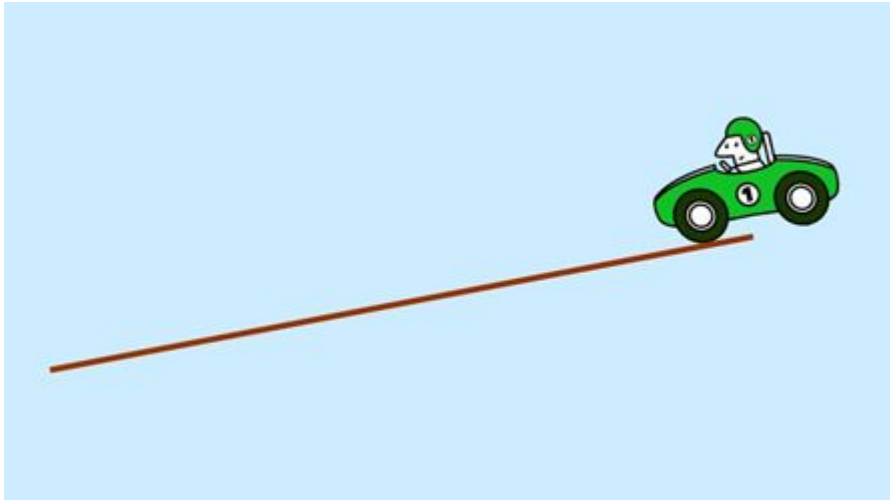
# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

**Траєкторія** - це лінія, яку описує матеріальна точка при своєму русі.

**Шлях** - це відстань, яку проходить м.т. при своєму русі.

**Переміщення** - це вектор, що сполучає початкове положення м.т. з її кінцевим положенням. Відзначимо, що до кинематическим характеристикам руху відносять радіус-вектор, швидкість, прискорення, шлях, час і ін.

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ



# КІНЕМАТИКА

## МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

**Радіус-вектор м.т.** - це вектор, проведений з початку декартової системи координат в точку простору, де знаходиться м.т. в даний момент часу.

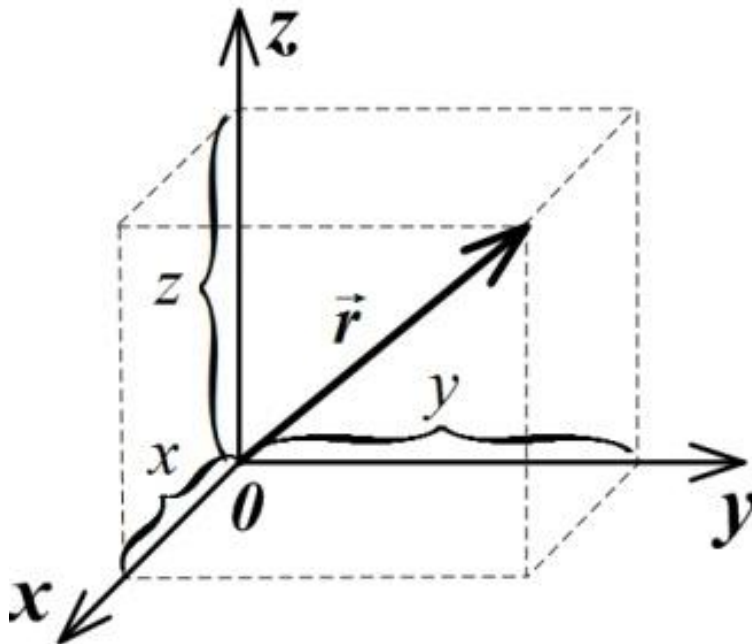
Проекції радіус-вектора на осі системи координат дорівнюють координатам  $x$ ,  $y$ ,  $z$  м.т., Тобто

$$r_x = x; r_y = y; r_z = z.$$

Т.ч., радіус-вектор матеріальної точки можна представити у вигляді:

$$\vec{r} = r_x \cdot \vec{i} + r_y \cdot \vec{j} + r_z \cdot \vec{k}$$

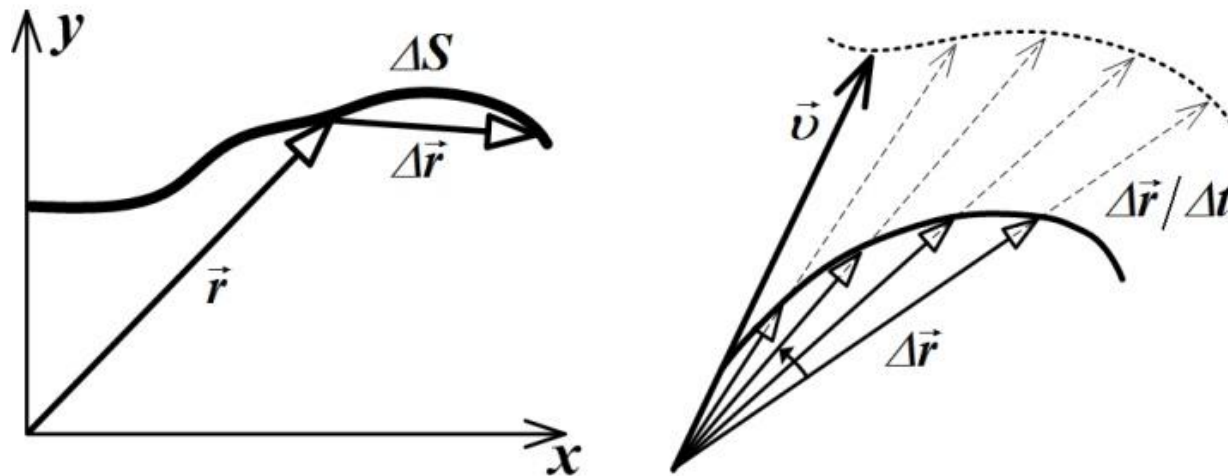
$\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  орт осей  $x, y$  і  $z$



# КІНЕМАТИКА

## МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

При русі матеріальної точки радіус-вектор змінюється як за напрямком, так і по величині. Зафіксуємо деякий момент часу  $t$ , якому відповідав би радіус-вектор  $\vec{r}$ . Протягом елементарного інтервалу часу  $\Delta t$  м.т. проходить елементарний шлях  $\Delta S$  і отримує елементарне прирощення  $\Delta \vec{r}$ . Розглянемо вектор  $\Delta \vec{r} / \Delta t$ . Якщо  $\Delta t$  наближається до  $0$ , то зазначений вектор перестає змінюватися як за напрямком, так і за величиною:





# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

**Швидкість** м.т. в даний момент часу -це:

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt}$$

**Напрямок вектора швидкості** визначає дотична до траєкторії м.т. у відповідний момент часу.

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Модуль швидкості м.т. запишеться виразом:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{|\Delta \vec{r}|}{\Delta t}$$

В випадку, якщо  $\Delta t$  наближається до  $0$ , модуль переміщення стає рівним пройденого шляху за той же інтервал часу, а значить:

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}$$

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Улитка	1,5	мм/сек	5,4	м/час
Черепаша	20	”	70	”
Рыба	1	м/сек	3,6	км/час
Пешеход	1,4	”	5	”
Конница шагом	1,7	”	6	”
Конница рысью	3,5	”	12,6	”
Муха	5	”	18	”
Лыжник	5	”	18	”
Конница карьером	8,5	”	30	”
Теплоход с подводными крыльями	16	”	58	”
Заяц	18	”	65	”
Орел	24	”	86	”
Охотничья собака	25	”	90	”
Поезд	28	”	100	”
Автомобиль ЗИЛ-111	50	”	170	”
Гоночный автомобиль (рекорд)	174	”	633	”
ТУ-104	220	”	800	”
Звук в воздухе	330	”	1200	”
Легкий реактивный самолет	550	”	2000	”
Земля по орбите	30000	”	108000	”

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Аналогічно визначенню швидкості м.т. можна записати її прискорення:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

Т.ч., *швидкість м.т.* - це стрімкість зміни радіус-вектора м.т.;  
*прискорення м.т.* - це стрімкість зміни швидкості м.т. З огляду на вираз для радіуса вектора м.т., Швидкість і прискорення можуть бути представлені у вигляді:

$$\vec{v} = \frac{dr_x}{dt} \cdot \vec{i} + \frac{dr_y}{dt} \cdot \vec{j} + \frac{dr_z}{dt} \cdot \vec{k}, \quad \vec{a} = \frac{d^2 r_x}{dt^2} \cdot \vec{i} + \frac{d^2 r_y}{dt^2} \cdot \vec{j} + \frac{d^2 r_z}{dt^2} \cdot \vec{k}.$$

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Середньою швидкістю і середнім прискоренням називають векторні величини, що визначаються як

$$\langle \vec{v} \rangle = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

і

$$\langle \vec{a} \rangle = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

## Нормальне і тангенціальне прискорення. Радіус кривизни траєкторії

Розглянемо криволінійний рух м.т. При цьому уявімо швидкість м.т. У вигляді  $\vec{v} = v \cdot \vec{\tau}$  где  $\vec{\tau}$  –

орт дотичної до траєкторії м.т., спрямований в той же бік, що і швидкість. Тоді прискорення м.т. може бути записано як

$$\vec{a} = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau} + v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt} \text{ где}$$

$$\vec{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \cdot \vec{\tau}$$

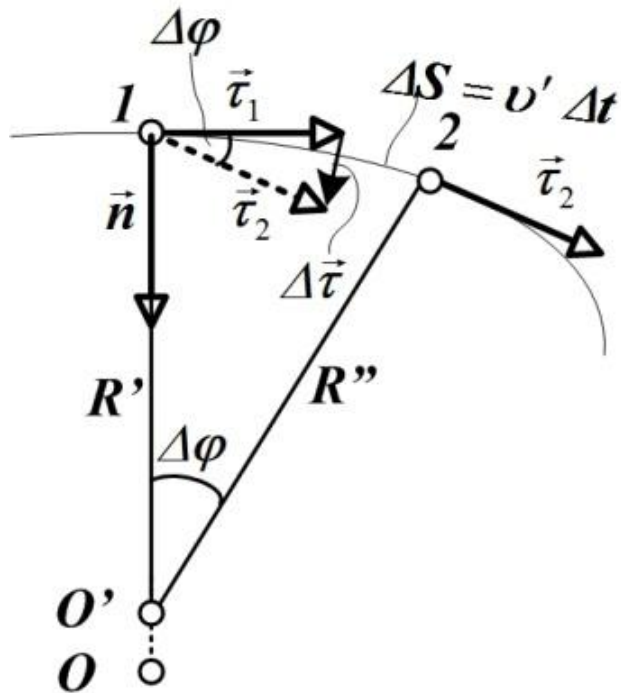
- тангенціальне прискорення

$$\vec{a}_n = v \cdot \frac{d\vec{\tau}}{dt} \text{ - нормальне прискорення}$$

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

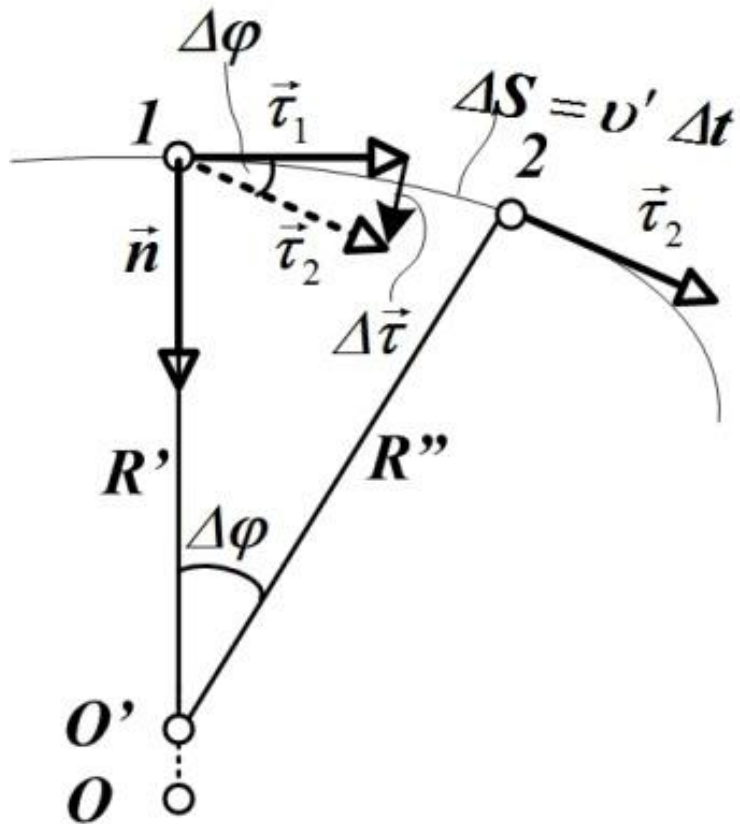
**Тангенціальне прискорення** - це фізична величина, яка характеризує швидкість зміни величини швидкості

Визначимо чим обумовлена складова нормального прискорення  $d\vec{\tau}/dt$



Розглянемо рух м.т. по плоскій кривій. Нехай м.т. переміщується з положення 1 в положення 2. Побудуємо в цих точках одиничні вектори  $\vec{\tau}_1$  і  $\vec{\tau}_2$ , спрямовані по дотичній до траєкторії. Далі до вказаних векторів проведемо перпендикуляри, що перетинаються в т.  $O'$ . Якщо т. 2 наближати до т. 1, то т.  $O'$  зміщуватиметься і в межі виявиться в положенні т.  $O$ . При цьому відстані  $R'$  і  $R''$  будуть наближатися до спільного межі  $R$ .

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ



Величина, що дорівнює

$$R = \lim_{\Delta\varphi \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta\varphi} = \frac{dS}{d\varphi}$$

називається **радіусом кривизни траєкторії**



# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

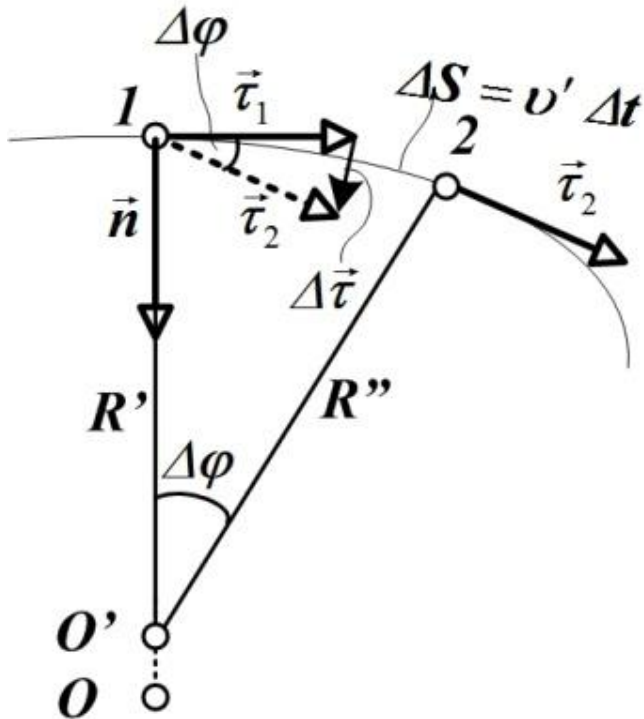
Точка  $O$  називається центром кривизни траєкторії в т. 1. Якщо т.1 і т.2 розташовані нескінченно близько одна до одної, то можна записати  $\Delta\phi = \Delta S / R$ .

Відзначимо, що вектори  $\overset{\boxtimes}{\tau}_1$  і  $\overset{\boxtimes}{\tau}_2$  - одиничні, а значить при русі м.т. вони можуть змінюватися лише за напрямком. Тоді в разі нескінченно близького розташування точок 1 і 2 вектори  $\overset{\boxtimes}{\tau}_1$  і  $\overset{\boxtimes}{\tau}_2$  в межі стануть паралельні. Значить і вектор в межі виявиться перпендикулярним до  $\overset{\boxtimes}{\Delta\tau}$ . Введемо вектор  $\overset{\boxtimes}{n}$  - орт нормалі до траєкторії, спрямований до центру кривизни траєкторії. У межі можна записати, що

$$\overset{\boxtimes}{\Delta\tau} = |\overset{\boxtimes}{\Delta\tau}| \cdot \overset{\boxtimes}{n} \approx \Delta\phi \cdot \overset{\boxtimes}{n}.$$

# КІНЕМАТИКА МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

Звідси  $\frac{\Delta \vec{\tau}}{\Delta t} \approx \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} \cdot \vec{n}$ , а значит  $\frac{d \vec{\tau}}{d t} = \frac{d \varphi}{d t} \cdot \vec{n}$ .



Зауважимо, що  $(\Delta \varphi / \Delta t) \approx (v' / R')$ , де  $v'$  - середня швидкість м.т. за час  $\Delta t$ . У межі  $R' \rightarrow R$ , а  $v' \rightarrow v$ , де  $v$  - миттєва швидкість м.т. в положенні 1. Тоді

$$\frac{d \vec{\tau}}{d t} = \frac{d \varphi}{d t} \cdot \vec{n} = \frac{v}{R} \cdot \vec{n}$$

Значить нормальне прискорення дорівнюватиме

$$\vec{a}_n = \frac{v^2}{R} \cdot \vec{n}$$

# КІНЕМАТИКА

## МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ

**Нормальне прискорення** - це фізична величина, яка характеризує зміну напрямку швидкості.

З огляду на вище сказане, прискорення м.т. записують у вигляді

$$\mathbf{a} = \mathbf{a}_\tau + \mathbf{a}_n,$$

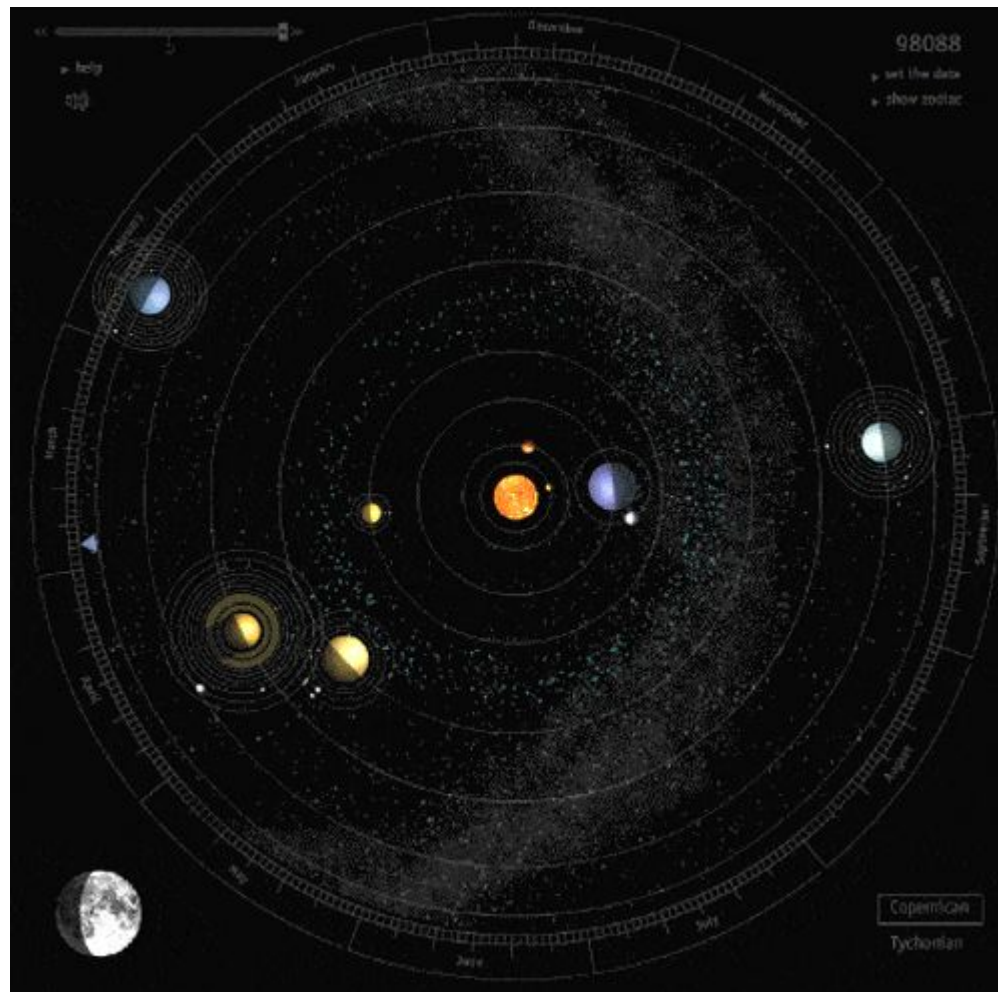
а модуль даного прискорення визначають як

$$a = \sqrt{|\mathbf{a}_\tau|^2 + |\mathbf{a}_n|^2}.$$

# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



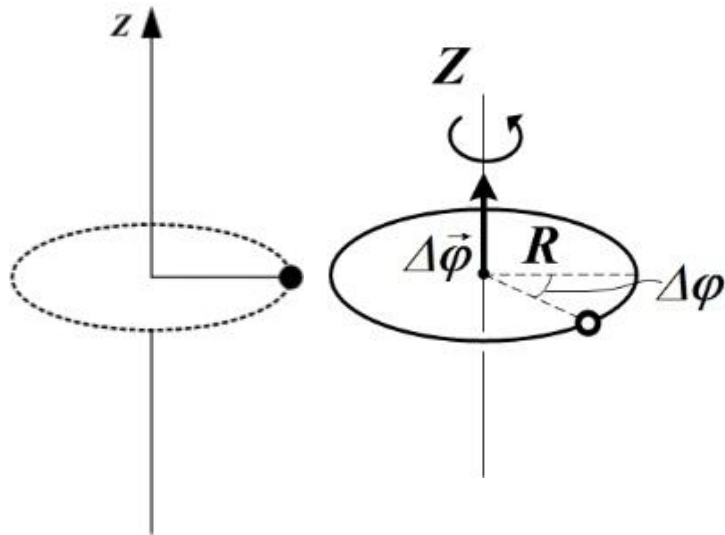
# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



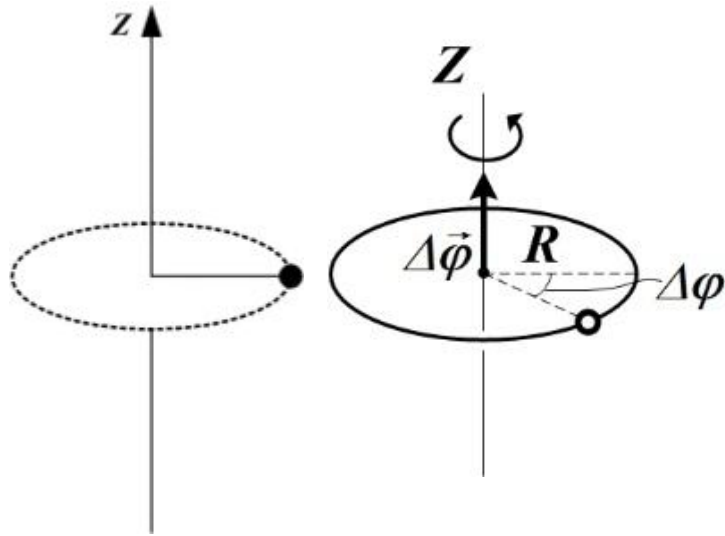
Розглянемо обертання м.т. відносно нерухомої осі. Поворот м.т. на кут  $\Delta\phi$  можна задати у вигляді вектора, довжина якого дорівнює  $\Delta\phi$ , лежить він на осі обертання і напрям вектора пов'язано з напрямком обертання правилом правої руки. Повороти на кінцеві кути складаються не за правилом паралелограма, а значить не є векторами. У той же час повороти на

дуже малі кути  $\Delta\phi$  можна розглядати як вектори, тому що для них правило паралелограма справедливе. Такі вектори позначають як  $\Delta\phi^{\Delta}$  або  $d\phi^{\Delta}$ . Напрямок вектора повороту пов'язується з напрямком обертання тіла. Значить  $d\phi^{\Delta}$  є не справжнім вектором, а псевдовектором. Елементарний вектор кута повороту - одна з кінематичних характеристик обертального руху м.т.

# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ

Векторна величина

$$\vec{\omega} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\varphi}}{\Delta t} = \frac{d \vec{\varphi}}{d t}$$



називається **кутовою швидкістю** м.т. ( $\Delta t$  - час, за який здійснюється поворот  $\Delta \phi$ ). Як впливає з визначення, кутова швидкість - це також псевдовектор, спрямований також як і  $d \vec{\varphi}$ .

Кутова швидкість може змінюватися як за величиною, так і за напрямком. Якщо за час  $\Delta t$  кутова швидкість зростає, то цю зміну  $\Delta \vec{\omega}$  характеризують

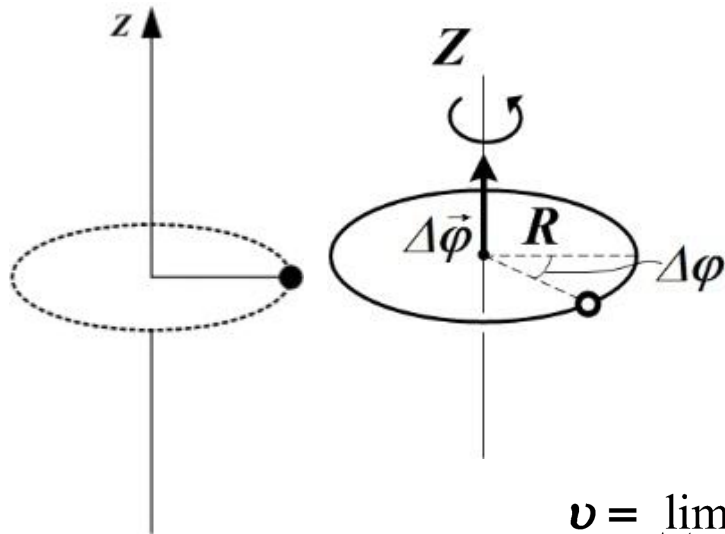
$$\vec{\varepsilon} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{\omega}}{\Delta t} = \frac{d \vec{\omega}}{d t}$$

**кутовим прискоренням.**

Кутове прискорення також є псевдовектором. Якщо ось обертання нерухома, то при прискореному обертанні кутове прискорення збігається за напрямком з кутовий швидкістю, а при сповільненому обертанні напрямки кутової швидкості і прискорення протилежні.



# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



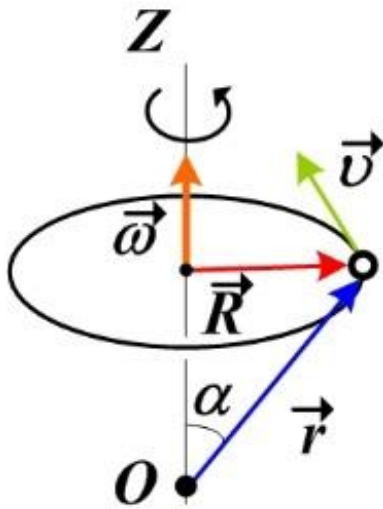
При обертанні в кожен фіксований момент часу м.т. має *лінійну* швидкість  $\vec{v}$  і *лінійне* прискорення  $\vec{a}$ . Знайдемо зв'язок між кутовими і лінійними кінематичними характеристиками м.т. при обертальному русі відносно нерухомої осі.

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \cdot \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = R \frac{d\varphi}{dt} = R\omega$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \frac{(\omega \cdot R)^2}{R} = \omega^2 R$$

$$a_\tau = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \right| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta(\omega R)}{\Delta t} \right| = \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} R \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \right| = R \left| \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \right| = R\varepsilon$$

# КІНЕМАТИКА ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ



$$\vec{v} = [\vec{\omega}, \vec{R}]$$

$$\vec{a}_n = -\omega^2 \cdot \vec{R}$$

$$\vec{a}_\tau = [\vec{\varepsilon}, \vec{R}]$$