

Лекція № 5

**МЕХАНІКА**

**НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ**

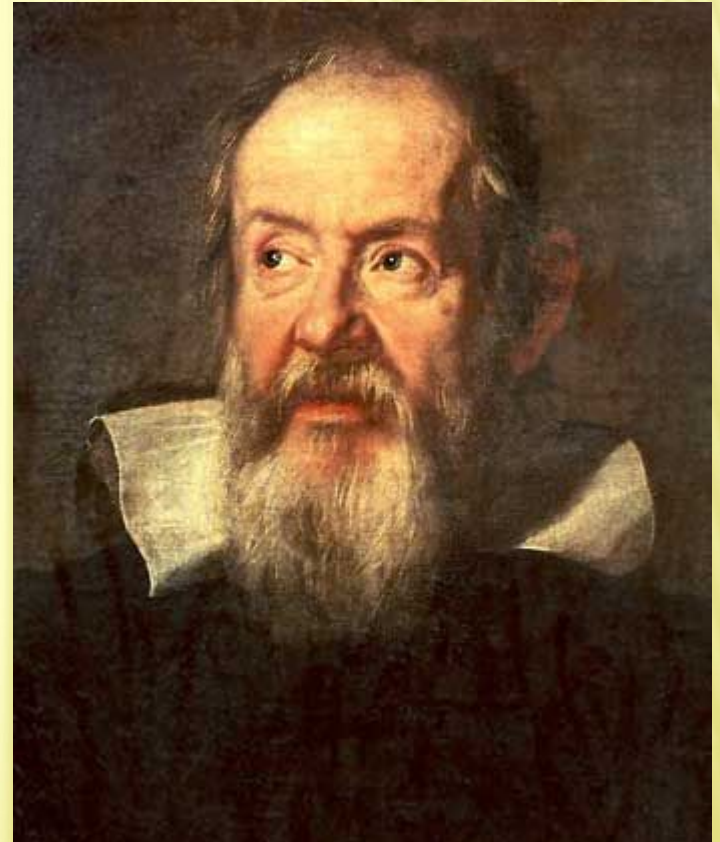


# ПРИНЦИП ВІДНОСНОСТІ

Законами Ньютона можна користуватися **тільки** в інерціальних системах відліку

Галілео Галілей, виходячи з спостережень над природними явищами сформулював класичний принцип відносності.

**Класический принцип відносності:  
в усіх інерціальних системах відліку всі механічні явища протікають однаково при однакових початкових умовах.**



Галілео Галілей  
(1564-1642)

	Спостерігач на Земле	Спостерігач в вагоні, що рухається відносно неї рівномірно та прямолінійно
Траєкторія тіла	Пряма лінія	Парабола
Початкові умови	Тіло в спокої	Початкова швидкість тіла рівна за модулем швидкості руху вагона відносно Землі і протилежна за напрямком.



Падіння тіла виглядає неоднаково для різних спостерігачів.

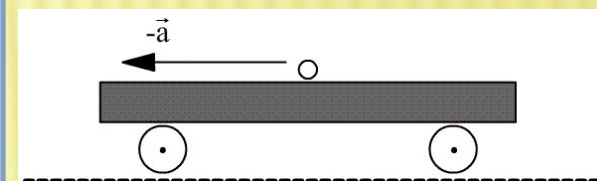
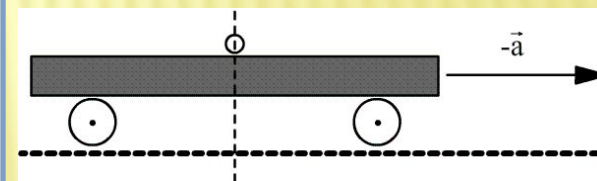
# НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

- Інерціальні системи відліку: прискорення тіла – результат його взаємодії з іншими тілами (результат дії сил).

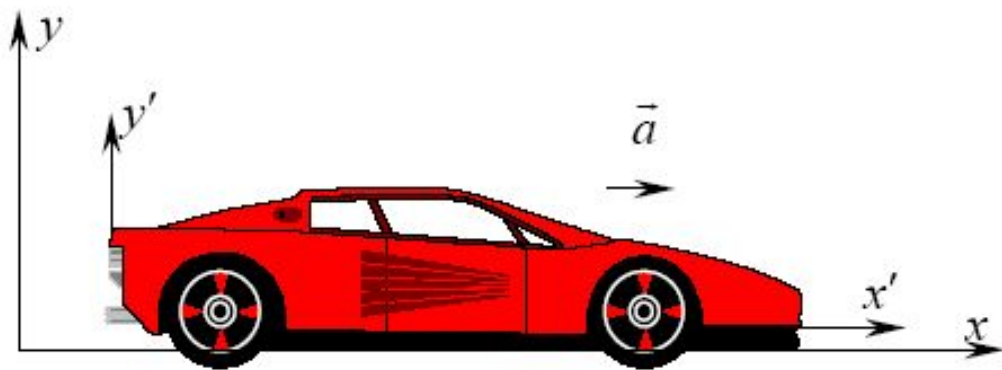
Приклад:

В нерухомому вагоні потягу на гладкому столі стоїть іграшковий автомобіль.

- При початку руху вагона вправо з прискоренням  $\vec{a}$
- відносно **рейок** - іграшка свого положення не **змінює**, якщо дією сил тертя можна знехтувати;
- відносно **столика** – іграшка буде катитися вліво з прискоренням  $-\vec{a}$ , рівним за модулем прискоренню самого вагона відносно рейок, але протилежно напрямленим.



# НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ



$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{r}_0,$$

$$\vec{u}' = \vec{u} - \vec{v}(t)$$

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{a}_{\text{від}}$$

$$\vec{F}_{\text{ін}} = -m\vec{a}_{\text{від}}$$

- $\vec{a}'$  – прискорення матеріальної точки в системі  $K'$
- $\vec{a}$  – прискорення матеріальної точки в системі  $K$
- $\vec{a}_{\text{від}}$  – прискорення системи  $K'$  відносно системи  $K$

# ВЛАСТИВОСТІ СИЛ ІНЕРЦІЇ

- ▣ Сили інерції це псевдосили, тому що не можна вказати тіло, яке є джерелом сил інерції.
- ▣ Сили інерції це реальні сили, наявність яких свідчить про прискорення системи відліку.
- ▣ Сили інерції пропорційні до маси, як і сили тяжіння. Тому розрізнити сили інерції і гравітації неможливо.

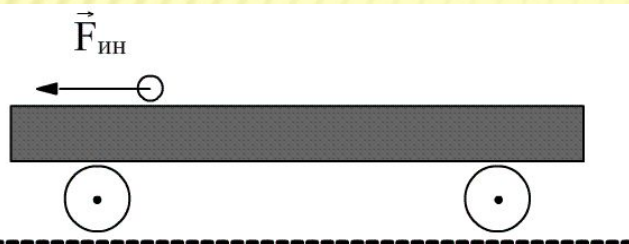
## ПРИНЦИП ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ:

Рух тіл відносно неінерціальної системи відліку еквівалентний його рухові відносно інерціальної системи під впливом усіх тіл, що реально взаємодіють з ним, а також додаткового поля тяжіння.

# НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

**Рух тіл в неінерціальних системах відліку:** виконується другий закон Ньютона, якщо формально вважати, що тут, крім реальних сил взаємодії, існують ще так звані **сили інерції**.

$$\vec{F}_{in} = -m\vec{a}_{від}$$



де  $\vec{F}_{ин}$  - сили інерції;  
 $\vec{a}$  - прискорення, з яким рухається система відліку;  
 $m$  - маса тіла.

На автомобіль подіяла сила інерції.

$$\sum \vec{F} + \vec{F}_{ин} = m\vec{a} \quad - \text{??? закон Ньютона}$$

Де  $\vec{a}$  - прискорення тіла відносно НСВ;  
 $\sum \vec{F}$  - сума реальних сил, які діють на тіло.

**Приклад:** розглянемо тіло в системі відліку «ліфт»:

$\vec{a}$  - прискорення ліфта;

$m\vec{g}$  - сила тяжіння;

$\vec{N}$  - сила реакції опори;

$\vec{F}_{in} = -m\vec{a}$  - сила інерції.

1. Ліфт рухається вертикально вгору з прискоренням  $\vec{a}$

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{in} = 0$$

$$OY: N - mg - ma = 0$$

$$N = m(g + a)$$

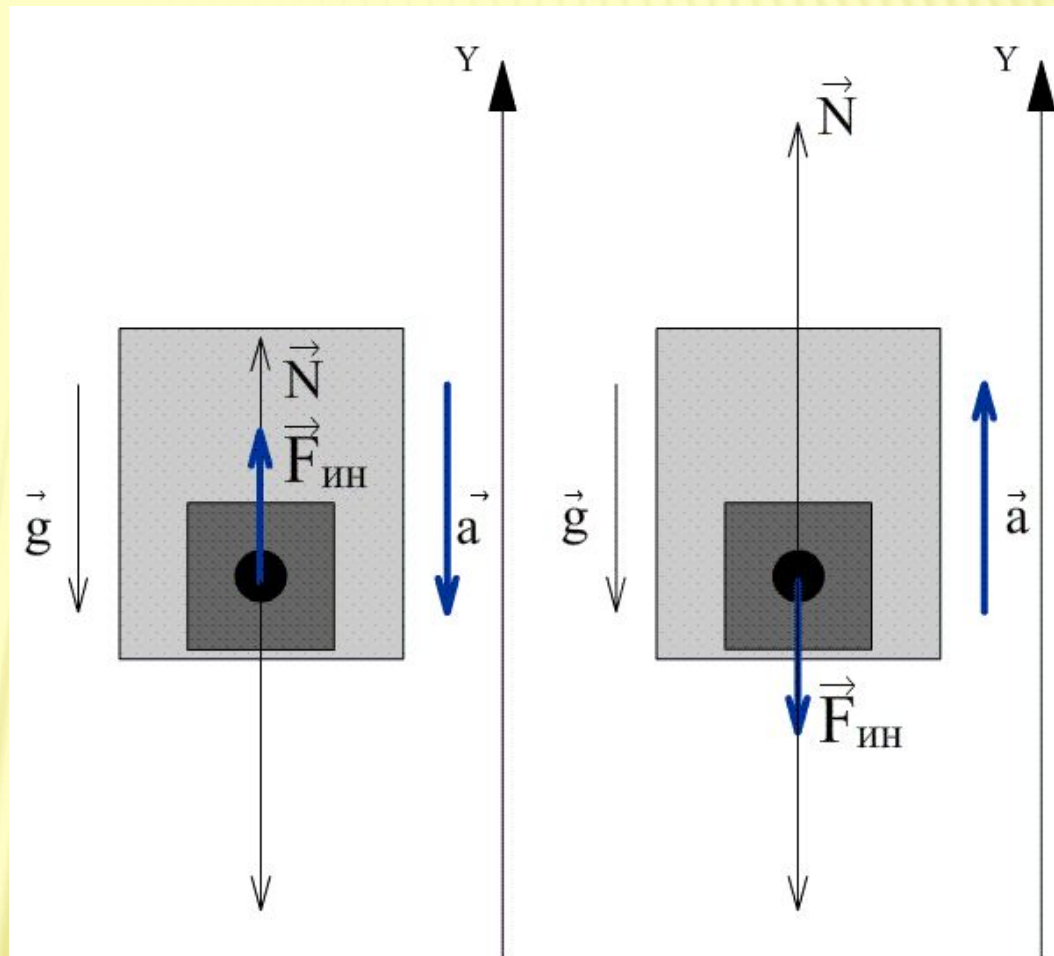
2. Ліфт рухається з прискоренням  $\vec{a}$  яке направлено вертикально

вниз:

$$m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{in} = 0$$

$$OY: N - mg + ma = 0$$

$$N = m(g - a)$$





# СИЛИ ІНЕРЦІЇ В СИСТЕМІ ВІДЛІКУ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

$$\vec{a}_H = \frac{v_H^2}{R}, \quad \vec{v}_i = \vec{v}_H + \vec{\omega}R$$

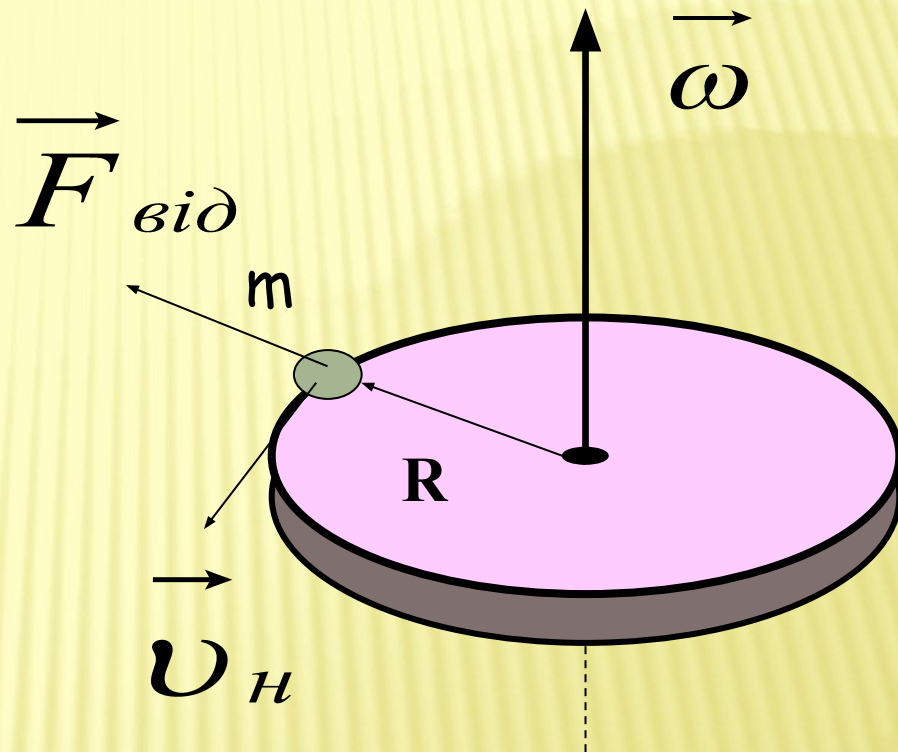
$$a_i = a_H + 2v_H\omega + \omega^2 R$$

$$ma_H = ma_i - 2mv_H\omega - m\omega^2 R$$

$$F_H = F_i + F_K + F_{\omega}$$

$$F_K = -2mv_H\omega - \text{Сили інерції Коріоліса}$$

$$F_{\omega} = -m\omega^2 R - \text{Відцентрова сила інерції}$$



# ВІДЦЕНТРОВА СИЛА ІНЕРЦІЇ

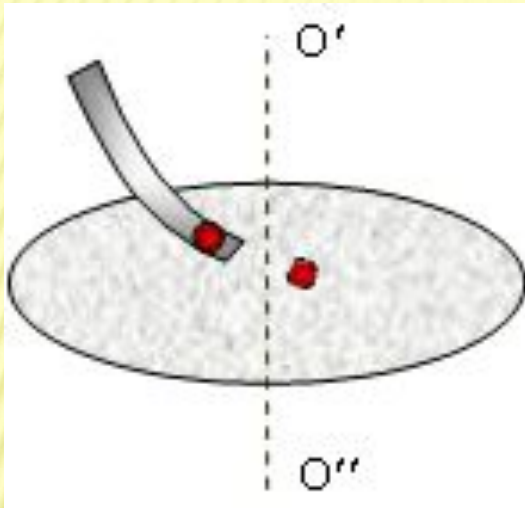
$$\vec{F}_c = m \left[ \vec{\omega}, \vec{R} \right] \cdot \vec{\omega}$$

**Особливості відцентрової сили:**

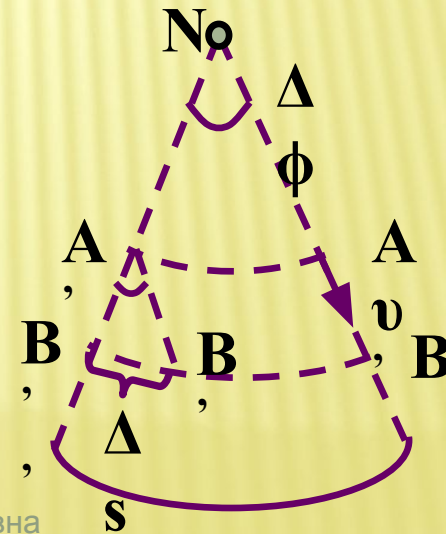
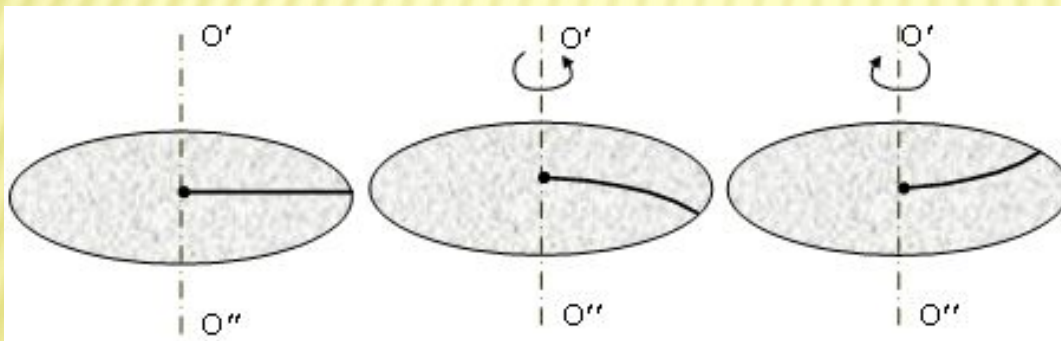
- ▣ Діє як на нерухоме тіло, так і на тіло, яке рухається.
- ▣ Пропорційна до маси тіла.
- ▣ Залежить від кутової швидкості неінерціальної системи.
- ▣ Зростає з віддаленням від осі обертання.

# СИЛА ІНЕРЦІЇ КОРІОЛІСА

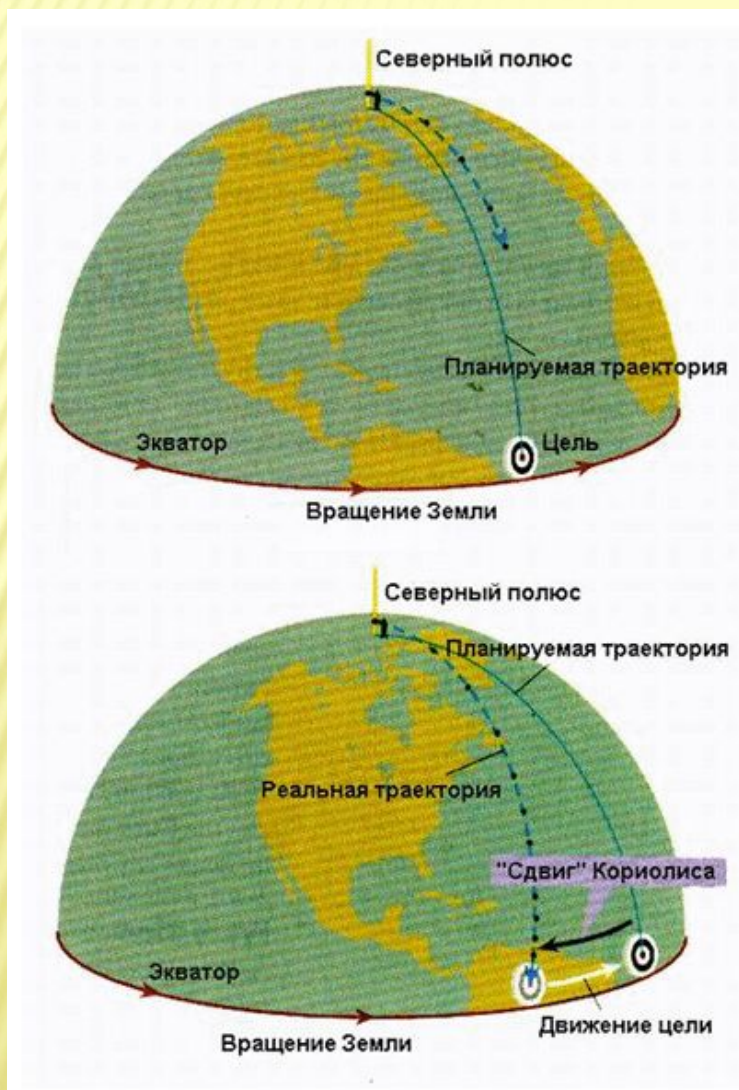
$$\vec{F}_K = 2m \left[ \vec{v} \cdot \vec{\omega} \right]$$



- Діє лише на рухомі тіла.
- Перпендикулярна до вектора швидкості, тому вона не може змінити модуль швидкості, а змінює лише її напрямок, тобто викривляє траєкторію руху тіла.
- Не виконує роботи, бо вона перпендикулярна до переміщення.
- Не залежить від відстані до осі обертання.
- Не діє на тіла, що рухаються паралельно до осі обертання.



# СИЛА ІНЕРЦІЇ КОРІОЛІСА



При движении тела вдоль поверхности Земли результат действия силы Кориолиса будет максимальным при движении по меридиану. При этом тело отклоняется вправо при движении с севера на юг и влево при движении с юга на север. Аналогичные смещения происходят при любом выстреле, если только первоначальная скорость снаряда имеет ненулевую проекцию на направление север – юг.

## Движение тел относительно поверхности Земли:

- Земля вращается вокруг своей оси;
- $\omega = a^2 r$  центростремительное ускорение точек поверхности Земли,  $r$  - расстояние от данной точки до оси вращения.  $\omega_{\max} = 0,034 \text{ м/с}^2$
- на тело действует сила инерции, направленная от оси вращения и перпендикулярно ей:

$$\vec{F}_{ин} = -m\omega = ma^2 r$$



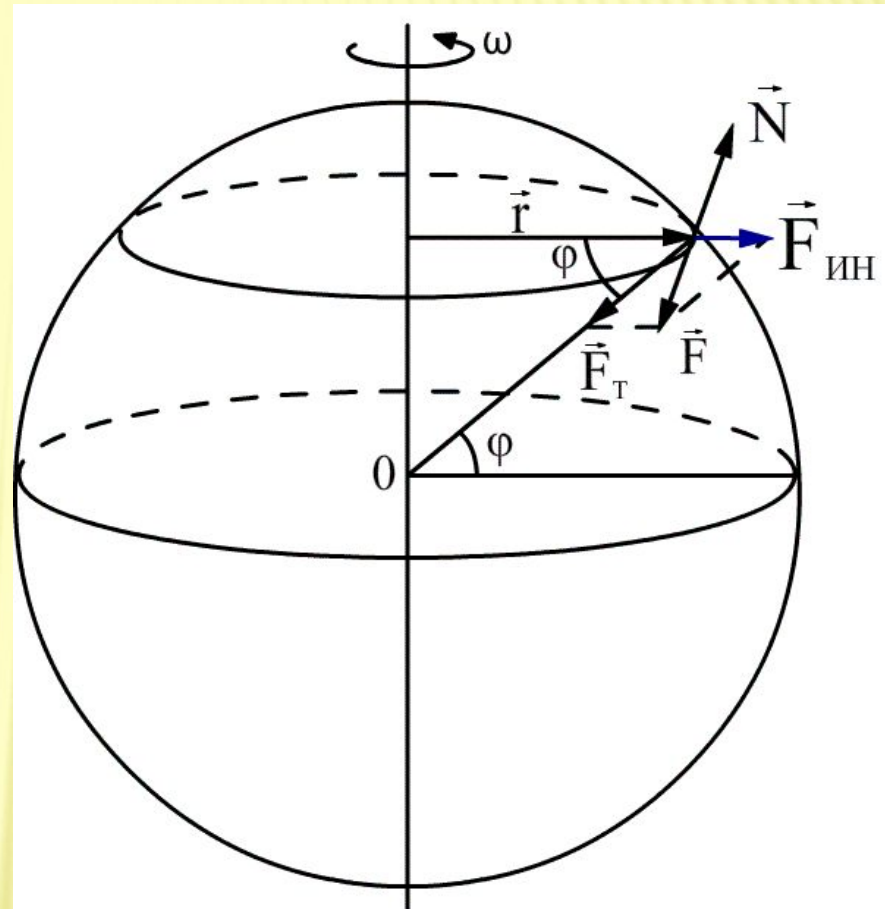
$$\vec{F} = \vec{F}_m + \vec{F}_{ин}$$

Силу  $\vec{P}$ , равную силе, действующей на тело, но приложенную к опоре, называют весом тела.

- сила  $\vec{P}$  на любой широте, отличной от  $90^\circ$  направлена к центру

- Земли;

$$\vec{P} = \vec{F}$$



Модуль силы инерции, действующая во вращательной системе отсчета на неподвижные тела:

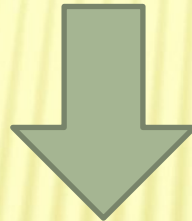
$$F_{ин} = ma^2 r = ma^2 R \cos \varphi$$

где  $r = R \cos \varphi$  расстояние от тела до оси вращения;  
 $\varphi$  - широта местности.

$r$  на разных широтах разное:

На экваторе наибольшее

На полюсе равно нулю



Сила инерции и вес тела имеют различные значения.

# МАЯТНИК ФУКО



$$\omega = \omega_0 \sin \varphi$$