

НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

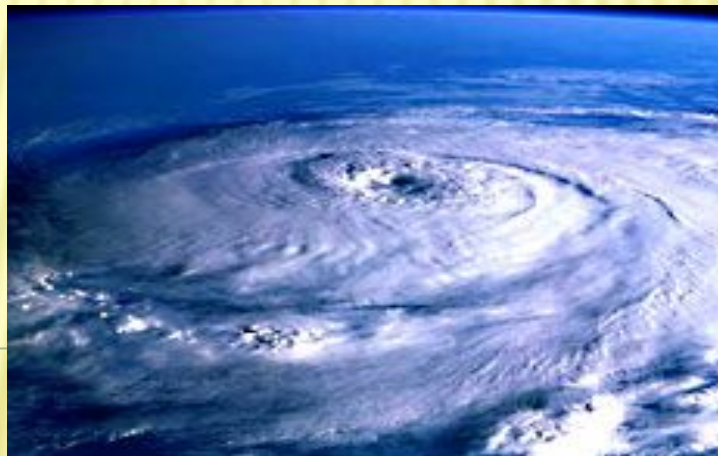
Кафедра теоретичної фізики



Лекція № 5

МЕХАНІКА

НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

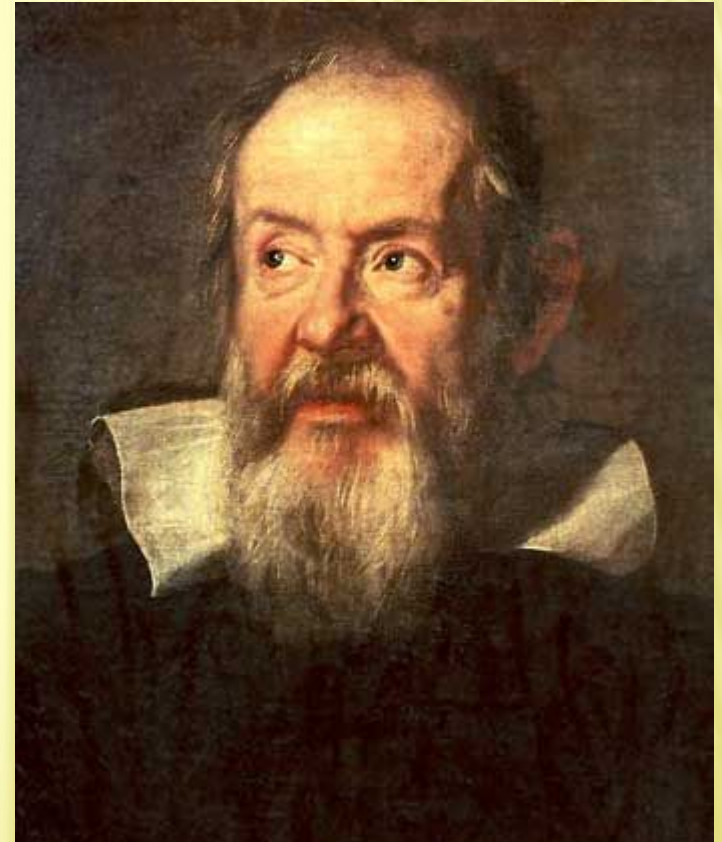


ПРИНЦИП ВІДНОСНОСТІ

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

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

**Классический 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.

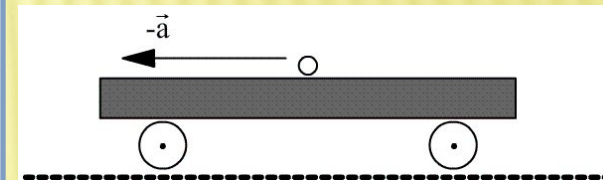
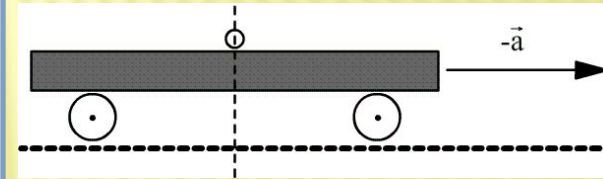
НЕІНЕРЦІАЛЬНІ СИСТЕМИ ВІДЛІКУ

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

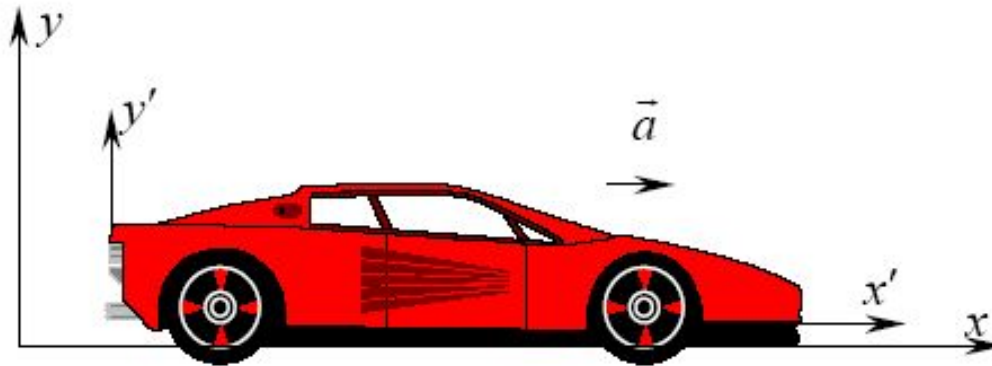
Приклад:

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.

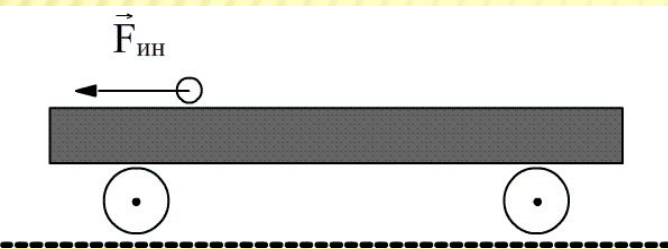
ПРИНЦИП ЕКВІВАЛЕНТНОСТІ:

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

На автомобіль подіяла сила інерції.

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

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;

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

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

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

$$\text{ОУ: } N - mg - ma = 0$$

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

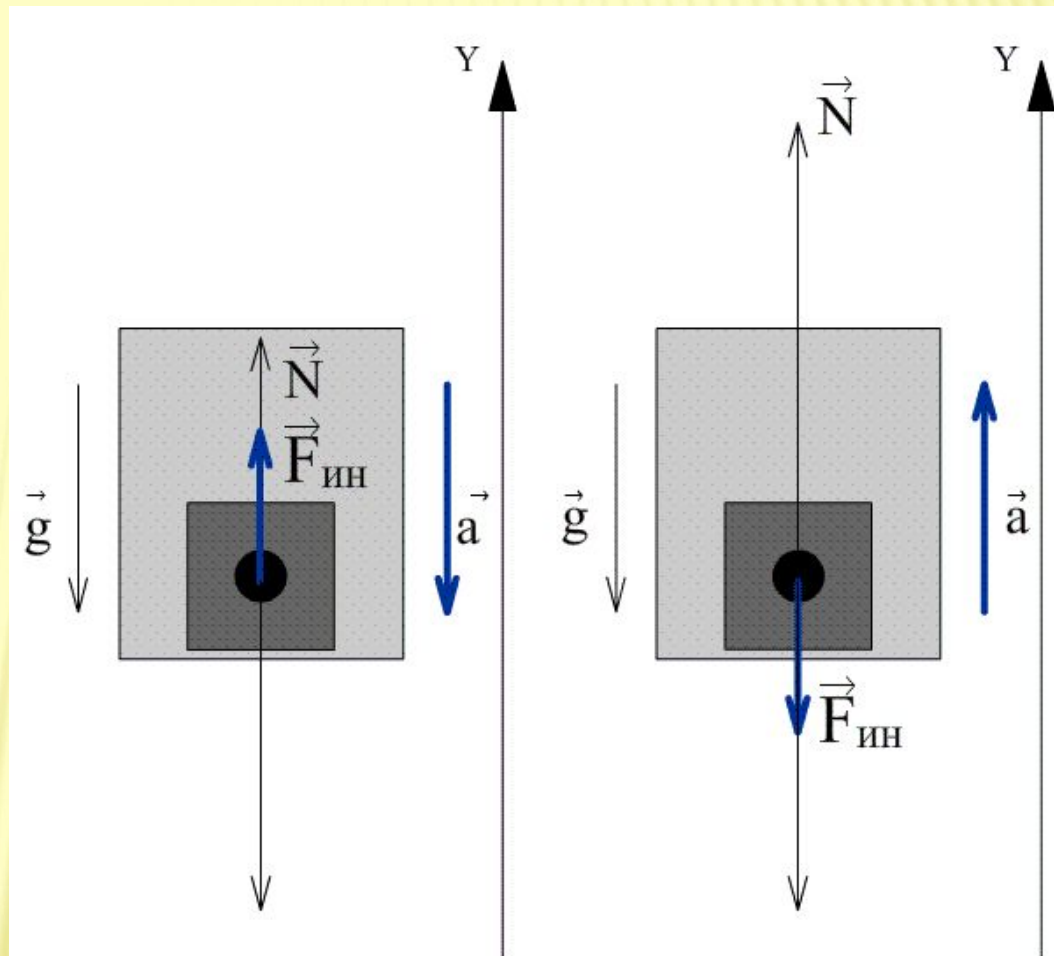
2. Ліфт рухається з прискоренням $\vec{a}$ яке направлено вертикально

вниз:

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

$$\text{ОУ: } N - mg + ma = 0$$

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



СИЛИ ІНЕРЦІЇ В СИСТЕМІ ВІДЛІКУ, ЩО ОБЕРТАЄТЬСЯ

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

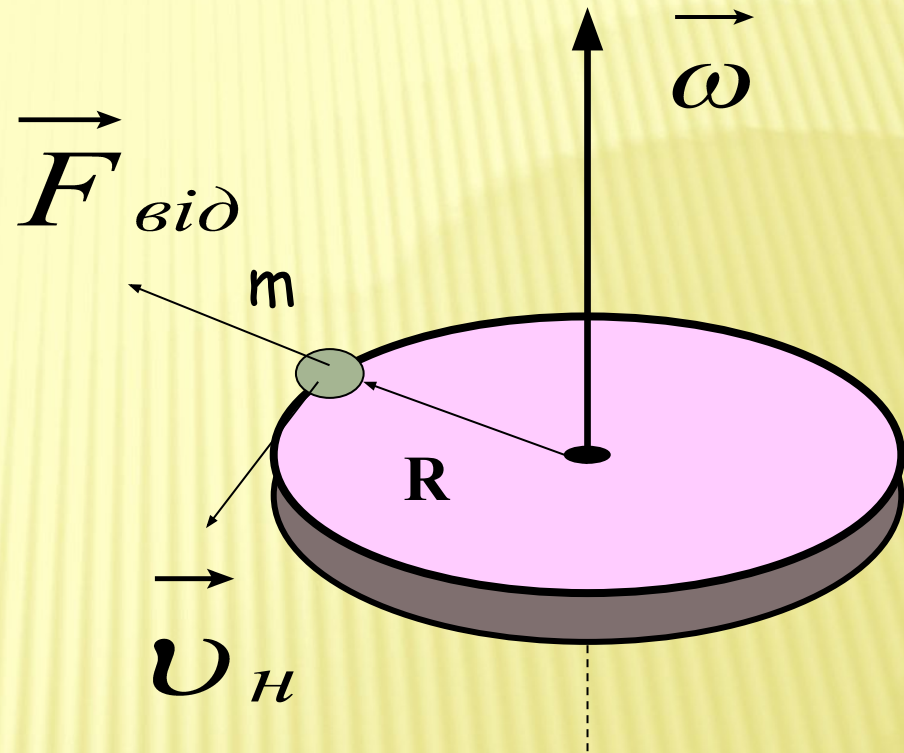
$$a_i = a_H + 2v_H\omega + \omega^2 R$$

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

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

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

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



ВІДЦЕНТРОВА СИЛА ІНЕРЦІЇ

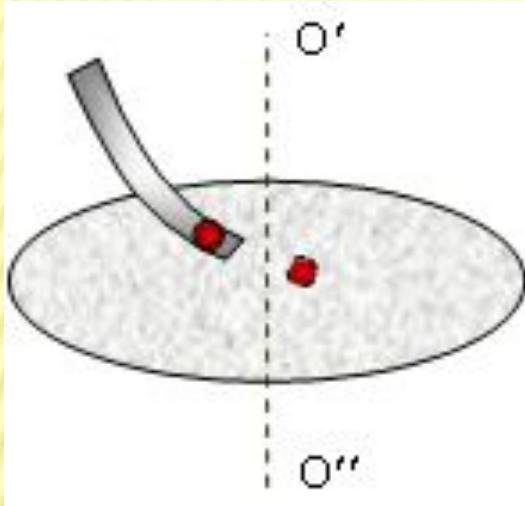
$$\vec{F}_i = m \left[\vec{\omega}, \vec{R} \right] \cdot \vec{\omega}$$

Особливості відцентрової сили:

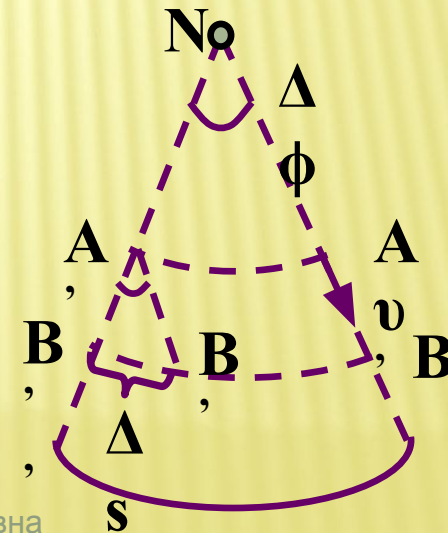
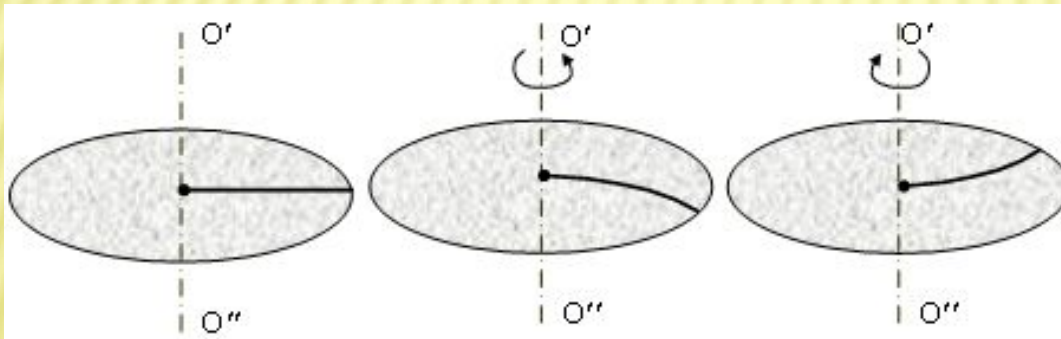
- Діє як на нерухоме тіло, так і на тіло, яке рухається.
- Пропорційна до маси тіла.
- Залежить від кутової швидкості неінерціальної системи.
- Зростає з віддаленням від осі обертання.

СИЛА ІНЕРЦІЇ КОРІОЛІСА

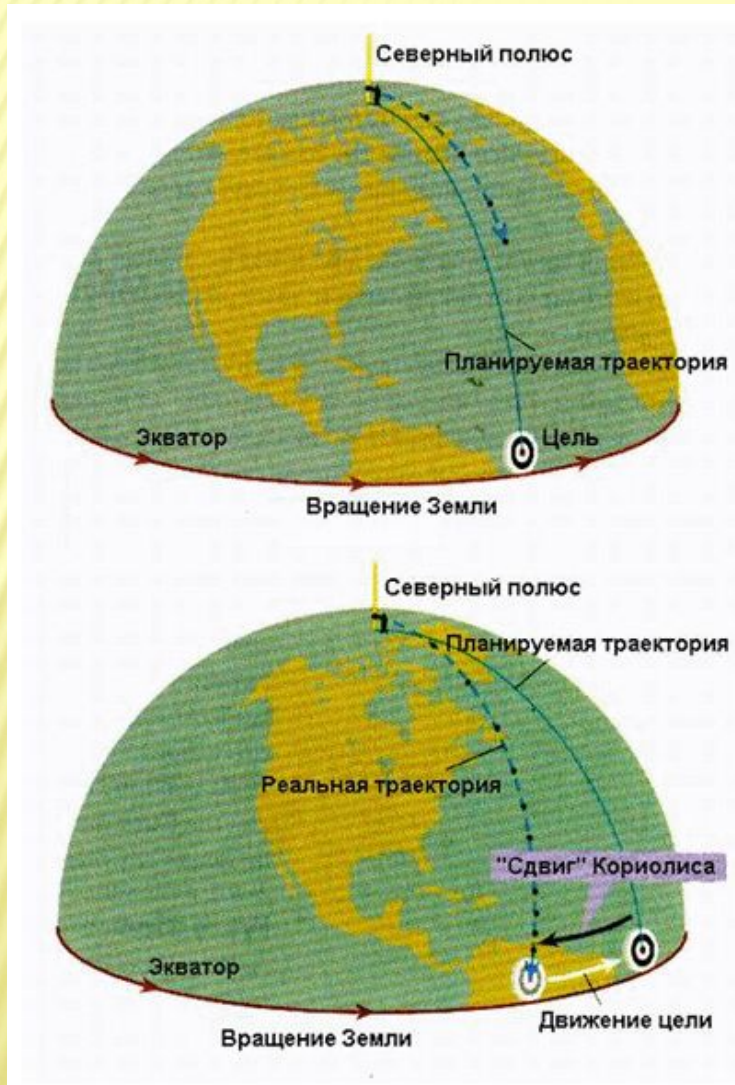
$$\vec{F}_K = 2m \left[\vec{v} \cdot \vec{\omega} \right]$$



- 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:

$$\vec{F}_{ин} = -m\omega = ma^2 r$$



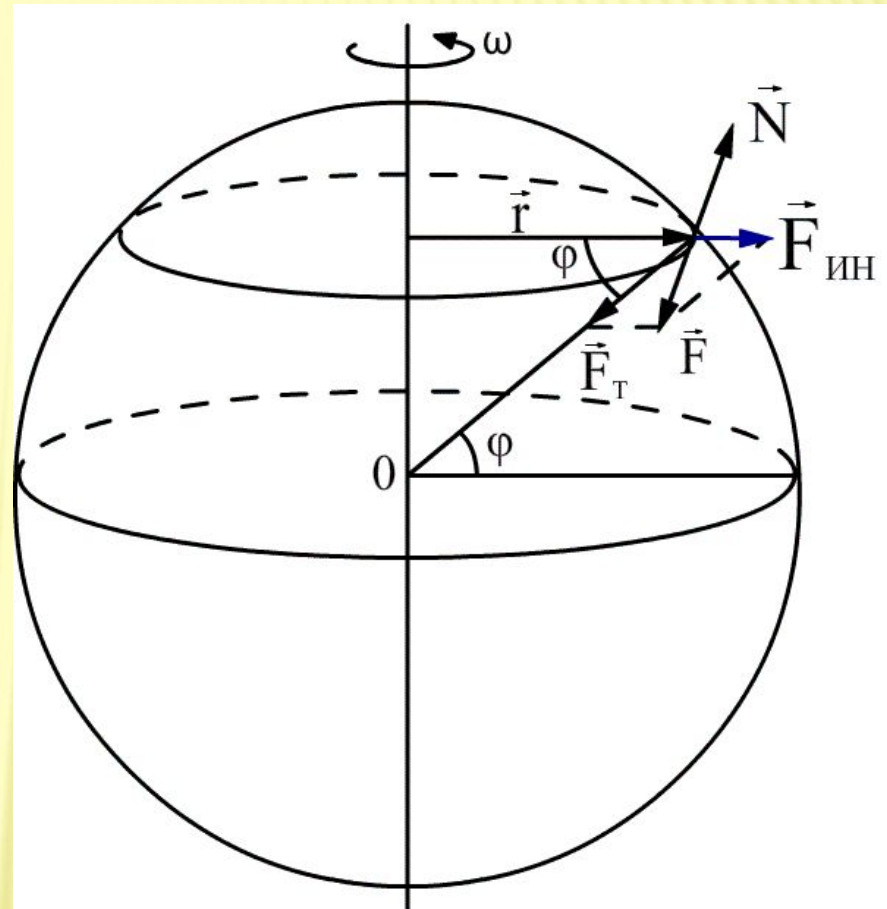
$$\vec{F} = \vec{F}_m + \vec{F}_{ин}$$

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

- сила $\vec{P}$ на любой широте φ , отличной от 90° не 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;
 φ - широта местности.

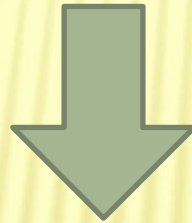
r на разных широтах разное:



На экваторе наибольшее



На полюсе равно нулю



Сила инерции и вес тела имеют различные значения.

МАЯТНИК ФУКО



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