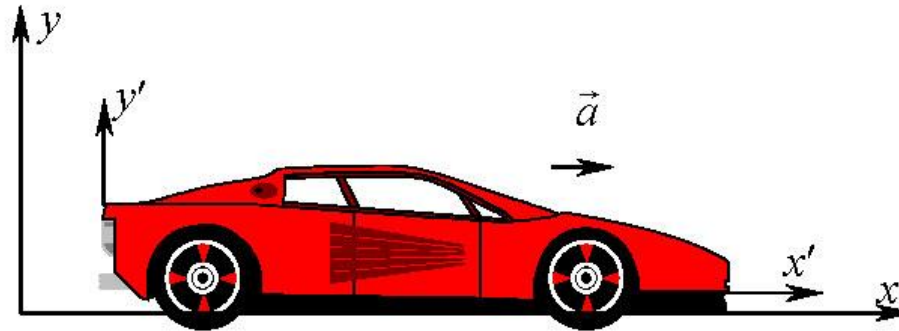
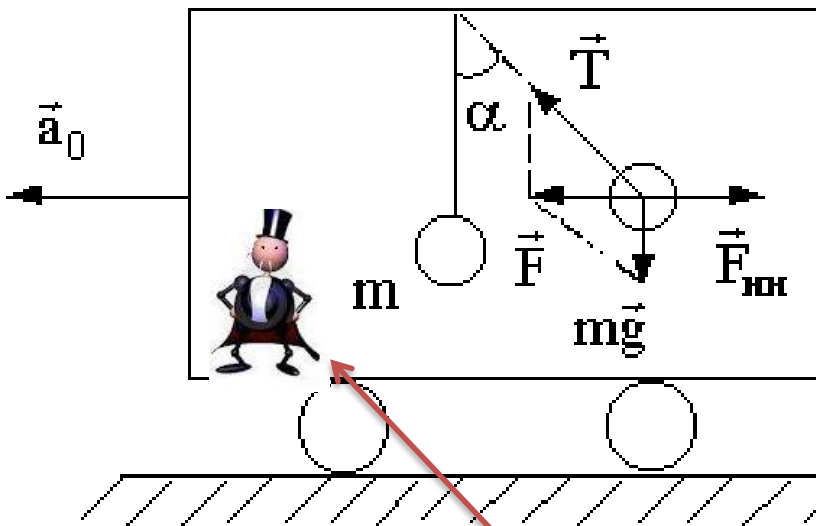


# Неинерциальные системы отсчета

Системы отсчета, которые движутся относительно инерциальных с ускорением (в том числе вращающиеся), называются неинерциальными.



# Силы инерции в поступательно движущихся системах отсчета



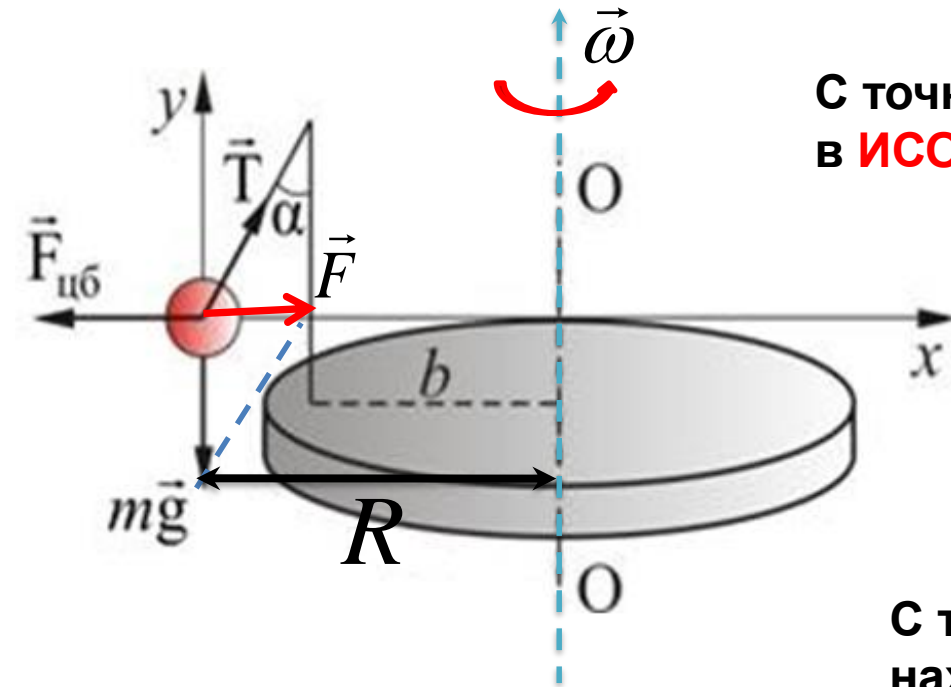
С точки зрения наблюдателя, находящегося в ИСО результирующая сила:

$$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{T}$$

По 2 закону Ньютона:  $\vec{F} = m\vec{a}_0$

С точки зрения наблюдателя, находящегося в неинерциальной СО (в ускоренно движущемся вагоне) шарик покоится

## Силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращающейся системе отсчета



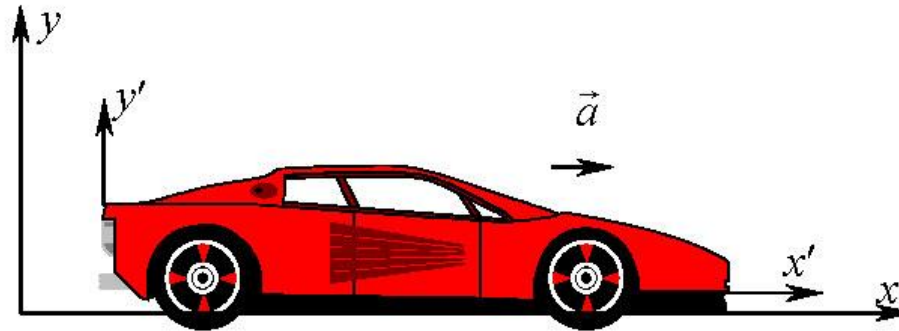
С точки зрения наблюдателя, находящегося в **ИСО** результирующая сила:

$$F = m\omega^2 R$$

С точки зрения наблюдателя, находящегося в **неинерциальной СО** (на диске) шарик покоится

# Неинерциальные системы отсчета

**Системы отсчета**, которые движутся относительно инерциальных **с ускорением** (в том числе **вращающиеся**), называются **неинерциальными**.

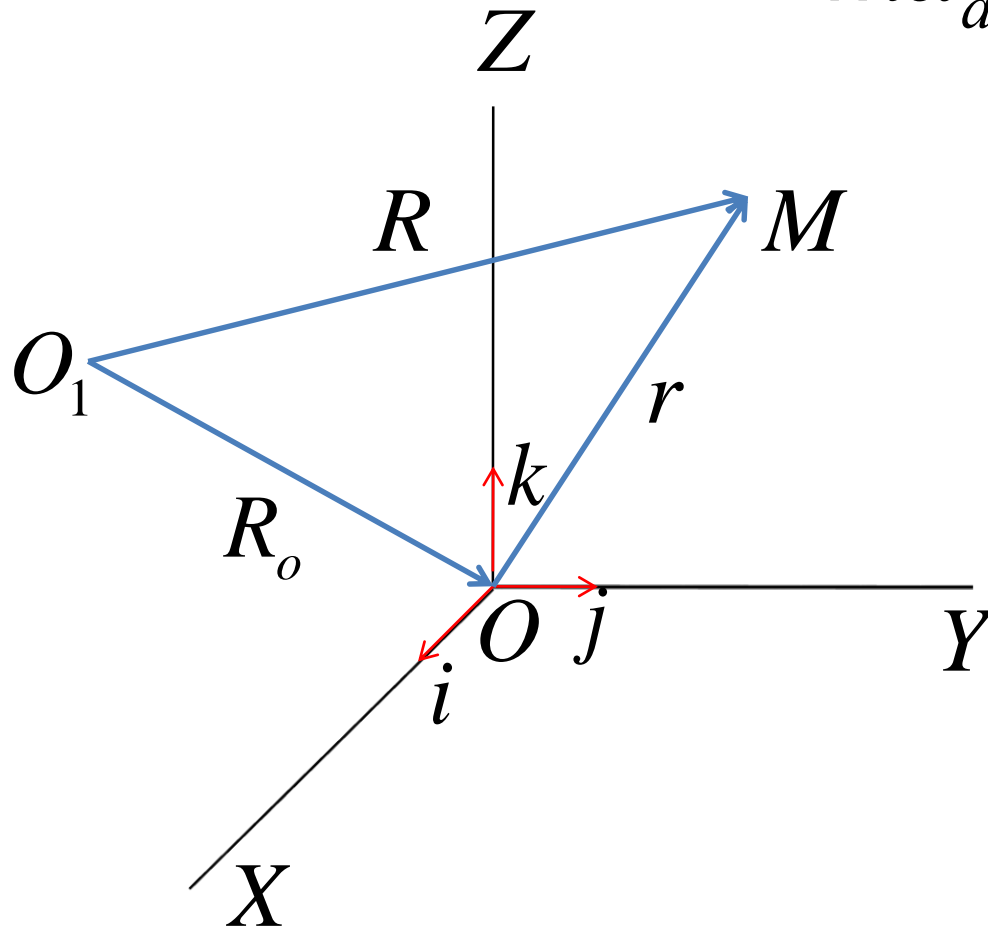


Тело, покоящееся в движущейся системе отсчета, увлекается последней в ее движении относительно неподвижной системы отсчета. Такое движение тела называется **переносным**. Абсолютное движение тела складывается из его относительного и переносного движений

# Неинерциальные системы отсчета

Для инерциальной системы отсчета справедлив второй закон Ньютона

$$m\vec{a}_{abc} = \vec{F}$$



$$\vec{R} = \vec{R}_o + \vec{r}$$

$$\dot{\vec{R}} = \dot{\vec{R}}_o + \dot{\vec{r}}$$

$$\ddot{\vec{R}} = \ddot{\vec{R}}_o + \ddot{\vec{r}}$$

## Поступательное движение

$$\dot{R} \equiv V_{abc} \quad \text{- абсолютная скорость точки}$$

$$\ddot{R} \equiv a_{abc} \quad \text{- абсолютное ускорение точки}$$

$$\dot{R}_o \equiv V_o \quad \begin{array}{l} \text{- абсолютная скорость начала координат системы } O \equiv \\ \equiv \text{ переносная скорость} \end{array}$$

$$\ddot{R}_o \equiv a_o \quad \text{- переносное ускорение}$$

$$\dot{r} \equiv V_{отн}$$

$$\ddot{r} \equiv a_{отн}$$

$$V_{abc} = V_{отн} + V_o$$

$$a_{abc} = a_{отн} + a_o$$

$$F = ma_{abc} = ma_{отн} + ma_o \longrightarrow \tilde{F} = ma_{\hat{o}i} = F - ma_o$$

$$m\vec{a}_{отн.} = \vec{F} + \vec{F}_{ин.}$$

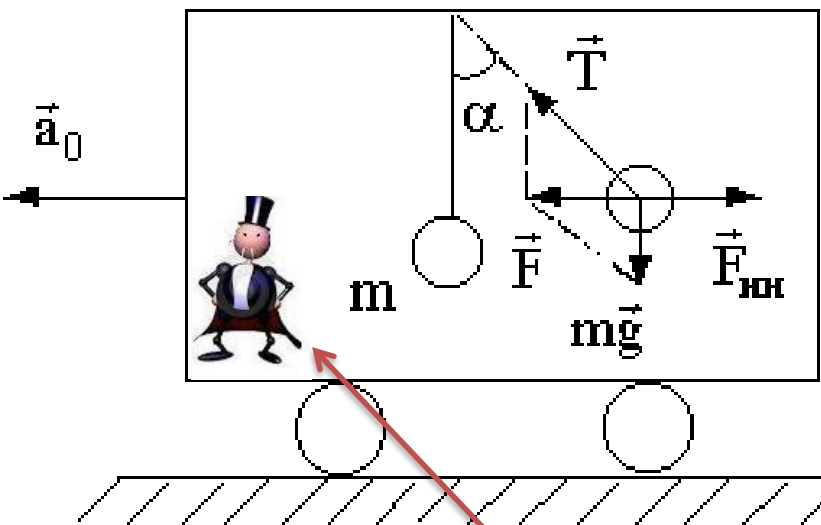
- уравнение относительного движения материальной точки

$\vec{F}(\vec{r}_i - \vec{r}_j; \vec{V}_i - \vec{V}_j)$  - результат взаимодействия сил  
(в нерелятивистской механике  $\mathbf{F}$  инвариантна )

$\vec{F}_{ин.} = -m\vec{a}_o$  - результат не взаимодействия тел, а результат ускорения (не инвариант )

$\vec{F}_{ин.}$  - не подчиняется закону действия и противодействия

# Силы инерции в поступательно движущихся системах отсчета



С точки зрения наблюдателя, находящегося в ИСО результирующая сила:

$$\vec{F} = m\vec{g} + \vec{T}$$

По 2 закону Ньютона:  $\vec{F} = m\vec{a}_0$

С точки зрения наблюдателя, находящегося в неинерциальной СО (в ускоренно движущемся вагоне) шарик покоится

$$\vec{F} = -\vec{F}_{ин}$$

$$\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}_0$$



# Произвольное ускоренное движение СО

$$\vec{R}' = \vec{R}_0 + \vec{R}$$

$$\vec{R} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k} \quad - \text{ координаты точки в движущейся системе}$$

$$\dot{\vec{R}} = \underbrace{\frac{dx}{dt}\vec{i} + \frac{dy}{dt}\vec{j} + \frac{dz}{dt}\vec{k}}_{\vec{V}_{отн}} + \underbrace{\left( x\frac{d\vec{i}}{dt} + y\frac{d\vec{j}}{dt} + z\frac{d\vec{k}}{dt} \right)}_{[\vec{\omega} \times \vec{R}]}$$

$$\dot{\vec{R}} = \vec{V}_{отн} + [\vec{\omega} \times \vec{R}]$$



$$\vec{V}_{абс} = \vec{V}_{отн} + \underbrace{([\vec{\omega} \times \vec{R}] + \vec{V}_0)}_{\text{переносная скорость}}$$

переносная скорость

## Произвольное ускоренное движение СО

$$\vec{V}_{abc} = \vec{V}_{отн} + \left( [\vec{\omega} \times \vec{R}] + \vec{V}_0 \right)$$

$$\vec{a}_{abc} \equiv \dot{\vec{V}}_{abc} = \dot{\vec{V}}_{отн} + \dot{\vec{V}}_0 + \left[ \vec{\omega} \times \dot{\vec{R}} \right] + \left[ \dot{\vec{\omega}} \times \vec{R} \right]$$

$$\vec{V}_{отн} = \frac{d(x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k})}{dt} = \vec{a}_{отн} + \left( \dot{x} \frac{\partial \vec{i}}{\partial t} + \dot{y} \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} + \dot{z} \frac{\partial \vec{k}}{\partial t} \right) \equiv \vec{a}_{отн} + [\vec{\omega} \times \vec{V}_{отн}]$$

$$\left[ \vec{\omega} \times \dot{\vec{R}} \right] = \left[ \vec{\omega} \times \vec{V}_{отн} \right] + \left[ \vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{R}] \right]$$

$$\vec{a}_{abc} = \vec{a}_{отн} + 2 \left[ \vec{\omega} \times \vec{V}_{отн} \right] + \dot{\vec{V}}_0 + \left[ \vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{R}] \right] + \left[ \dot{\vec{\omega}} \times \vec{R} \right]$$

$$\boxed{\vec{a}_{abc} = \vec{a}_{отн.} + \vec{a}_{пер.} + \vec{a}_{кор.}} \quad \text{- теорема Кориолиса}$$

# Произвольное ускоренное движение СО

$$\vec{a}_{abc} = \vec{a}_{отн.} + \vec{a}_{пер.} + \vec{a}_{кор.}$$

$$\vec{a}_{кор.} = 2 \left[ \vec{\omega} \times \vec{V}_{отн} \right] \quad \begin{array}{l} \text{- появляется только при} \\ \text{движении тела относительно} \\ \text{системы отчета} \end{array}$$

$$\vec{a}_{пер.} = \dot{\vec{V}}_o + \left[ \vec{\omega} \times \left[ \vec{\omega} \times \vec{R} \right] \right] + \left[ \dot{\vec{\omega}} \times \vec{R} \right] \quad \begin{array}{l} \text{- зависит только от} \\ \text{движения системы} \end{array}$$

**Силы , действующие на тело,  
движущееся во вращающейся системе отсчета  
Уравнение относительного движения**

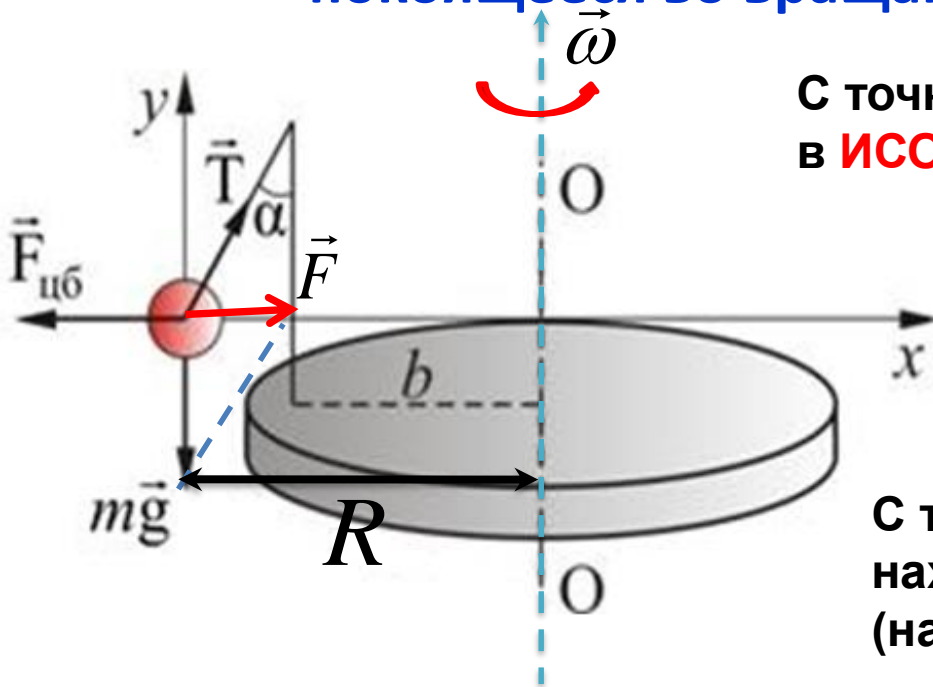
$$\vec{F} = m\vec{a}_{abc} = m\vec{a}_{отн.} + m\vec{a}_{пер.} + m\vec{a}_{кор.}$$

$$m\vec{a}_{отн.} = \vec{F} + \vec{F}_{пер.} + \vec{F}_{кор.}$$

$$\vec{F}_{пер.} = -m\vec{a}_{пер.} = -m\dot{\vec{V}}_o - m[\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{R}]] - m[\dot{\vec{\omega}} \times \vec{R}]$$

$$\vec{F}_{кор.} = -m\vec{a}_{кор.} = -2m[\vec{\omega} \times \vec{V}_{отн.}] = 2m[\vec{V}_{отн.} \times \vec{\omega}]$$

# Силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращающейся системе отсчета



С точки зрения наблюдателя, находящегося в **ИСО** результирующая сила:

$$F = m\omega^2 R$$

С точки зрения наблюдателя, находящегося в **неинерциальной СО** (на диске) шарик покоится

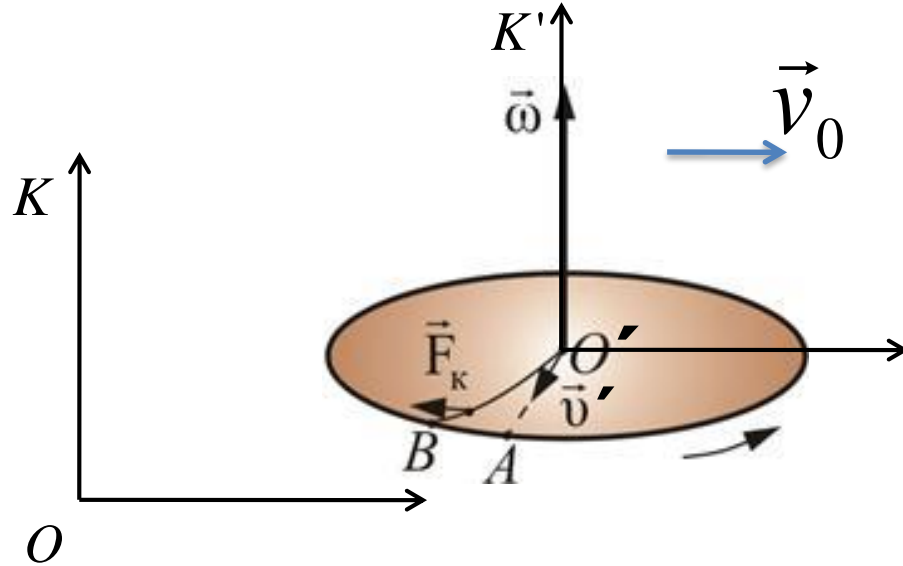
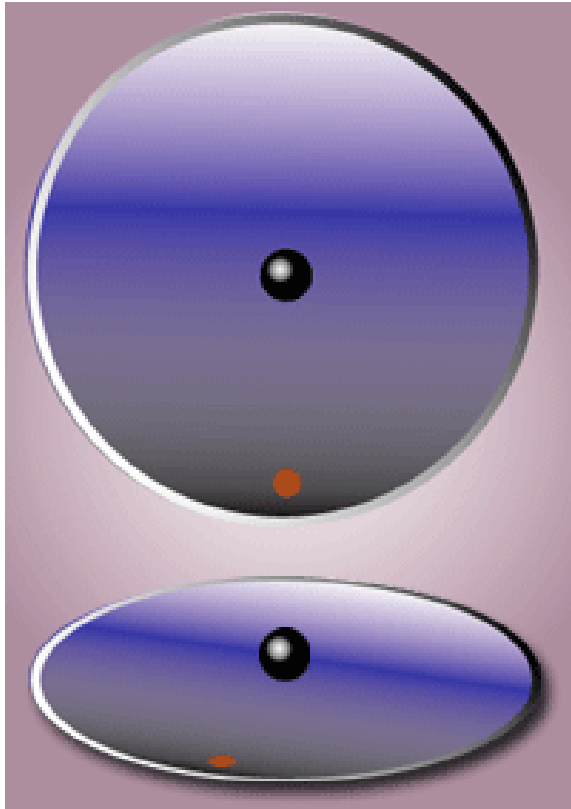
$$\vec{F} = -\vec{F}_{цб}$$

Центробежная сила инерции действует на тело в направлении радиуса от оси вращения.

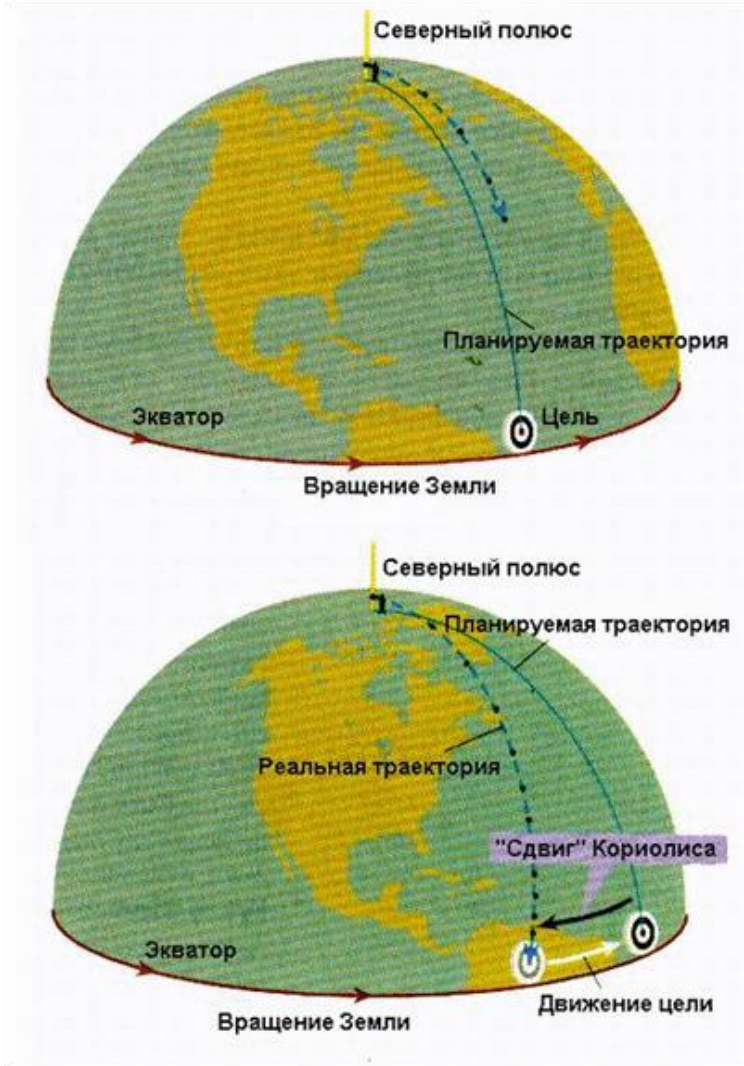
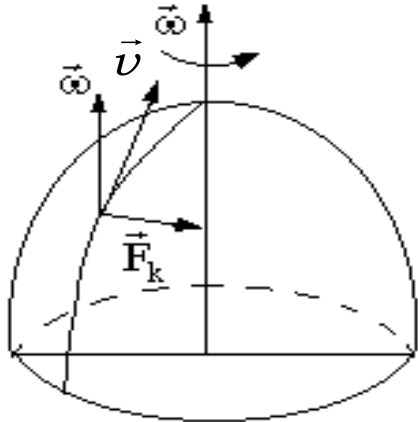
$$F_{\ddot{o}a} = -m\omega^2 R = -ma_n$$

$F_{цб}$  - центробежная сила инерции

# Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета



# Сила Кориолиса



# Сила Кориолиса



<http://www.youtube.com/watch?v=XkIcMhXxUk8>



# Неинерциальные системы отсчета

## ОСОБЕННОСТИ СИЛ ИНЕРЦИИ

В отличие от «обычных» сил, силы инерции вызваны не взаимодействием тел, а ускоренным движением системы отсчета.

Нельзя указать тело, со стороны которого действует сила инерции.

Поэтому к этим силам неприменим третий закон Ньютона.

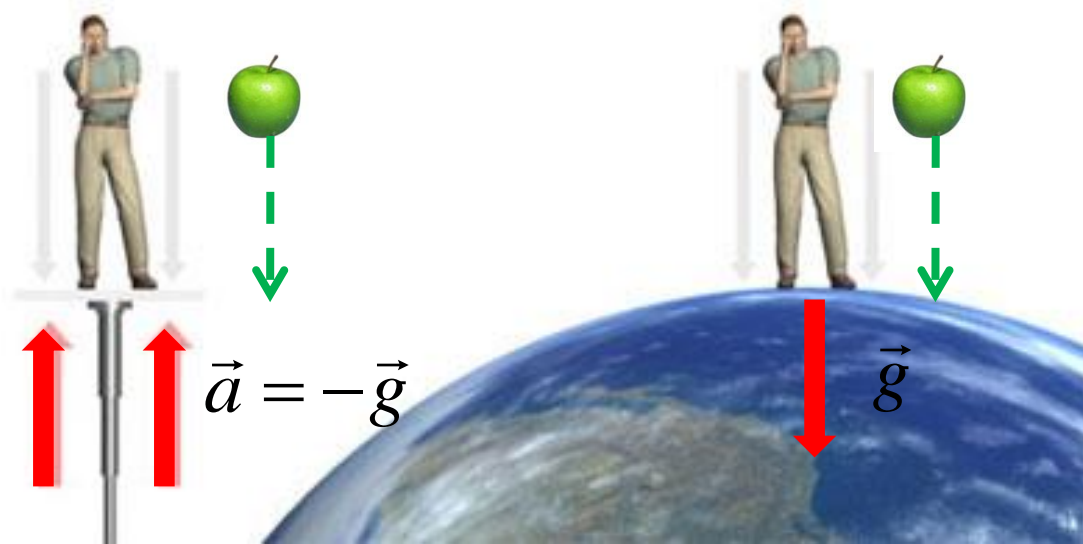
**Силы инерции - фиктивные силы.**

Силы инерции действует только в неинерциальных системах отсчета.

Для тела, находящегося вне ИСО, силы инерции являются внешними, следовательно, здесь **нет замкнутых систем**.

В неИСО **не выполняются законы сохранения**.

## Принцип эквивалентности сил инерции и сил тяготения



**Все физические явления**

в ИСО, находящейся в однородном поле тяжести,  
и в неИСО, движущейся с постоянным ускорением,  
**происходят совершенно одинаково.**

Это положение называется принципом эквивалентности сил инерции и сил тяготения (принципом эквивалентности Эйнштейна).