

Тема лекции:  
Силы инерции.

# Силы инерции

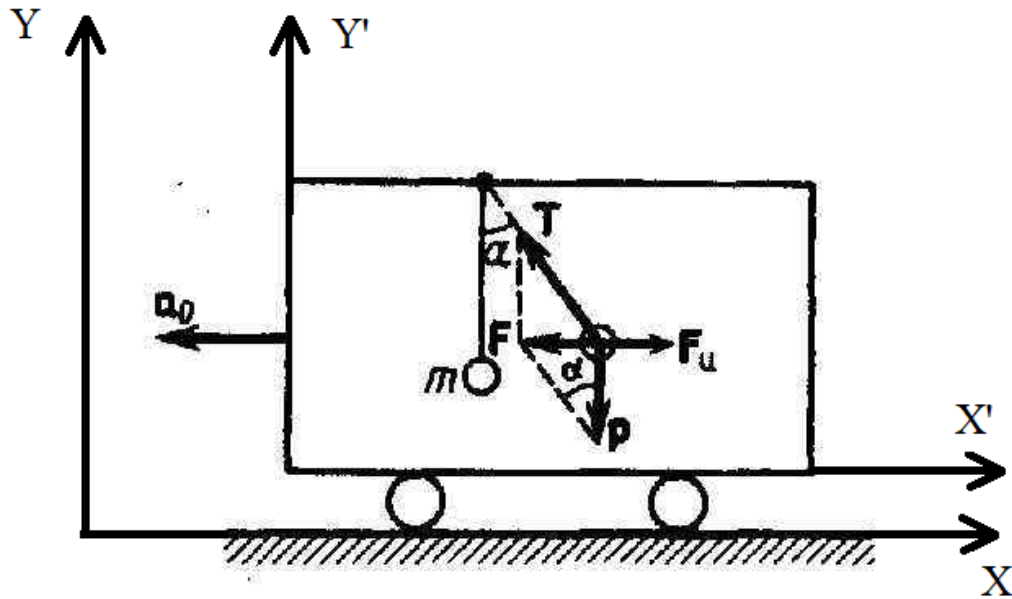
**Законы Ньютона выполняются только в инерциальных системах отсчета.** Ускорение тела одинаково во всех инерциальных системах координат.

Между тем мы часто вынуждены работать в заведомо **неинерциальных** системах. Например, земная система координат является **неинерциальной**. Возникает вопрос: *нельзя ли и в неинерциальных системах сохранить уравнения движения Ньютона?*

# Силы инерции

Оказывается, уравнение второго закона Ньютона можно использовать и в неинерциальных системах отсчета, однако в уравнения движения, наряду с физическими силами надо вводить так называемые силы инерции  $\vec{F}_{ин}$ , величина которых определяется характером движения неинерциальной системы.

# Сила инерции при поступательном движении

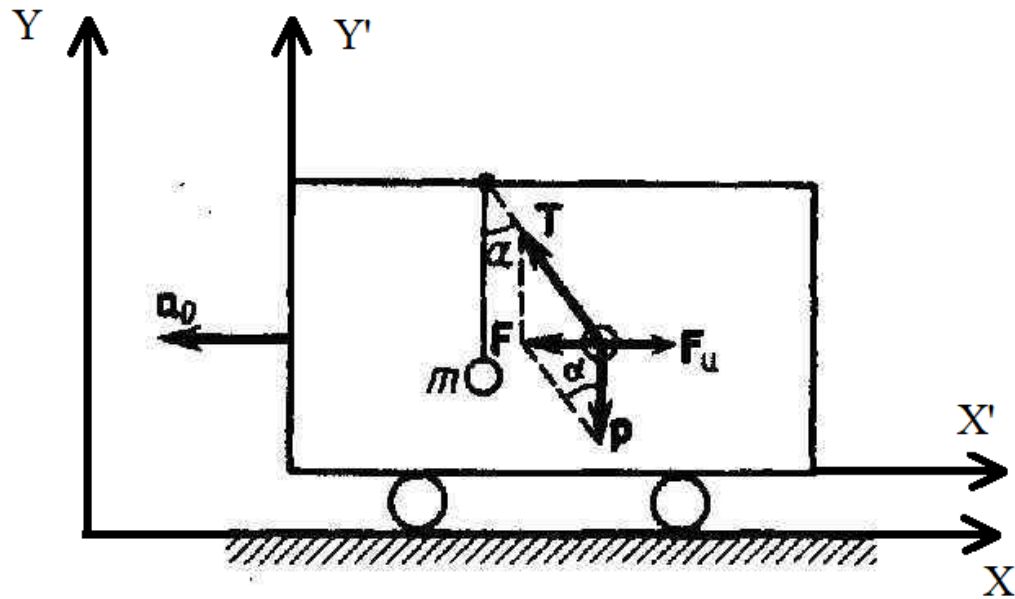


Пусть система  $X', Y'$  движется с ускорением  $\vec{a}_0$  относительно инерциальной системы  $X, Y$  вдоль оси  $x$  (рис.). В инерциальной системе координат  $X, Y$  наблюдатель видит отклоненный от вертикали маятник, движущийся с ускорением  $\vec{a}_0$  под действием равнодействующей двух сил:

$\vec{P}$  – сила тяжести,

$\vec{T}$  – сила натяжения нити.

# Сила инерции при поступательном движении



Он запишет уравнение движения в виде

$$m\vec{a}_0 = \vec{P} + \vec{T}$$

Для наблюдателя в системе  $X', Y'$  масса  $m$  покоится в отклоненном положении, и он приходит к выводу о том, что сумма  $\vec{P} + \vec{T}$  физических сил уравновешивается некоторой силой  $\vec{F}_{\text{ин}}$  так, что  $\vec{P} + \vec{T} + \vec{F}_{\text{ин}} = 0$

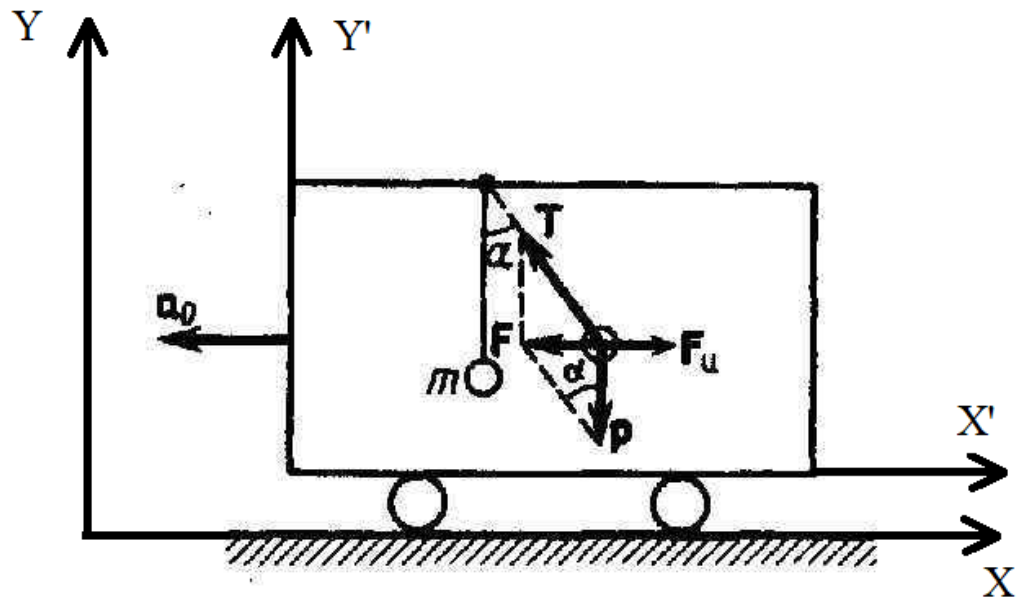
или 
$$-\vec{F}_{\text{ин}} = \vec{P} + \vec{T}$$

# Сила инерции при поступательном движении

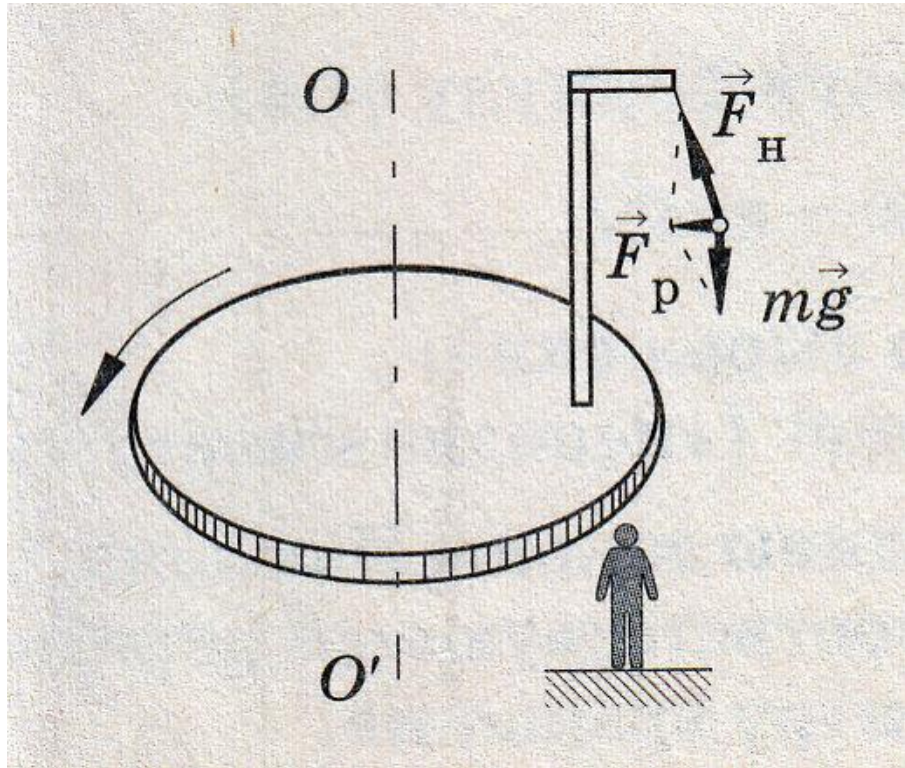
Ясно, что

$$\vec{F}_{\text{ин}} = -m\vec{a}_0$$

Эту «фиктивную» силу надо добавлять для описания движения в неинерциальной системе отсчета при поступательном движении последней относительно инерциальной системы координат.

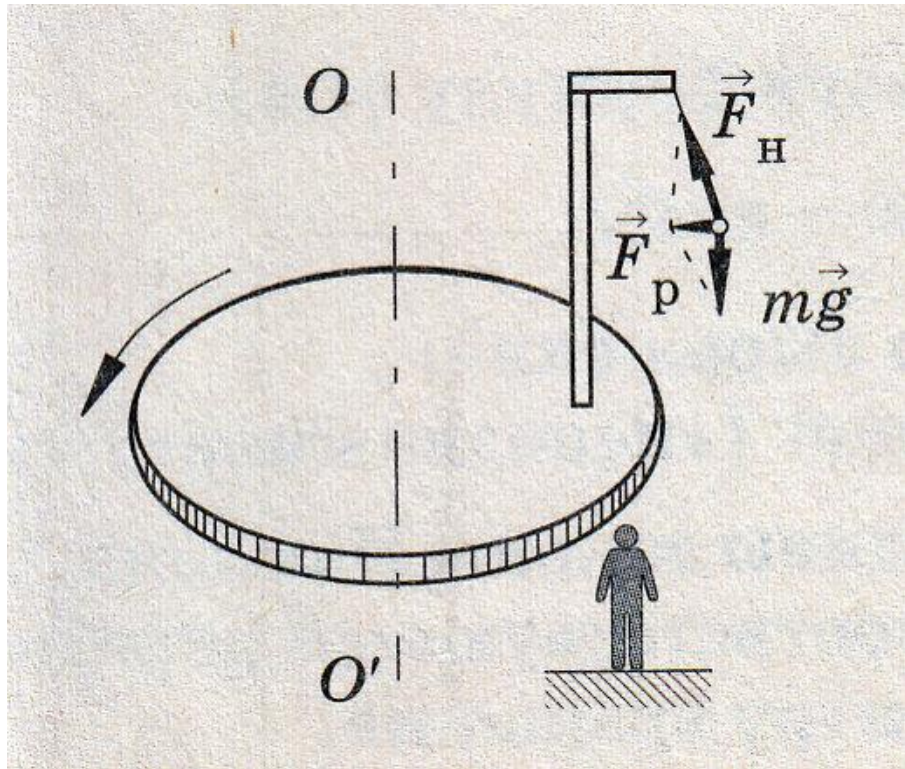


# Силы инерции при вращательном движении. Центробежная сила инерции



Пусть неинерциальная система координат  $X', Y', Z'$  вращается вокруг оси  $Z$  инерциальной системы координат  $X, Y, Z$ . С неинерциальной системой связана платформа, на которой находится маятник. Он вращается вместе с платформой и отклоняется на некоторый угол (см. рис).

# Силы инерции при вращательном движении. Центробежная сила инерции



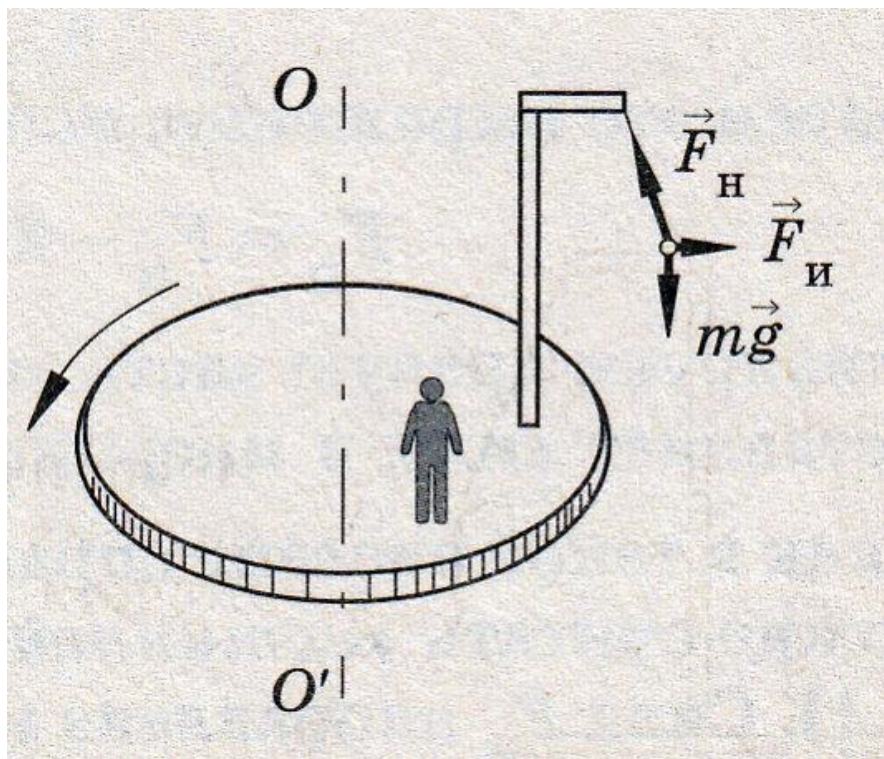
Тогда для наблюдателя в системе  $X, Y, Z$  масса  $m$  вращается — движется по окружности. Маятник отклонен. На него действуют две физические силы — сила тяжести  $\vec{P} = m\vec{g}$  и сила натяжения нити  $\vec{F}_H$ . В сумме эти две силы создают результирующую силу  $\vec{F}_p$ , которая направлена к оси вращения и создает центростремительное ускорение — это так называемая центростремительная сила:

$$\vec{F}_p = \vec{F}_{\text{ц.с.}} = m\vec{g} + \vec{F}_H = m\vec{a}_{\text{ц.с.}}$$

$$\vec{a}_{\text{ц.с.}} = \frac{v^2}{R} \vec{n} = \omega^2 R \vec{n} = -\omega^2 \vec{R}$$



# Силы инерции при вращательном движении. Центробежная сила инерции



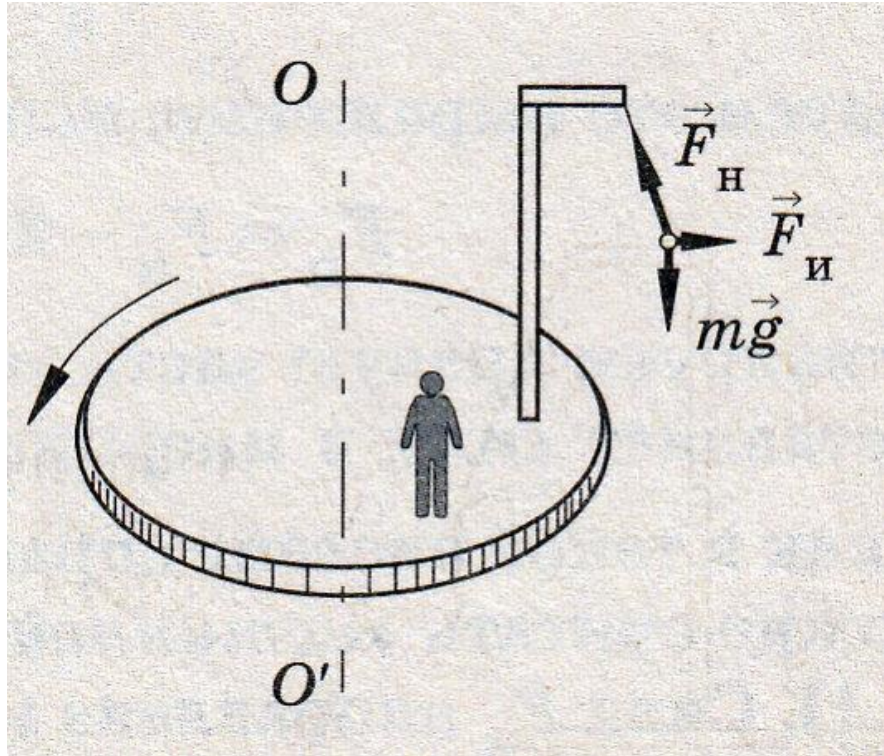
Для наблюдателя во вращающейся системе маятник отклонен от вертикального положения, и масса находится в покое. Следовательно, имеется какая-то сила, которая уравнивает силу  $m\vec{g} + \vec{F}_H$  то есть (рис.)

$$m\vec{g} + \vec{F}_H + \vec{F}_И = 0$$

Сила  $\vec{F}_И$  направлена от центра (рис.). Это так называемая центробежная сила инерции

$$-\vec{F}_И = m\vec{g} + \vec{F}_H$$

# Силы инерции при вращательном движении. Центробежная сила инерции



Совместно обсуждая проблему, наблюдатели в обеих системах координат приходят к выводу, что фиктивная сила – центробежная сила инерции –

$$\vec{F}_И = -m\omega^2 \vec{R}$$

# Центробежная сила инерции

Таким образом, любые задачи о покоящихся телах во вращающейся системе отсчета должны исходить из уравнения

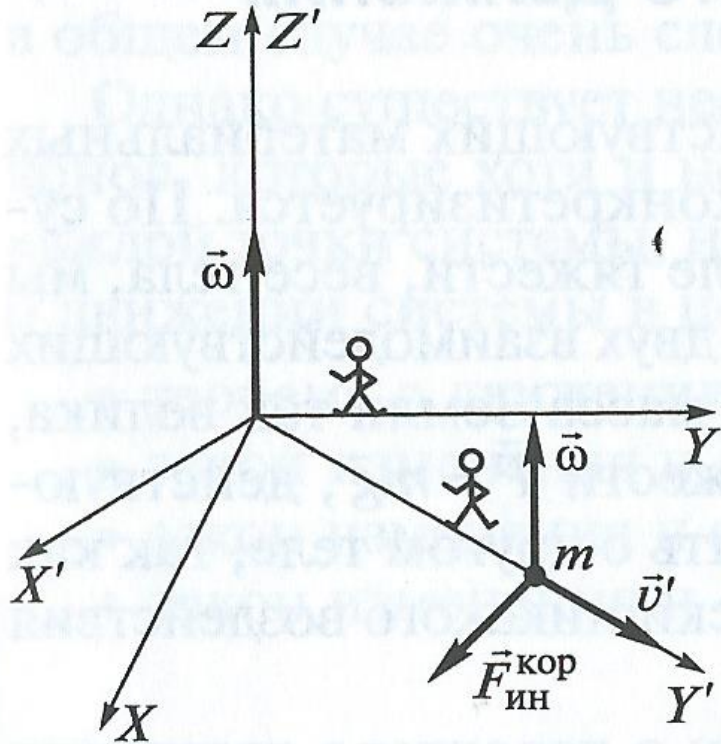
$$m \frac{d^2 \vec{r}'}{dt^2} = \vec{F}_{\text{физ}} + \vec{F}_{\text{ин}}$$

где  $\vec{F}_{\text{физ}}$  – сумма реальных физических сил, а  $\vec{F}_{\text{ин}}$  – центробежная сила инерции.

**Центростремительная сила** – *физическая сила в инерциальной системе координат, центробежная сила инерции* – *фиктивная сила, возникающая в неинерциальной системе координат.*

На любое тело, находящееся на поверхности Земли действует центробежная сила инерции, максимальная на экваторе. Эта «фиктивная» сила уменьшает вес тела, хотя сила тяжести остается неизменной.

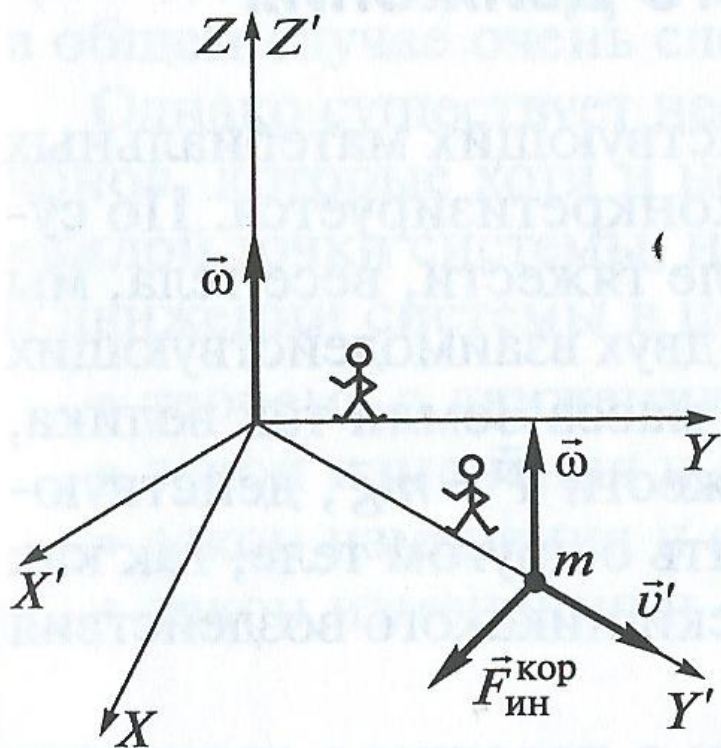
# Сила Кориолиса



В рассмотренных выше случаях тело покоилось в неинерциальной системе координат. Рассмотрим более сложный случай, когда оно движется в этой системе (рис.).

Пусть  $X, Y, Z$  - инерциальная система координат,  $X', Y', Z'$  - неинерциальная, движущаяся с ускорением относительно инерциальной. Это движение - вращение вокруг оси  $Z$  с угловой скоростью  $\omega$ . Тело массы  $m$  движется в неинерциальной системе вдоль оси  $Y'$  со скоростью  $\vec{v}'$ .

# Сила Кориолиса



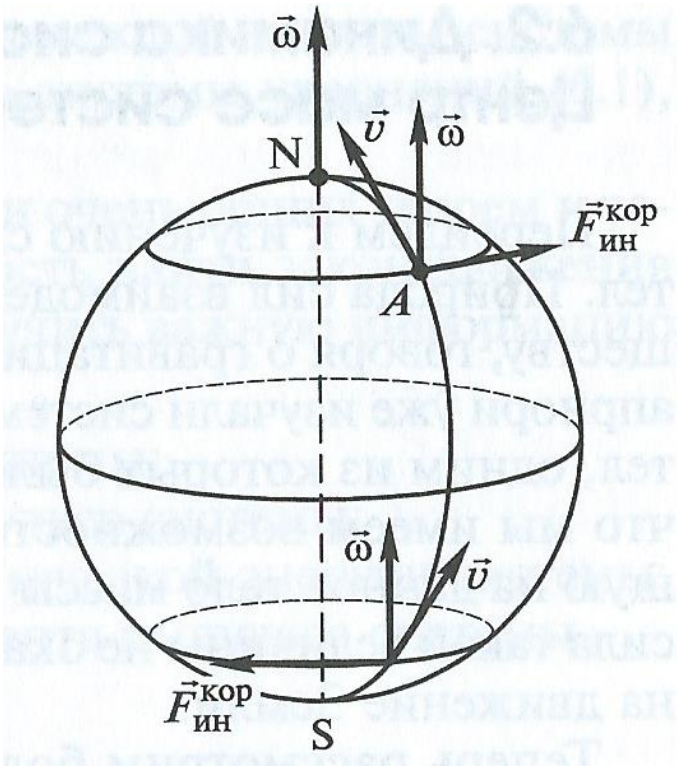
В этом случае к центробежной силе инерции добавляется **сила инерции Кориолиса**  $\vec{F}_{\text{ин}}^{\text{кор}} = 2m[\vec{v}' \cdot \vec{\omega}]$ , так, что полная сила инерции складывается из центробежной силы и силы Кориолиса:

$$\vec{F}_{\text{ин}}^{\Sigma} = m\omega^2 \vec{R} + 2m[\vec{v}' \cdot \vec{\omega}]$$

Сила  $\vec{F}_{\text{ин}}^{\text{кор}}$  действует перпендикулярно  $\vec{v}'$  и  $\vec{\omega}$ , искривляя траекторию движения в неинерциальной системе координат.

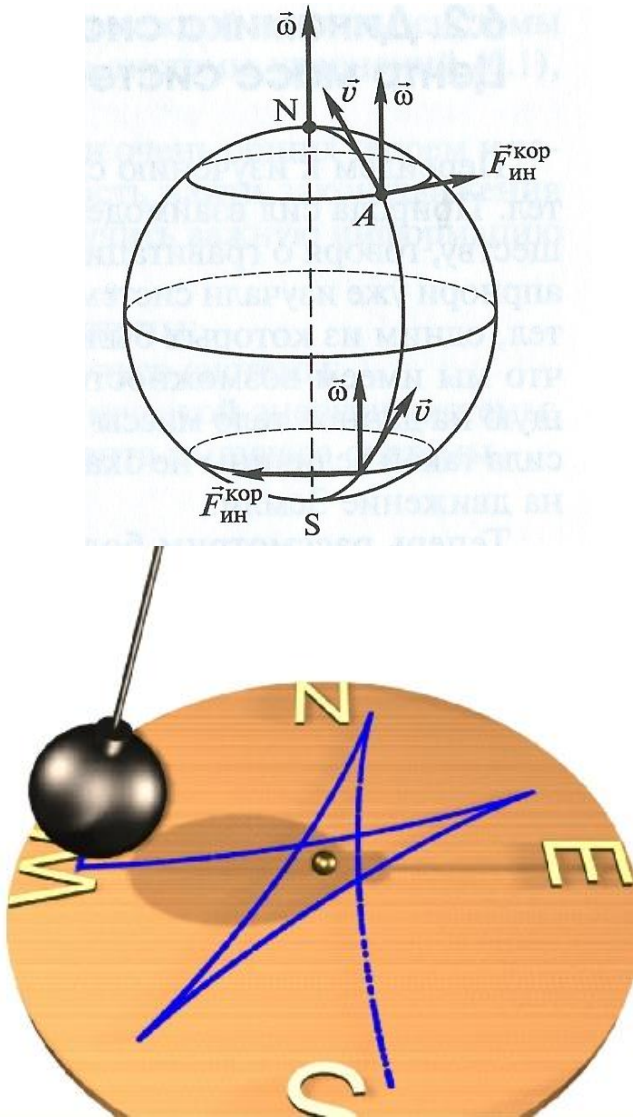
# Сила Кориолиса

Сила Кориолиса проявляется при движении по поверхности земного шара, обладающего определенной угловой скоростью благодаря суточному вращению. Предположим, например, что поезд  $A$  идет в северном полушарии по меридиану (см. рис.). Тогда вектор  $\vec{v}'$  составляет острый угол с  $\vec{\omega}$  и сила Кориолиса  $\vec{F}_{\text{ин}}^{\text{кор}}$  направлена *направо* по ходу поезда. На *правый* рельс оказывается большее давление, чем на левый, соответственно, он изнашивается сильнее.



# Сила Кориолиса

В южном полушарии сила Кориолиса при движении поезда на юг будет направлена налево, и сильнее изнашивается левый рельс. В южном полушарии сила Кориолиса при движении поезда на юг будет направлена налево, и сильнее изнашивается левый рельс. Другим примером влияния сил Кориолиса на движение тел является отклонение свободно падающих тел к востоку от вертикали. Наличие силы Кориолиса объясняет также поворот плоскости качаний маятника на поверхности Земли.



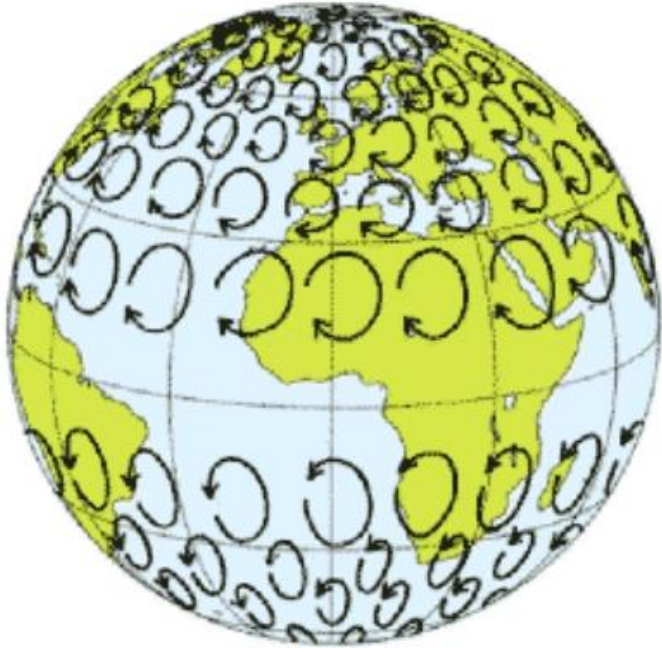
# Сила Кориолиса



Точно так же наличие силы Кориолиса приводит к подмыванию реками в северном полушарии – правого, а в южном – левого берегов (закон Бера). На фото река Муррей (Австралия)



# Сила Кориолиса



Сила Кориолиса вносит решающий вклад в динамику атмосферы, определяя направление и силу преобладающих ветров и циклонов, а в гидросфере направление океанских течений.

## Вывод

Итак, если мы находимся в *неинерциальной системе координат* и хотим правильно описать происходящие в ней движения, нужно использовать уравнение движения второго закона Ньютона, учитывающее силы инерции. В самом общем случае поступательного и вращательного движений неинерциальной системы уравнение движения в векторной форме принимает вид

$$m \frac{d^2 \vec{r}'}{dt^2} = \sum_i \vec{F}_i^{\text{физ}} - m \vec{a}_0 + m \omega^2 \vec{R} + 2m [\vec{v}' \cdot \vec{\omega}]$$

где суммируются все физические силы, действующие на массу  $m$ .

## Литература

Б.А. Струков, Л.Г. Антошина, С.В. Павлов. Физика. М., 2011,  
С. 46-49.

Видеоматериалы по теме лекции смотрите на сайте [swcuspr.ukit.me](http://swcuspr.ukit.me)  
в разделе «видеоматериалы»:

«Силы инерции при вращательном движении», «Первая  
космическая скорость. Сила тяжести и вес»

Тема следующей лекции: Динамика системы материальных точек.  
Закон сохранения и изменения импульса