Лекция 8(часть 2)

Неинерциальные Системы Отсчета

Содержание

Введение. Что мы измеряем, становясь на весы? (1/3)

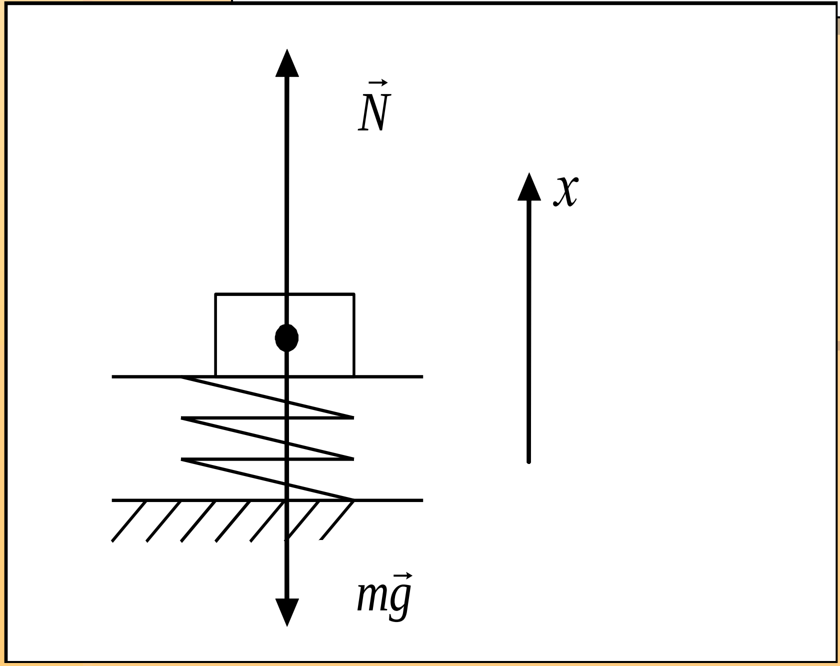
Законы Ньютона «работают» в Инерциальных Системах Отсчета (ИСО)

(см. I закон Ньютона)

Вопросы: 1. Возможно ли применить законы Ньютона в НиСО.

2. Как это сделать?

3. Насколько это актуально?



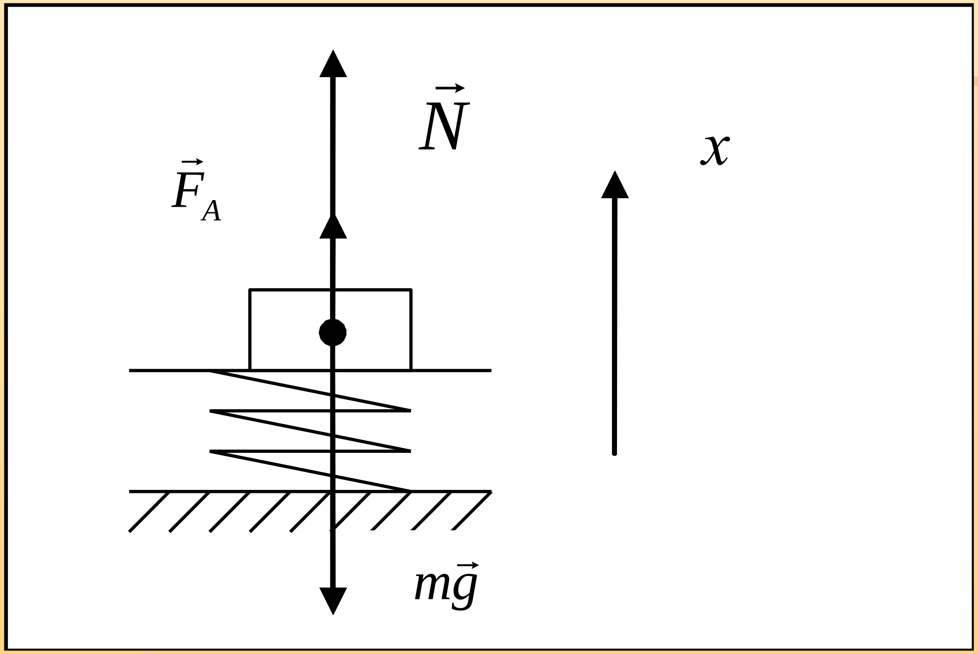
$$m\vec{g} + \vec{N} = 0,$$

$$N = mg \Rightarrow m = \frac{N}{g}.$$

Это та масса, которую показывают весы.

Введение. Что мы измеряем, становясь на весы? (2/3)

Учтем Силу Архимеда.



$$m'\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_A=0,$$

$$-m'g+N+F_A=0\Rightarrow$$

$$\Rightarrow N=m'g-F_A,$$

$$m=\frac{N}{g}=m'-\frac{\rho gV}{g}.$$

m – это та масса, которую показывают весы.

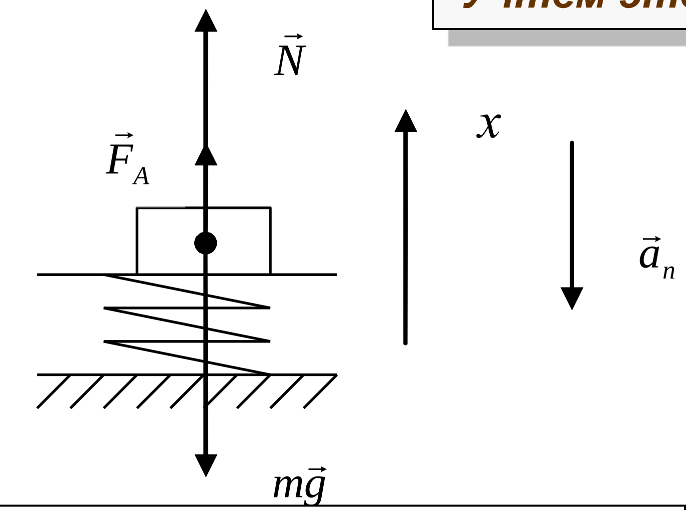
m' – это «реальная» масса.

Для человека массой 70 кг весы будут показывать на 100 г меньше.

Введение. Что мы измеряем, становясь на весы? (3/3)

*Система отсчета, связанная с поверхностью Земли – **неинерциальная!***

Учтем это.



$$m''\vec{g}+\vec{N}+\vec{F}_A=\vec{a}_n m'',$$

$$-m''g+N+F_A=-m''a_n,$$

$$N=m''g-F_A-m''a_n,$$

$$m=\frac{N}{g}=m''-\rho V-m''\frac{\omega^2 R_з}{g}=m''-\rho V-m''\left(\frac{2\pi}{T}\right)^2\frac{R_з}{g},$$

m – это та масса, которую показывают весы.

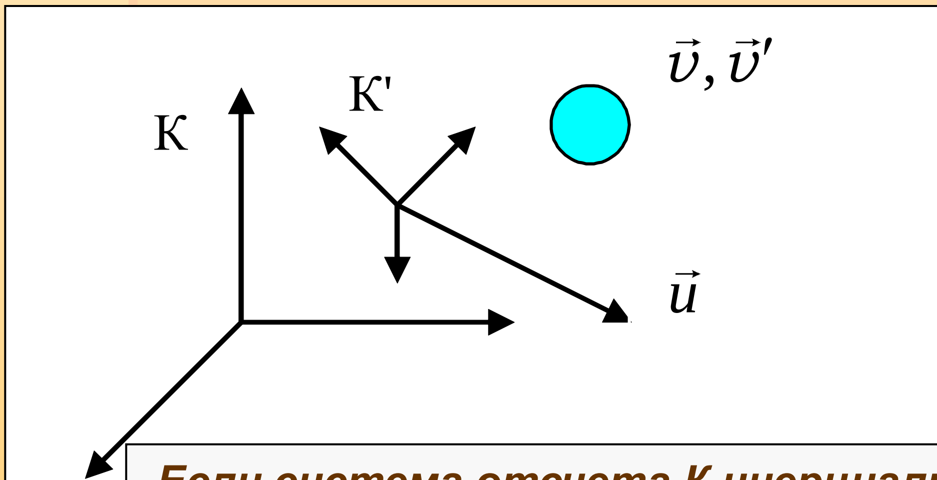
m" – это «более реальная» масса.

Для человека массой 70 кг (на экваторе) весы будут показывать еще на 240 г меньше.

Система отсчета, связанная с поверхностью Земли, лишь приближенно считается инерциальной. Погрешность приближения – около 0,5%.

1. Инерциальные системы отсчета-ИСО (1/1)

Инерциальная система отсчёта – система отсчёта, в которой тела движутся прямолинейно и равномерно (или покоятся), если на них не действуют другие тела, или их действия скомпенсированы.



Если система отсчета K инерциальная, а K' движется с постоянной скоростью и не вращается, то K' тоже инерциальная.

$$\vec{\upsilon} = \vec{\upsilon}' + \vec{u}$$

$$\frac{d\vec{\upsilon}}{dt} = \frac{d\vec{\upsilon}'}{dt} + \frac{d\vec{u}}{dt}$$

$$\vec{a} = \vec{a}\,'$$

Принцип относительности Галилея (или механический принцип относительности): все законы механики одинаково формулируются во всех инерциальных системах отсчёта (например, Второй закон Ньютона).

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

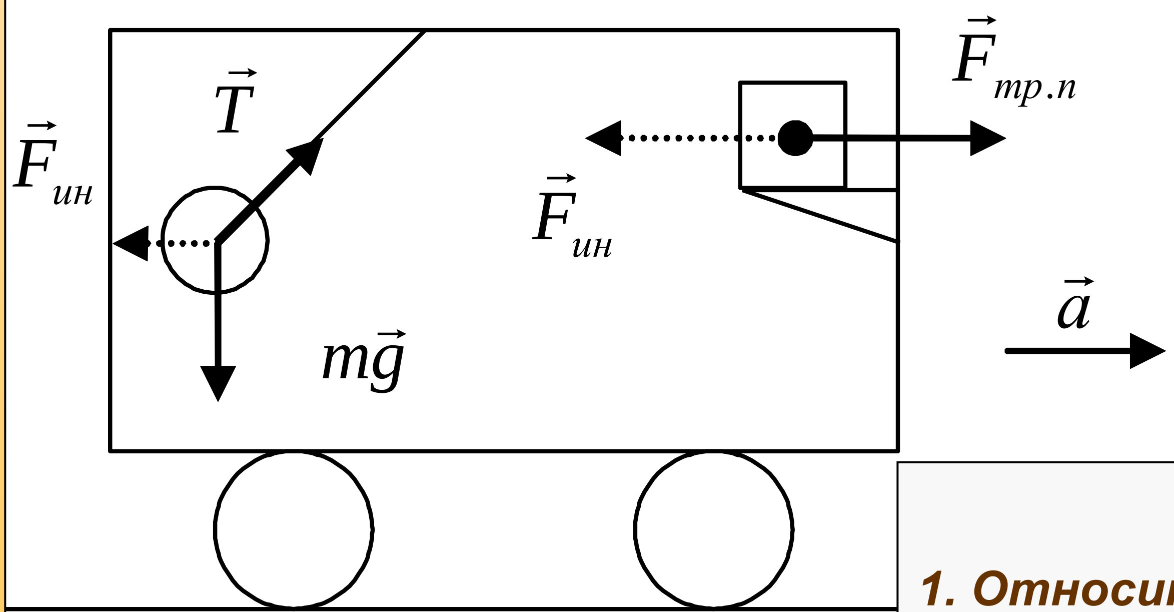
$$m\vec{a}\,' = \sum \vec{F}\,'$$

2. Движение тела в неинерциальной системе отсчета (НеИСО). Силы инерции (1/3)

Законы Ньютона сформулированы для ИСО, в обычной форме не приемлемы для НеИСО.

Например: во время торможения пассажир начинает двигаться в автобусе относительно автобуса (НеИСО), хотя никаких сил на него не действует.

Задача: «приспособить» законы Ньютона к НеИСО.

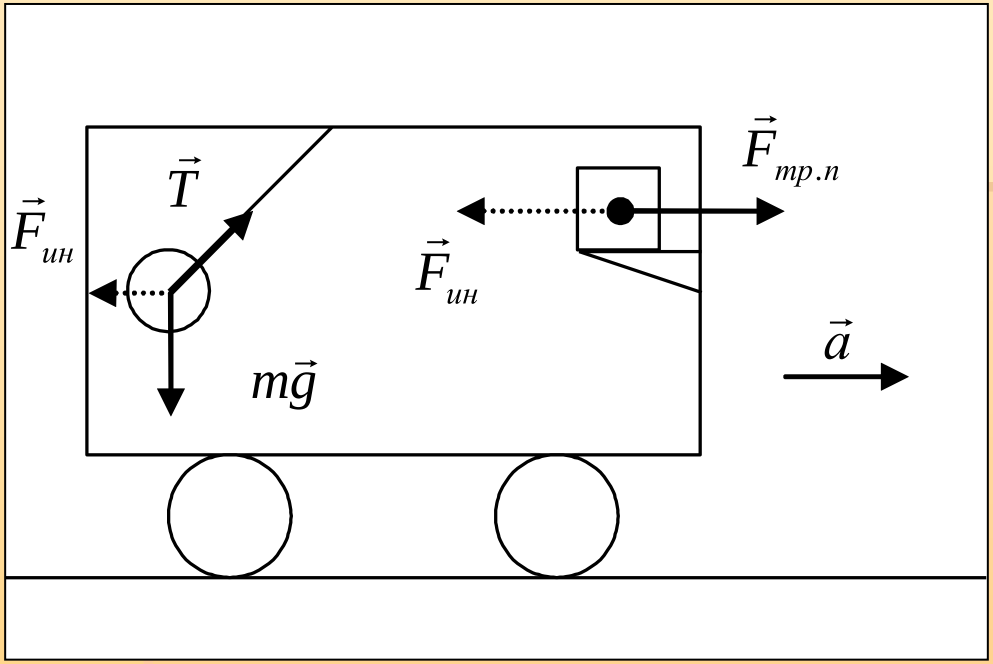


Два способа:

1. Относительно дороги (ИСО).

2. Относительно вагона (НеИСО).

2. Движение тела в неинерциальной системе отсчета (НеИСО). Силы инерции (2/3)



в НеИСО (тела находятся в покое относительно вагона, движущегося с ускорением):

$$\sum \vec{F} = 0$$

Перенесем «ma» через знак равенства:

$$\vec{F}_{тр.п} - m\vec{a} = 0$$

$$\sum \vec{F} = 0$$

$$\vec{F}_{тр.п} + \vec{F}_{ин} = 0 \Rightarrow \vec{F}_{ин} = -m\vec{a}$$

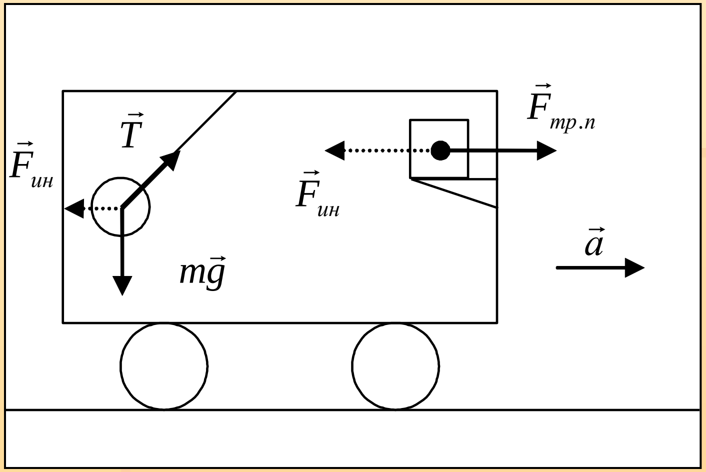
в ИСО (тела движутся с ускорением вместе с вагоном):

$$m\vec{a} = \underbrace{m\vec{g} + \vec{N}}_{=0} + \vec{F}_{тр.п}$$

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

Итак, если в НеИСО к обычным силам добавить силу инерции, то условие равновесия примет обычный вид.

2. Движение тела в неинерциальной системе отсчета (НеИСО). Силы инерции (3/3)



Если в НеИСО к обычным силам, действующим на тело, добавить силу инерции, то и второй закон Ньютона, описывающий движение тела относительно НеИСО, примет обычный вид:

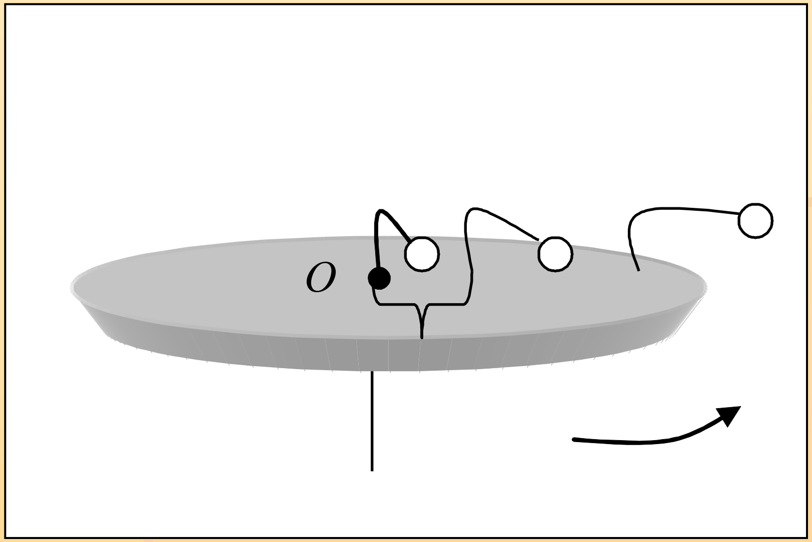
$$m\vec{a}' = \sum \vec{F} + \vec{F}_{ин}$$

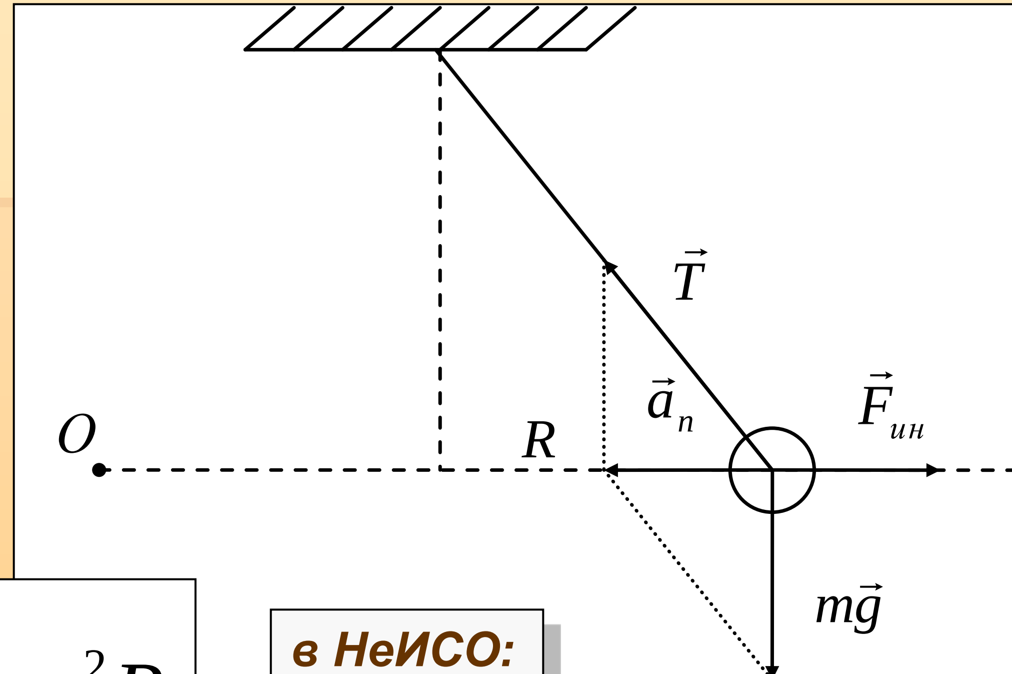
Сила инерции определяется формулой:

$$\vec{F}_{ин} = -m\vec{a}$$

Сила инерции – фиктивная сила. Невозможно указать, со стороны какого тела действует эта сила. Очевидно, для фиктивной силы не имеет смысла третий закон Ньютона.

3. Силы инерции, действующие на тело, покоящееся во вращающейся системе отсчета (1/1)





в ИСО:

$$a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = \omega^2 R;$$

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

$$m\vec{g} + \vec{T} = m\vec{a}_n$$

$$m\vec{g} + \vec{T} = -m\omega^2 \vec{R}$$

$$m\vec{g} + \vec{T} + m\omega^2 \vec{R} = 0$$

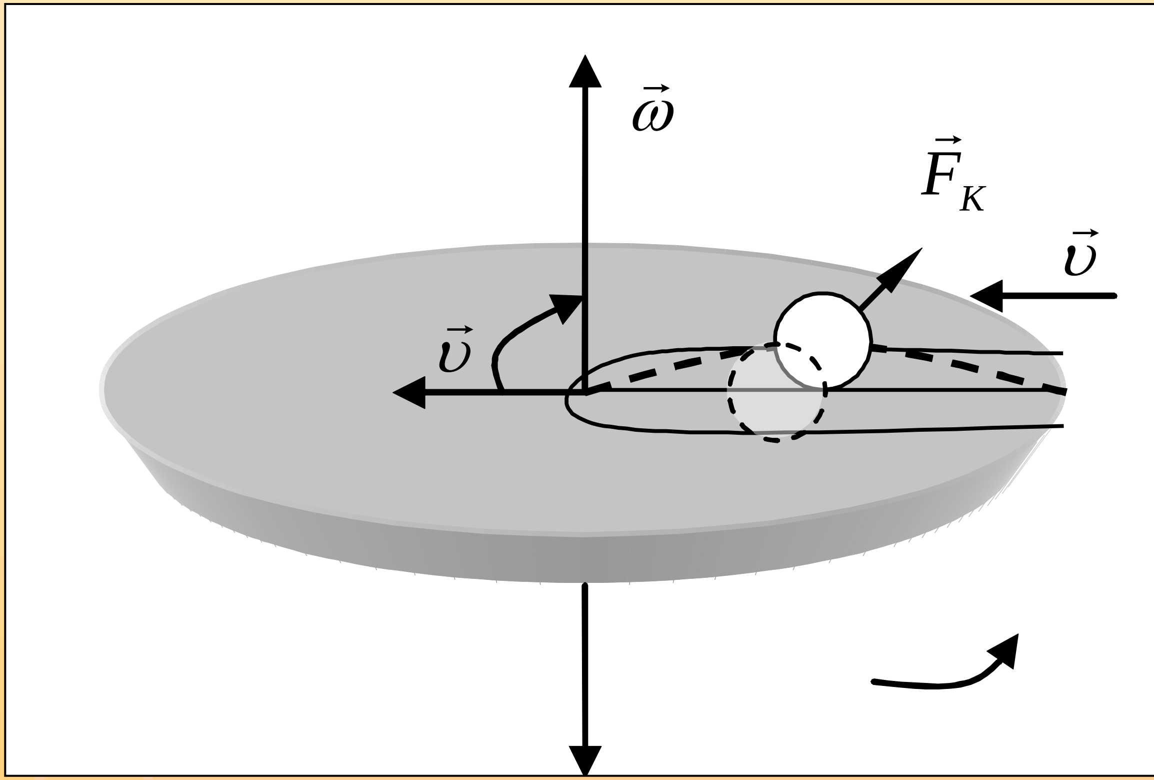
в НеИСО:

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

сравнивая, получаем:

$$\boxed{\vec{F}_{ин} = m\omega^2 \vec{R}}$$

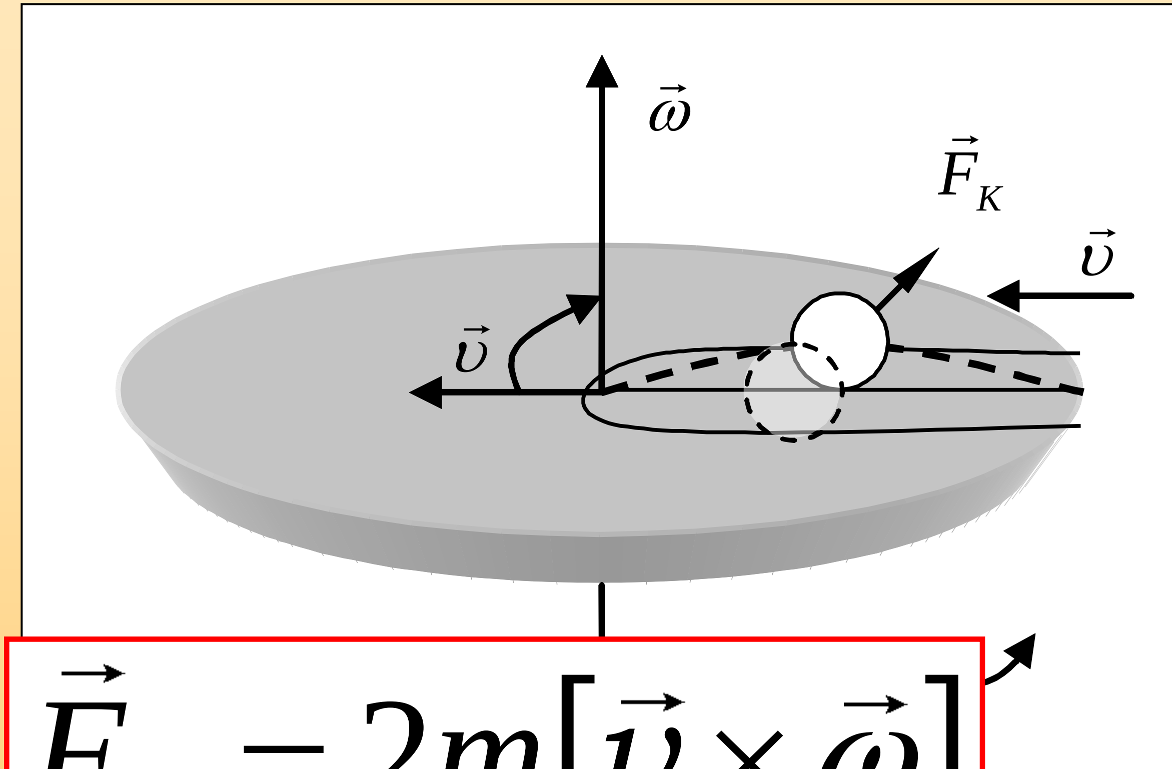
4. Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета (1/3)



<u>Из ИСО видно:</u>

что линейная скорость тела, вращающегося вместе с диском, на краю диска больше чем скорость точек диска ближе к оси, тех точек диска, куда движется тело, приближаясь к оси – «Спица» должна прогнуться, чтобы возникшая сила упругости уменьшила линейную скорость тела при его движении по окружности вместе с диском.

4. Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета (2/3)



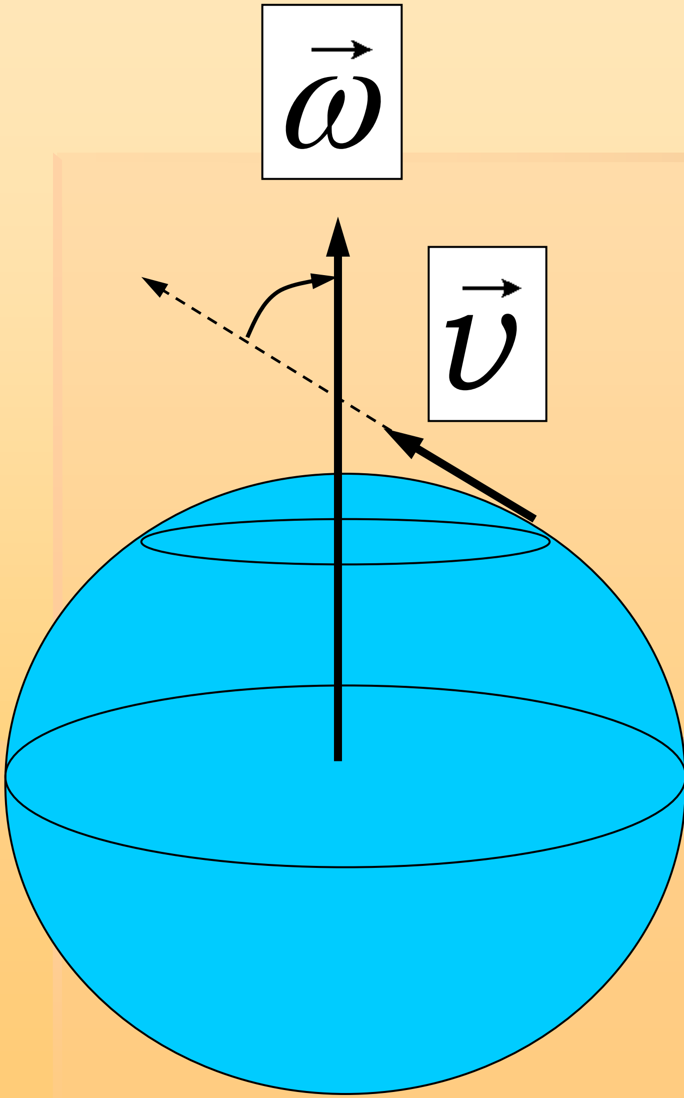
$$\vec{F}_{ин} = 2m[\vec{\upsilon} \times \vec{\omega}]$$

Из НеИСО ***(стоя на диске, вращаясь вместе с ним, «прижавшись спиной к оси вращения»)*** ***видно*** ***:***

что тело, приближаясь к оси диска, вдруг начинает прогибать спицу, значит, при таком движении во вращающейся системе отсчета (движении, при котором меняется расстояние от оси вращения!) на тело действует сила, которая как бы стремится сдвинуть тело в данном случае влево, прогибая спицу, – сила инерции (сила Кориолиса).

Силой Кориолиса ***называется сила инерции, которая действует на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета так, что меняется расстояние от тела до оси вращения.***

4. Силы инерции, действующие на тело, движущееся во вращающейся системе отсчета (3/3)



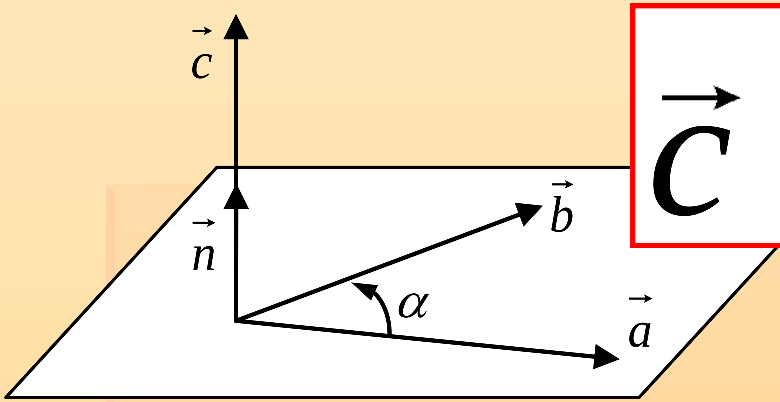
$$\vec{F}_{ин} = 2m[\vec{\upsilon} \times \vec{\omega}]$$

Следствием силы Кориолиса является вымывание правого берега рек, текущих на север в северном полушарии Земли;

значительное отклонение снарядов от намеченной цели при стрельбе на большие расстояния;

и т. д.

Приложение 1.
(Лек.5 – 5). Векторное произведение векторов (1/1)



$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$$

$$\vec{c} = \left[\vec{a}, \vec{b}\right]$$

$$c = ab\sin\alpha$$

Вектора $\vec{a}$, $\vec{b}$ и вектор $\vec{c}$, равный их векторному произведению, образуют правовинтовую тройку векторов, то есть связаны между собой правилом правого винта. Это означает, что при повороте правого винта от вектора $\vec{a}$ к вектору $\vec{b}$ кратчайшим образом поступательное движение правого винта будет совпадать с вектором $\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b}$.

$$\vec{c} = \vec{a} \times \vec{b} = ab\sin\alpha\,\vec{n}$$

Возврат