

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА СИЛЫ ИНЕРЦИИ

- Неинерциальные системы отсчета. Движение материальной точки относительно неинерциальных систем отсчета.
- Силы инерции. Переносная и кориолисова силы инерции. Центробежная сила инерции.
- Примеры проявления сил инерции на Земле.
- Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета.
- Принцип эквивалентности Эйнштейна.

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА СИЛЫ ИНЕРЦИИ

Как было показано на предыдущих лекциях основные положения механики Ньютона справедливы для инерциальной системы отсчета.

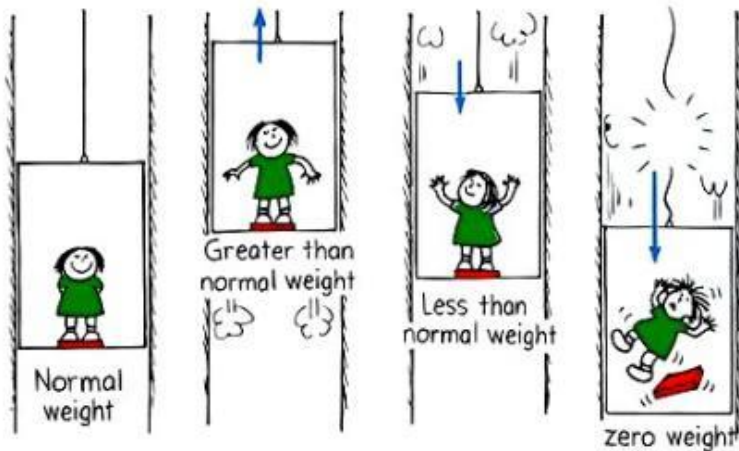
В инерциальных системах отсчета:

1. Ускорения тел вызываются силами.
2. Силы обусловлены действием тел друг на друга и однозначно определяются конфигурацией тел.

Однако опыт нам показывает, что это не всегда так.

Примеры

В других случаях дело обстоит иначе



ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА СИЛЫ ИНЕРЦИИ

В инерциальных системах отсчета:

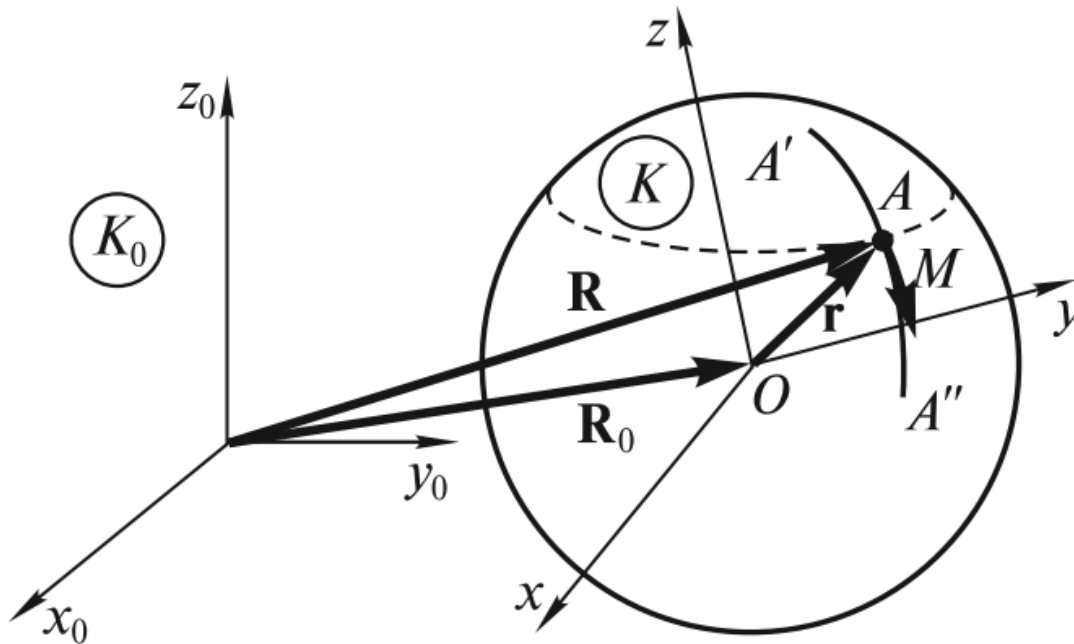
- 1. Ускорения тел вызываются силами.**
- 2. ~~Силы обусловлены действием тел друг на друга и однозначно определяются конфигурацией тел.~~**

Поэтому эти два утверждения не могут быть сохранены при переходе к неинерциальным системам отсчета. В механике отказались от п.2, чтобы оставить в силе п.1.

В неинерциальных системах отсчета по прежнему ускорения вызываются силами, но силы не обязательно обусловлены действием тел друг на друга

ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В НЕИНЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА СИЛЫ ИНЕРЦИИ

Рассмотрим движение материальной точки M относительно как инерциальной системы отсчета K_0 , так и движущейся относительно нее произвольным образом неинерциальной системы K .



$$\mathbf{R}(t) = \mathbf{R}_0(t) + \mathbf{r}(t)$$

ИЛИ

$$\mathbf{r}(t) = \mathbf{R}(t) + \mathbf{r}'(t)$$

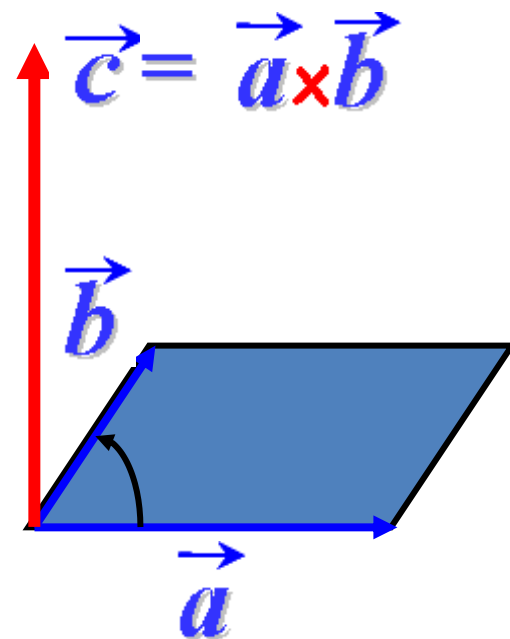
Векторное произведение векторов

Векторным произведением двух ненулевых векторов называется $\vec{a} \times \vec{b}$ вектор \vec{c} , удовлетворяющий трем требованиям:

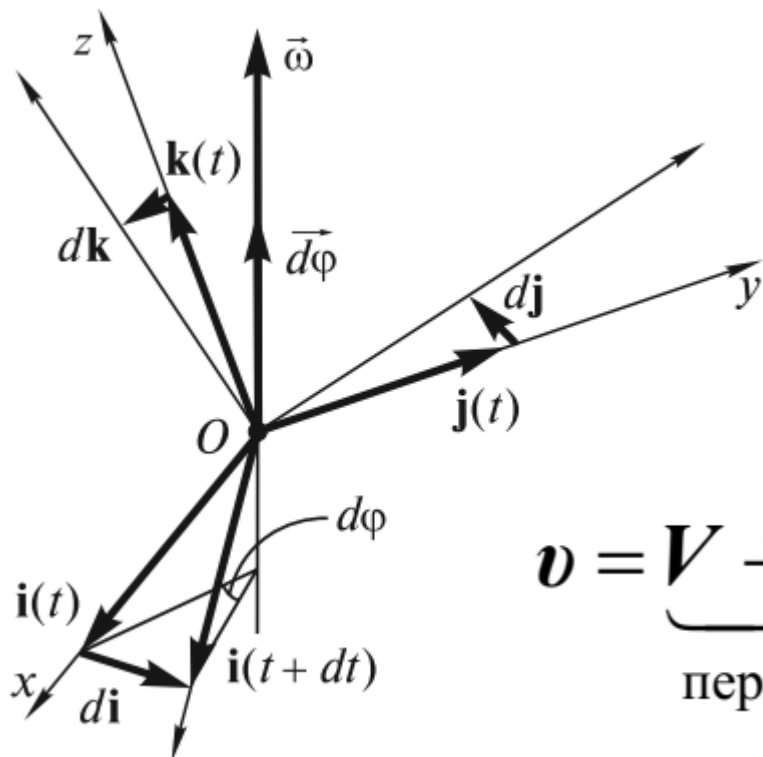
1) $|\vec{a} \times \vec{b}| = |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \sin(\widehat{\vec{a} \vec{b}})$

2) $\vec{c} \perp (\vec{a}, \vec{b})$

3) Тройка векторов $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ является правой.



ДВИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ В НЕИИИЕРЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ОТСЧЕТА СИЛЫ ИИЕРЦИИ



$$d\mathbf{i} = \overrightarrow{d\varphi} \times \mathbf{i}$$

$$\mathbf{v} = \underbrace{V + [\omega r']}_{\text{переносная}} + \underbrace{v'}_{\text{относительная}} = \mathbf{v}_{\text{пер}} + \mathbf{v}'$$

$$\mathbf{a} = \underbrace{A + [\dot{\omega} r'] + [\omega [\omega r']]}_{\text{переносное}} + \underbrace{2[\omega v']}_{\text{Кориолиса}} + \underbrace{a'}_{\text{относительное}}$$

Уравнение движения материальной точки относительно неинерциальной системы отсчета

$$m\mathbf{a} = \sum_i \mathbf{F}_i$$

$$m\mathbf{A} + m[\dot{\boldsymbol{\omega}}\mathbf{r}'] + m[\boldsymbol{\omega}[\boldsymbol{\omega}\mathbf{r}']] + 2m[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}'] + m\mathbf{a}' = \sum_i \mathbf{F}_i,$$

$$m\mathbf{a}' = \underbrace{\sum_i \mathbf{F}_i - m\mathbf{A}}_{\text{переносная}} - \underbrace{m[\dot{\boldsymbol{\omega}}\mathbf{r}'] - m[\boldsymbol{\omega}[\boldsymbol{\omega}\mathbf{r}']]}_{\text{центробежная}} - \underbrace{2m[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}']}_{\text{Кориолиса}},$$

- Сила Кориолиса $\mathbf{F}_{\text{Кор}} = -2m[\boldsymbol{\omega}\mathbf{v}']$
- Центробежная сила $\mathbf{F}_{\text{цб}} = -m[\boldsymbol{\omega}[\boldsymbol{\omega}\mathbf{r}']]$

Замечания

1. Силы инерции обусловлены не взаимодействием тел, а свойствами самих неинерциальных систем отсчета. Поэтому **третий закон Ньютона** не распространяется на силы инерции.
2. Силы инерции существуют только в неинерциальных системах отсчета.
3. Силы инерции подобно силам тяготения пропорциональны массам. Поэтому в однородном поле сил инерции все тела движутся с одним и тем же ускорением, не зависящим от массы тел как в поле тяготения.

Маятник Фуко

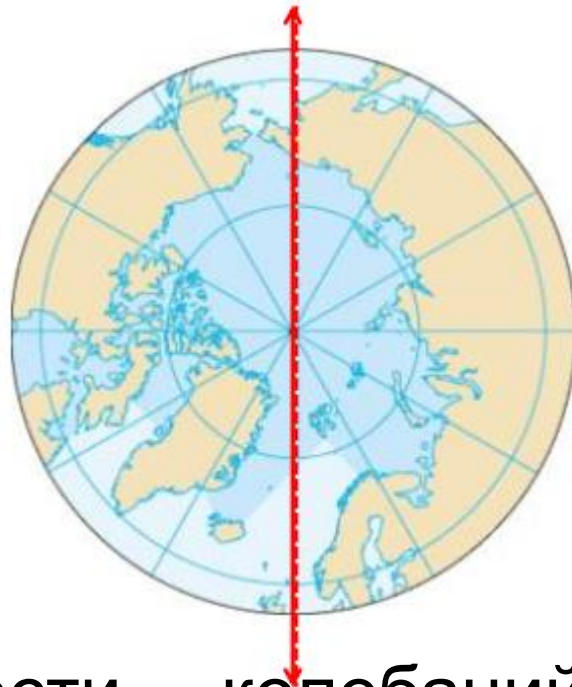
Маятник Фуко.

Первая публичная демонстрация была осуществлена уже в марте 1851 года в парижском Пантеоне: под куполом Пантеона он подвесил металлический шар массой 28 кг с закреплённым на нём остриём на стальной проволоке длиной 67 м.

Период колебания маятника при такой длине подвеса составлял 16,4 секунды, при каждом колебании отклонение от предыдущего пересечения песчаной дорожки составляло около 3 мм, за час плоскость колебаний маятника поворачивалась более чем на 11° по часовой стрелке, то есть примерно за 32 часа совершала полный оборот и возвращалась в прежнее положение.

Маятник Фуко

Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс. Вид сверху с неподвижных звезд

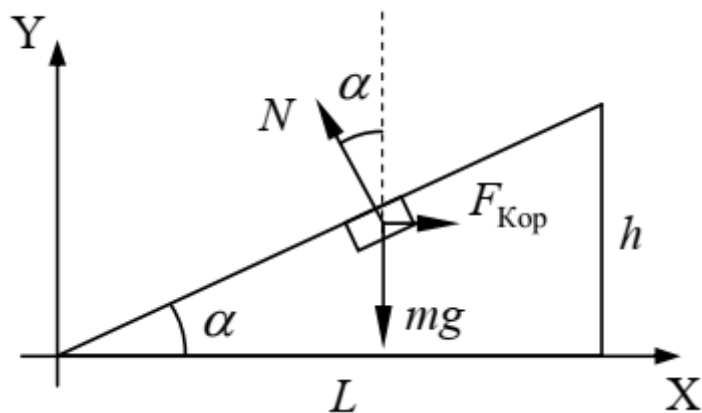


Проекция плоскости колебаний маятника на северный полюс сохраняет положение относительно неподвижных звезд, а Земля поворачивается вокруг своей оси

Отклонение поверхности воды

Вращение Земли вызывает отклонение поверхности воды в реках от горизонтального положения. Определить, у какого берега и на какую величину h уровень воды в реке будет выше. Река течет в северном полушарии на широте $\varphi = 60^\circ$ с севера на юг. Ширина реки $L = 1\text{ км}$, скорость течения $V = 1\text{ м/с}$.

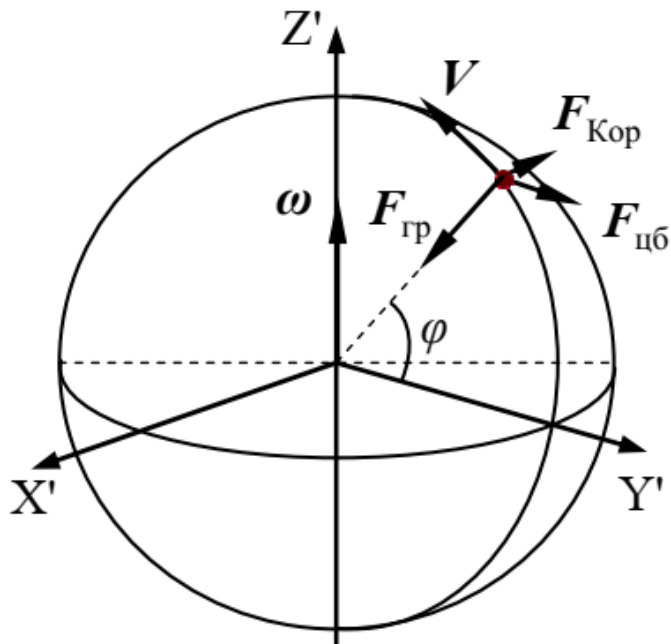
Уровень воды у правого берега будет выше на 1.3 см.



$$h = \frac{2\omega VL \sin \varphi}{g}$$

Отклонение пули

Винтовку с оптическим прицелом навели на вертикальную черту мишени, находящуюся точно в северном направлении, и выстрелили. Пренебрегая сопротивлением воздуха, определить на какое расстояние и в какую сторону пуля, попав в мишень, отклонится от черты. Выстрел произведен вдоль поверхности Земли на широте $\varphi = 60^\circ$, начальная скорость пули 900 м/с , расстояние до мишени $1 \text{ с} = \text{км}$.



$$l = \frac{\omega s^2 \sin \varphi}{V} \approx 7 \text{ см}$$

Законы сохранения в неинерциальных системах отсчета

Принцип эквивалентности Эйнштейна

Невозможно никакими экспериментами отличить однородное поле тяготения от однородного поля сил инерции.

ИЛИ

Все физические явления в гравитационном поле происходят так же, как и в поле сил инерции, если одинаковы напряженности этих полей в соответствующих точках пространства и одинаковы начальные условия.