Механика

Лекция 5

План лекции

- 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 ИСО

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

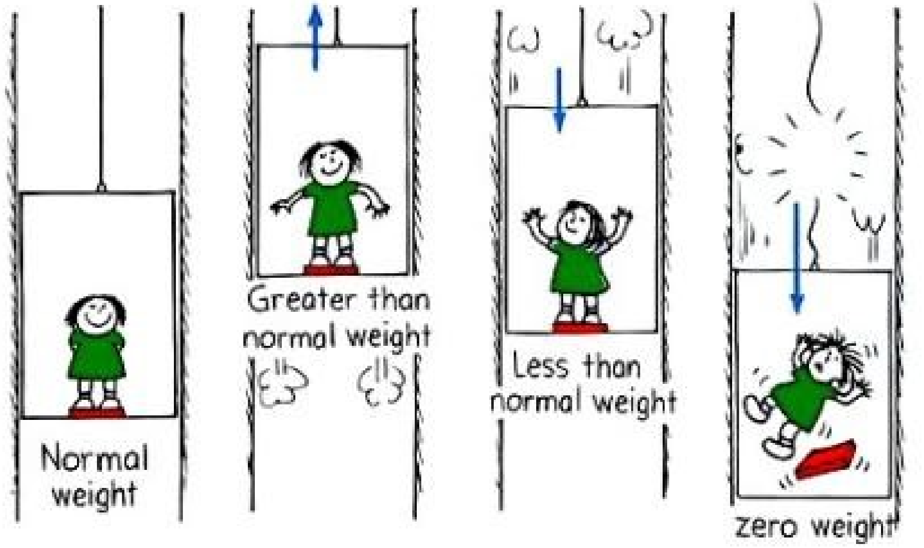
В инерциальных системах отсчета:

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.

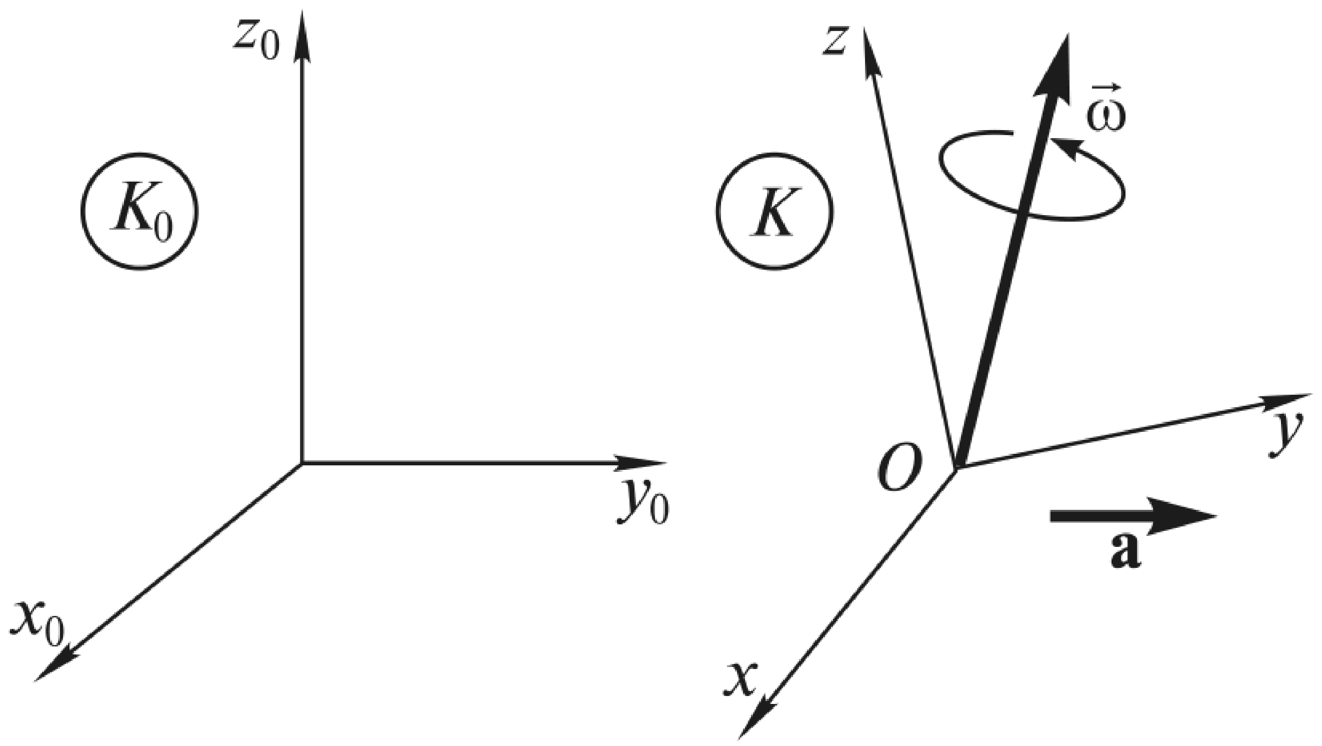
Примеры


G= 7.87
Qual Tng
29-09-15 12:48:54


Normal weight
Greater than normal weight
Less than normal weight
zero weight

Неинерциальные системы отсчета

Пусть есть лабораторная ИСО $К_0$. Тогда любая СО $К$, движущаяся относительно нее с ускорением $\vec{a}$ или вращающаяся с угловой скоростью $\vec{\omega}$ – **НИСО**.



Движение материальной точки в НИСО

В инерциальных системах отсчета:

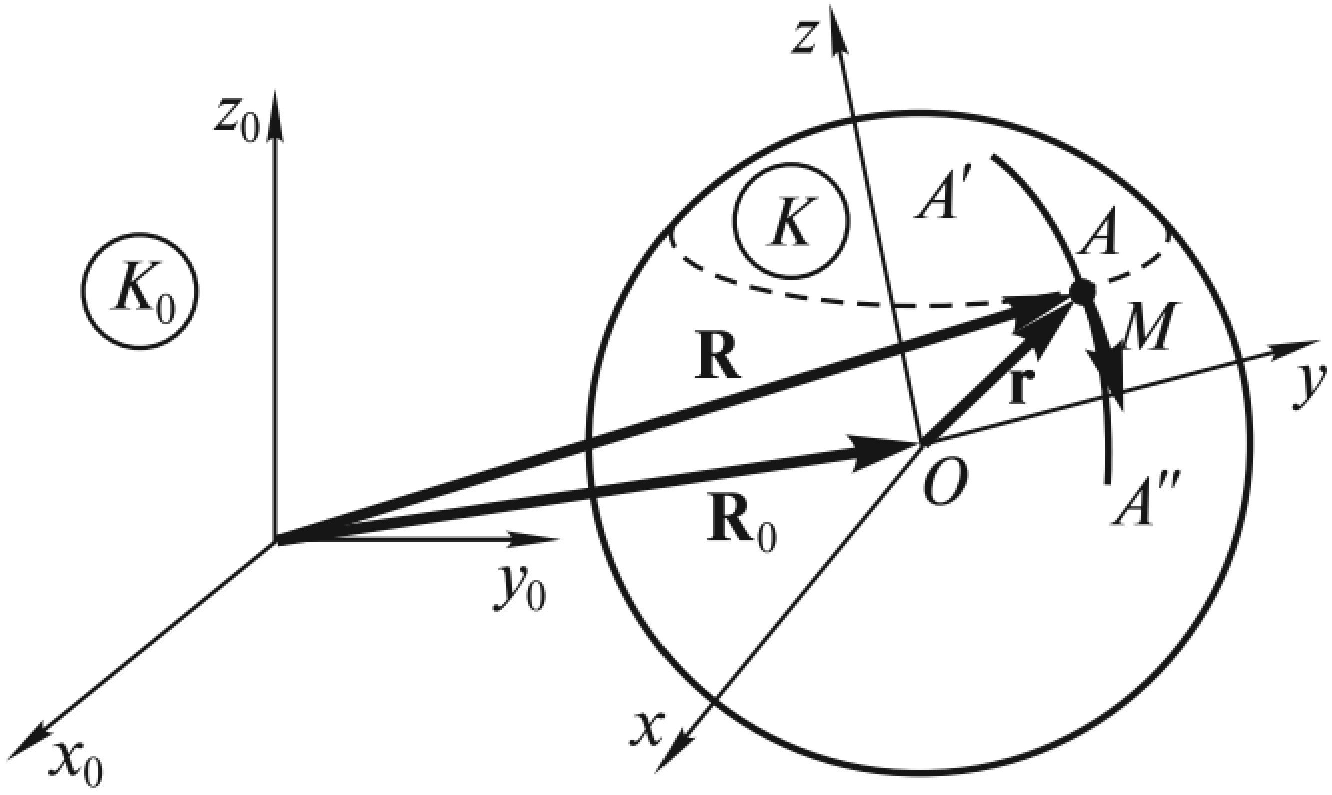
1. **Ускорения тел вызываются силами.**
2. ~~**Силы обусловлены действием тел друг на друга и однозначно определяются конфигурацией тел.**~~

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.

Связь радиус-векторов

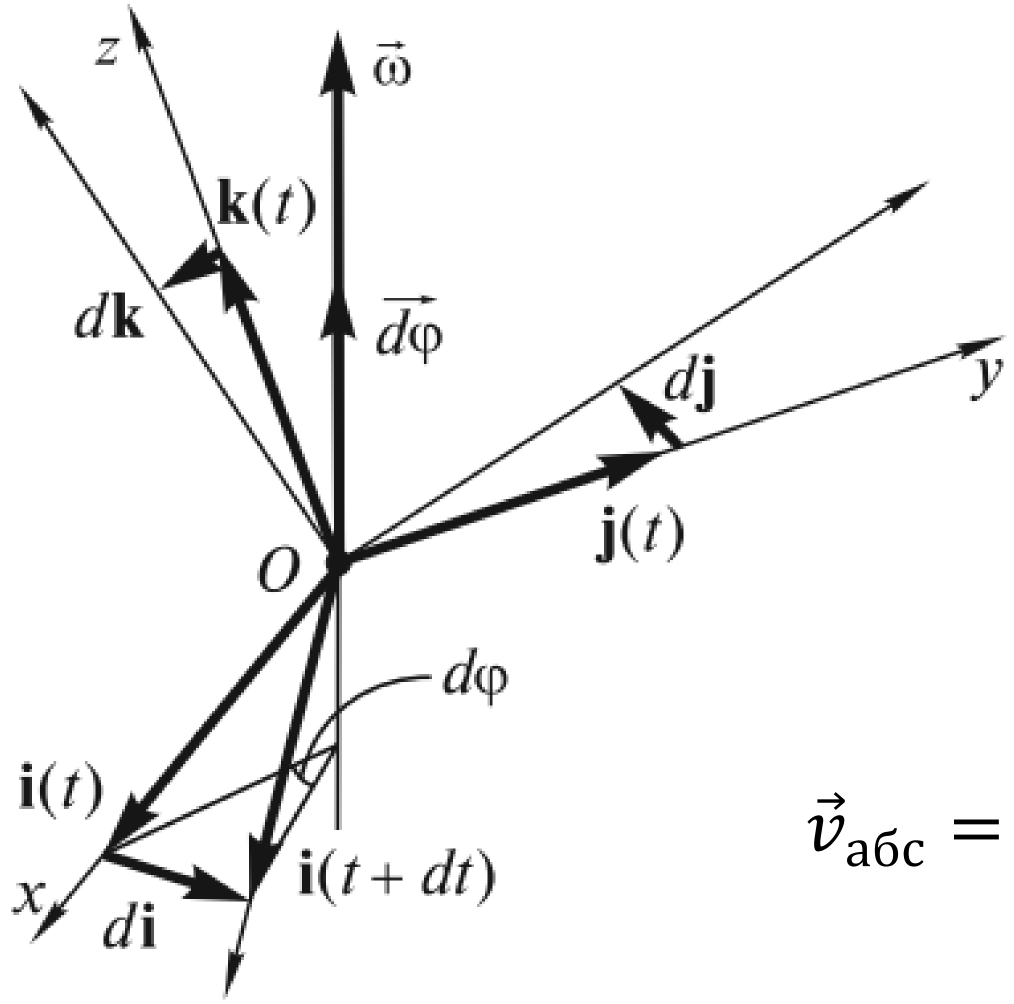
Рассмотрим движение материальной точки М относительно как инерциальной системы отсчета K_0, так и движущейся относительно нее произвольным образом неинерциальной системы K.



Пусть М движется по $A'A''$ и находится в A.

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

Связь скоростей

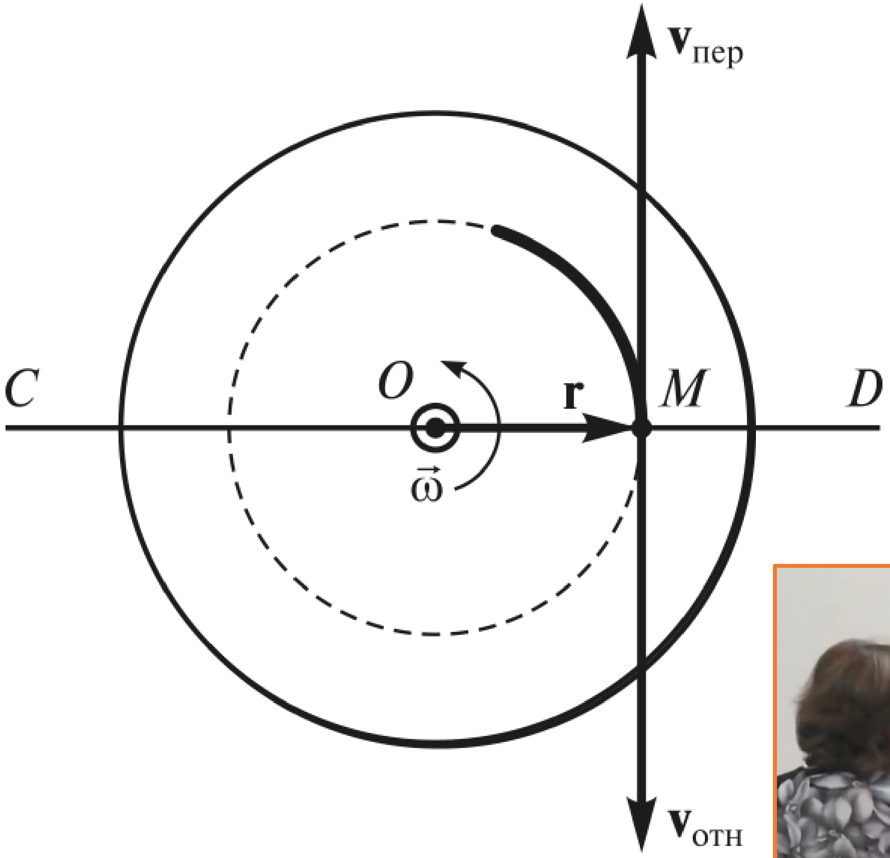


Приращения ортов системы координат К

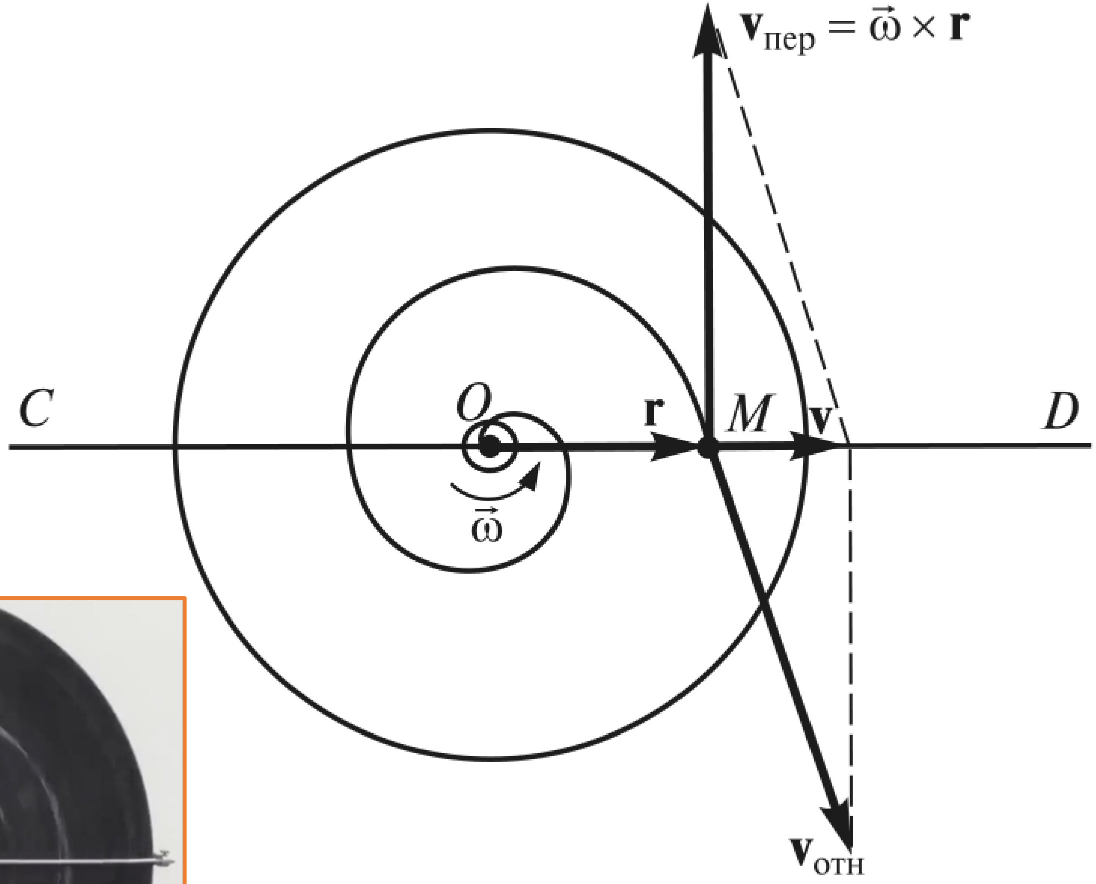
$$d\vec{i} = [d\vec{\varphi} \times \vec{\mathrm{i}}]$$

$$\vec{v}_{\text{абс}} = \vec{v}_{\text{отн}} + \vec{v}_{\text{пер}} = \vec{v}_{\text{отн}} + [\vec{\omega} \times \vec{r}] + \vec{v}_0$$

Пример



$\mathbf{v}_{\text{пер}}$
C
O
r
M
D
$\vec{\omega}$
$\mathbf{v}_{\text{отн}}$



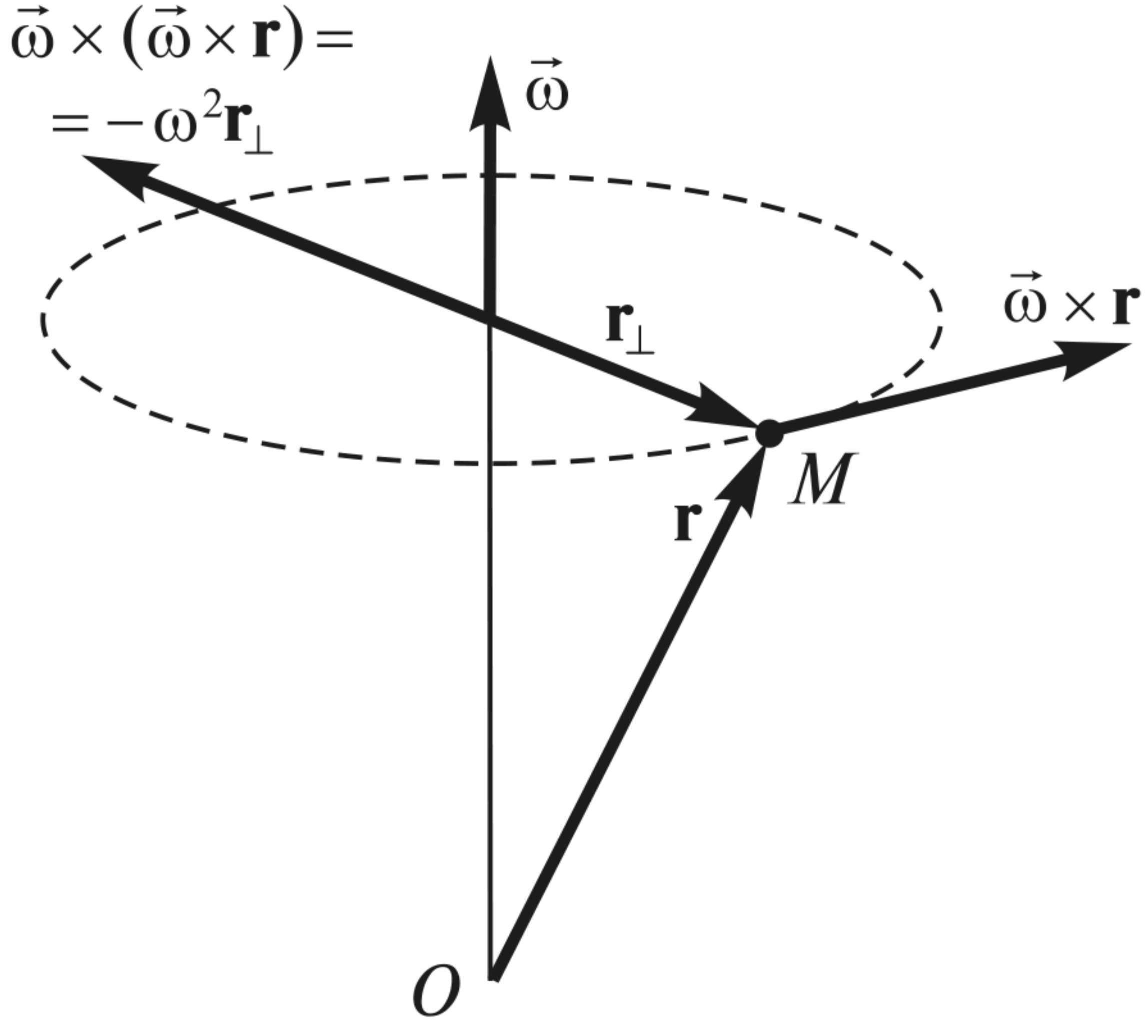
$\mathbf{v}_{\text{пер}} = \vec{\omega} \times \mathbf{r}$
C
O
r
M
v
D
$\vec{\omega}$
$\mathbf{v}_{\text{отн}}$

Связь ускорений

$$\vec{a}_{\text{абс}} = \underbrace{\vec{a}_0 + [\dot{\vec{\omega}} \times \vec{r}] + \underbrace{[\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{r}]]}_{\text{центростремительное}}}_{\text{переносное}} + \underbrace{2[\vec{\omega} \times \vec{v}]}_{\text{Кориолисово}} + \vec{a}_{\text{отн}}$$

Теорема Кориолиса о сложении ускорений $\vec{a}_{\text{абс}} = \vec{a}_{\text{пер}} + \vec{a}_{\text{кор}} + \vec{a}_{\text{отн}}$

Центростремительное ускорение



Силы инерции

Уравнение движения $\quad m\vec{a}_{\text{абс}} = \vec{F}$

$$m\vec{a}_{\text{отн}} = \underbrace{\sum_i \vec{F}_i}_{\substack{\text{Внешние} \\ \text{силы}}} + \underbrace{\vec{F}_{\text{п}}}_{\substack{\text{Ускоренное} \\ \text{поступа-} \\ \text{тельное} \\ \text{движение}}} + \underbrace{\vec{F}_{\text{н}}}_{\substack{\text{Неравно-} \\ \text{мерность} \\ \text{вращения}}} + \underbrace{\vec{F}_{\text{цб}}}_{\text{Центробежная}} + \underbrace{\vec{F}_{\text{Кор}}}_{\text{Кориолиса}}$$

$$\vec{F}_{\text{п}} = -m\vec{a}_0 \qquad \vec{F}_{\text{цб}} = -m[\vec{\omega} \times [\vec{\omega} \times \vec{r}]]$$

$$\vec{F}_{\text{н}} = -m[\dot{\vec{\omega}} \times \vec{r}] \qquad \vec{F}_{\text{Кор}} = -2m[\vec{\omega} \times \vec{v}]$$

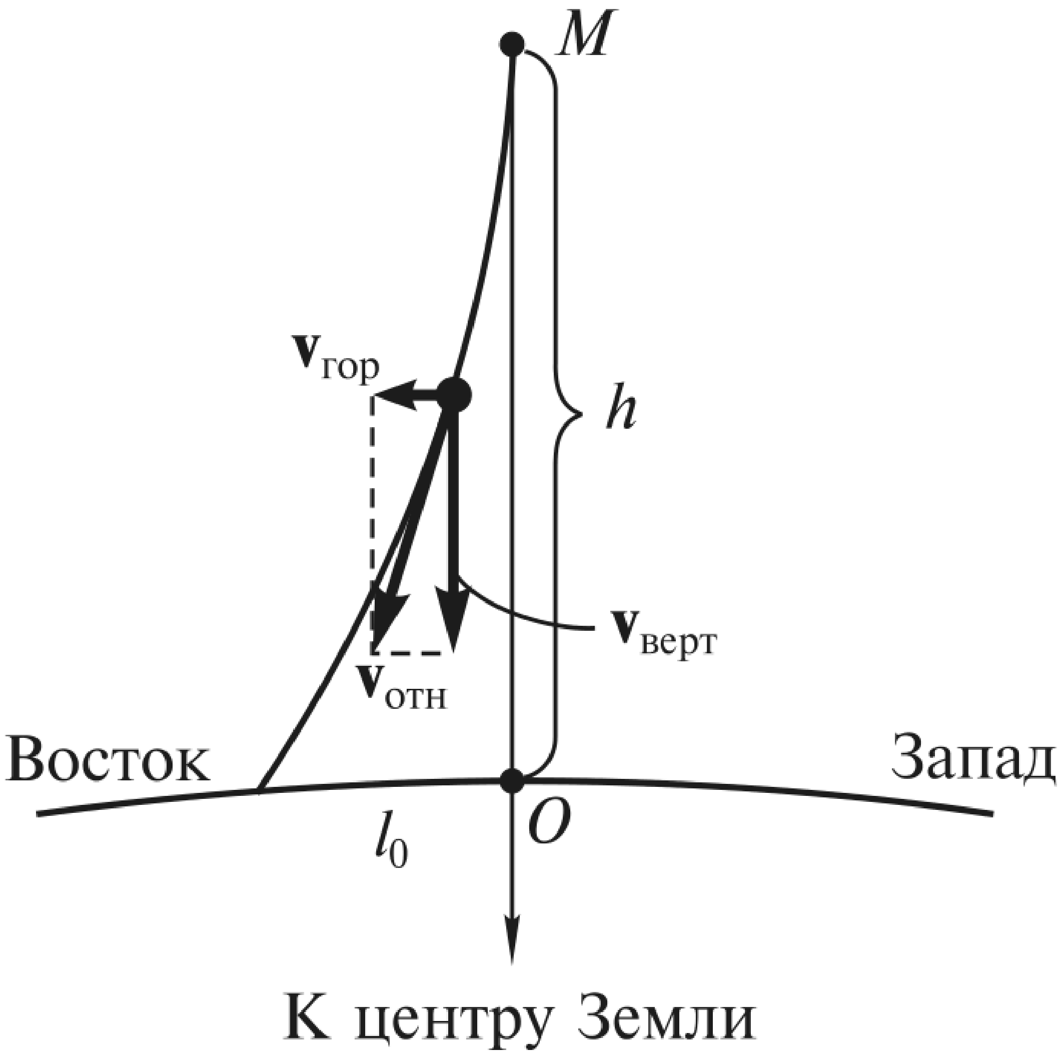
Замечания

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 – «ненастоящие силы».

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.

Отклонение падающих тел к востоку



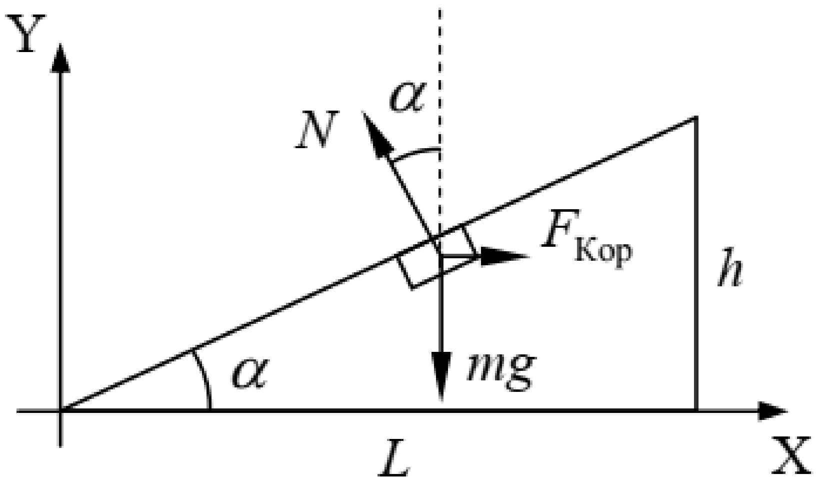
$$l_0 = \frac{2}{3}\omega h\sqrt{\frac{2h}{g}}$$

$$l_0(100\ \text{м}) \approx 2{,}2\ \text{см}$$

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 $\varphi = 60^o$ с севера на юг. Ширина реки $L = 1$ км , скорость течения $V = 1$ м/с.

Уровень воды у правого берега будет выше на 1.3 см.



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

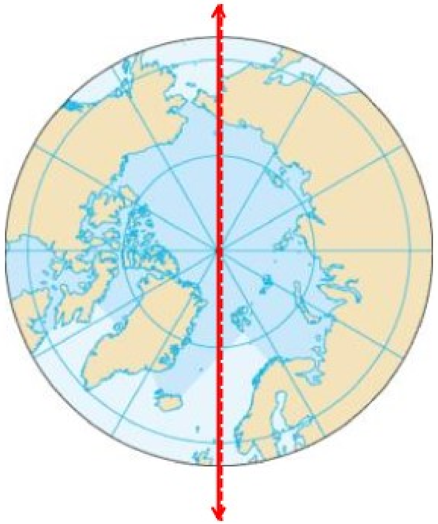
Маятник Фуко

Первая публичная демонстрация была осуществлена в марте 1851 года в парижском Пантеоне: под куполом Пантеона Жан Бернар Леон Фуко 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.

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.

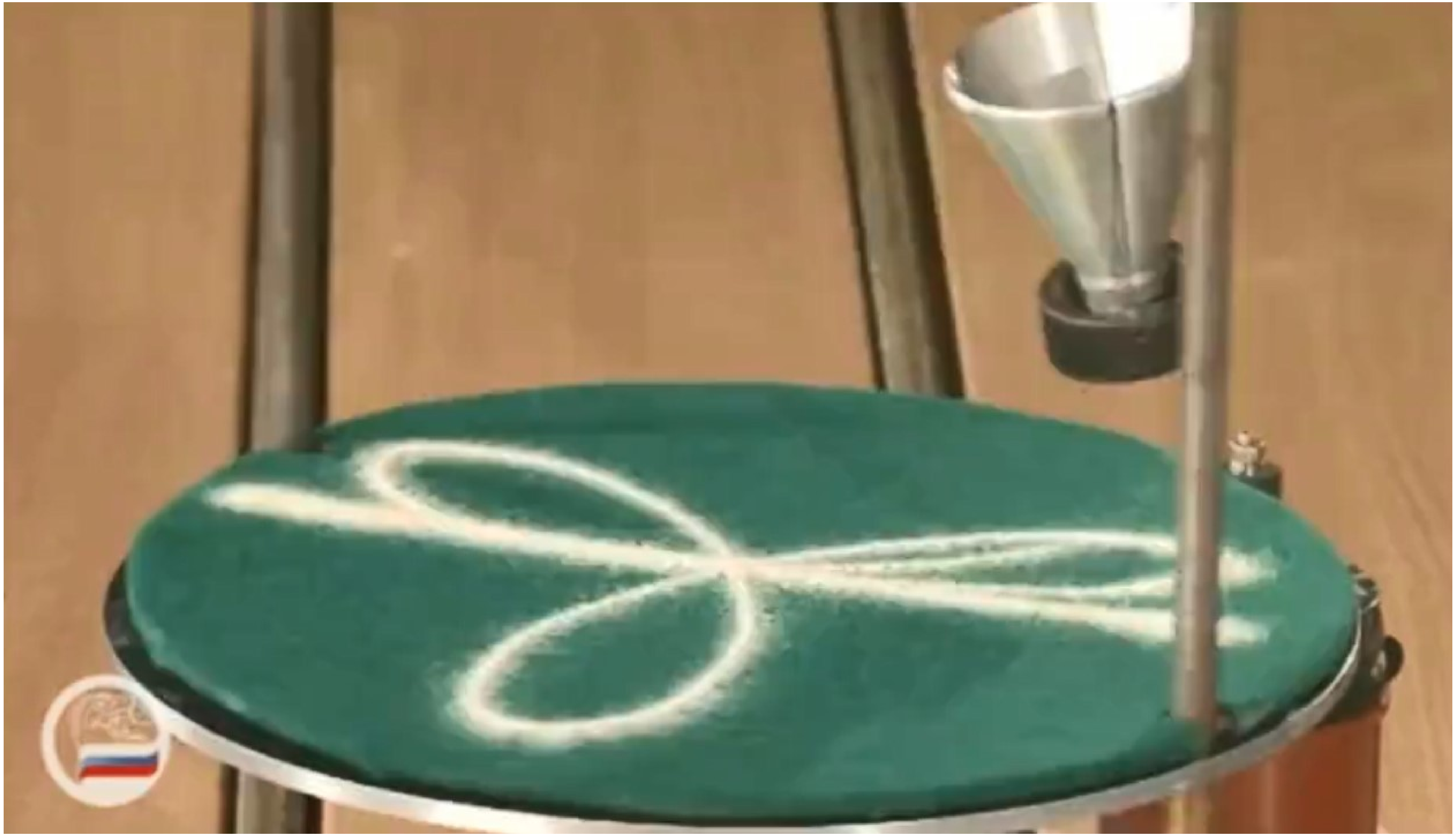
Законы сохранения в НИСО

ЗС энергии $$E_2 - E_1 = A_{12\ \text{неконс.}} + A_{12\ \text{внеш.}} + A_{12\ \text{инерц.}}$$

ЗС импульса $$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum \vec{F}_{\text{внеш.}} + \sum \vec{F}_{\text{инерц.}}$$

Маятник Фуко

Маятник Фуко



Движение в неинерциальной системе отсчета

Центробежная сила

Принцип эквивалентности – опыт Любимова

«Бегающая цепочка»

Гибкий вращающийся диск