

Лекция 3.

Динамика поступательного движения.

Законы динамики Ньютона.

I закон:

Существуют такие системы отсчёта, в которых свободное тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Такие системы отсчёта называются инерциальными.

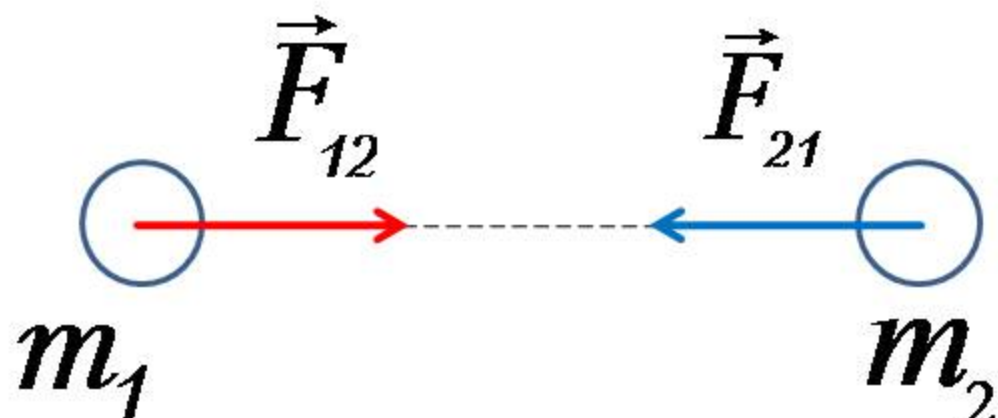
II закон:

$\vec{F}_{\Sigma}$ - сумма всех сил,
действующих на тело

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\Sigma}}{m}$$

III закон:

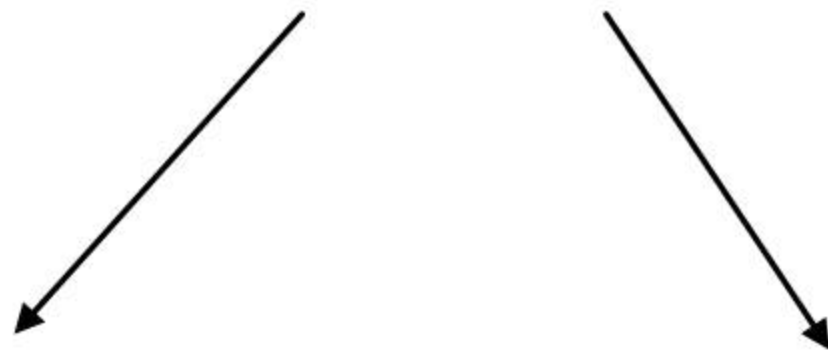
$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$



Фундаментальные взаимодействия



Гравитационное Электрослабое Сильное
($r \sim 10^{-13} \text{ см}$)



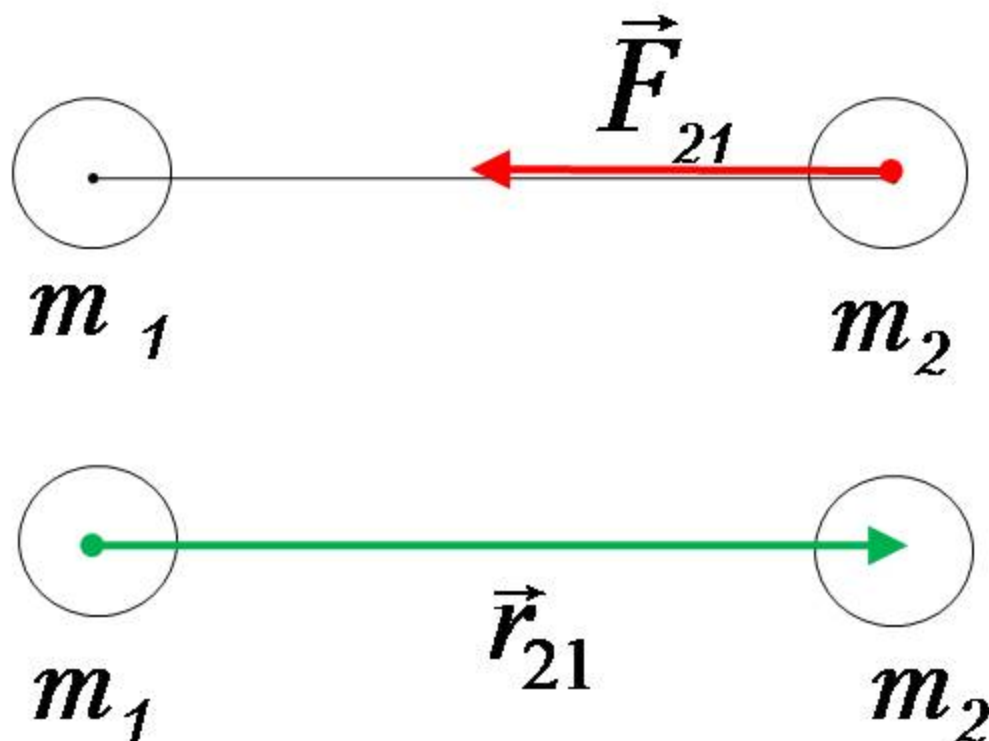
Электромагнитное Слабое
($r \sim 10^{-16} \text{ см}$)



Макромир

Микромир

Закон всемирного тяготения



$$\vec{F}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r_{21}^2} \cdot \frac{\vec{r}_{21}}{r_{21}}$$

$$G = 6,673 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$$

Масса инертная и гравитационная

Казалось бы, инертность и способность к гравитационным взаимодействиям представляют собой совершенно различные свойства материи.

Количественные меры этих свойств могли бы быть разными, но...

I. Впервые (сам не подозревая об этом) доказать на опыте равенство инертной и гравитационной масс пытался Галилей. Он проводил опыты, стремясь опровергнуть утверждение Аристотеля о том, что тяжёлые тела падают быстрее лёгких.

$$m_{\text{инертн}} a = m_{\text{грав}} g$$

для всех тел.

II. Ньютон открыл закон всемирного тяготения, анализируя законы Кеплера и используя свой закон динамики.

$$m_{\text{инертн}} a = F_{\text{грав}} = G \frac{m_{\text{грав}} M}{r^2}$$

Он первый проверил пропорциональность инертной и гравитационной масс с точностью до 10^{-3}

III. Современные эксперименты доказали равенство инертной и гравитационной масс с относительной погрешностью измерений до 10^{-12} .

В классической механике можно выбрать один и тот же эталон для измерения обеих масс и говорить просто о массе, которая выступает как мера инертности тела и как мера его гравитационного взаимодействия.

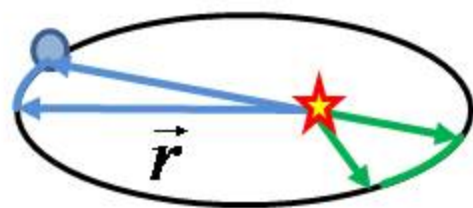
Принцип эквивалентности сил тяготения и сил инерции Эйнштейна.

*Общая теория относительности-
релятивистская теория гравитации.
Равенство инертной и гравитационной
масс заложено в основу теории.
Все физические явления в
однородном поле тяготения
происходят совершенно так же, как
и в соответствующем однородном
поле сил инерции.*

Законы Кеплера.

1) Траектории, по которым движутся планеты, представляют собой эллипсы, в одном из фокусов которых находится Солнце.

2) Радиус-вектор планеты, проведённый из Солнца, зачерчивает за равные промежутки времени одинаковые площади.



3) Для всех планет отношение квадрата периода обращения к кубу большой полуоси эллиптической орбиты имеет одно и то же значение.

$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

Вывод третьего закона Кеплера из закона всемирного тяготения.

Будем рассматривать движение по круговым орбитам

$$a_{цс} = \frac{v^2}{R} = \frac{4\pi^2 R}{\underline{T^2}} = \frac{F_{грав}}{m} = G \frac{M_{Солн}}{\underline{R^2}}$$

Для всех планет, вращающихся вокруг Солнца,

$$G \frac{M_{Солн}}{4\pi^2} = \frac{R^3}{T^2} = const$$

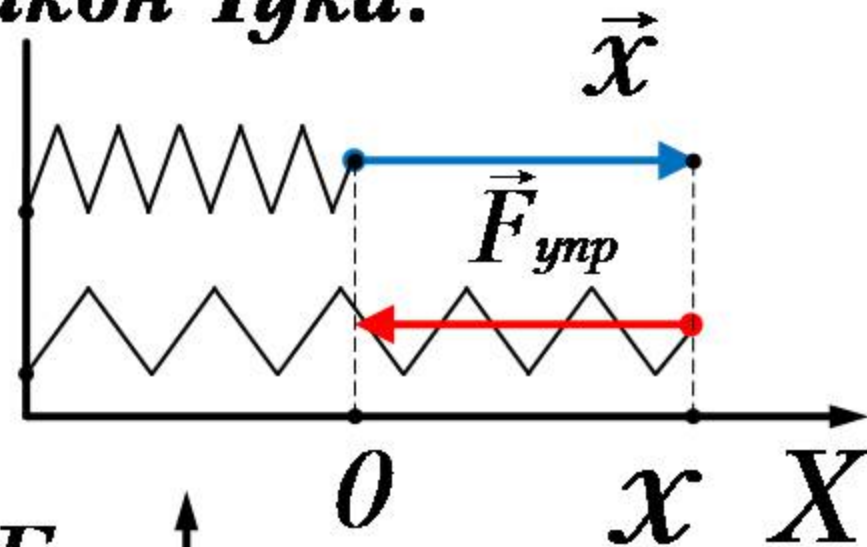
$$\frac{T_1^2}{R_1^3} = \frac{T_2^2}{R_2^3}$$

Приближенные силы.

I. Однородная сила тяжести $\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}$

II. Сила упругости. Закон Гука.

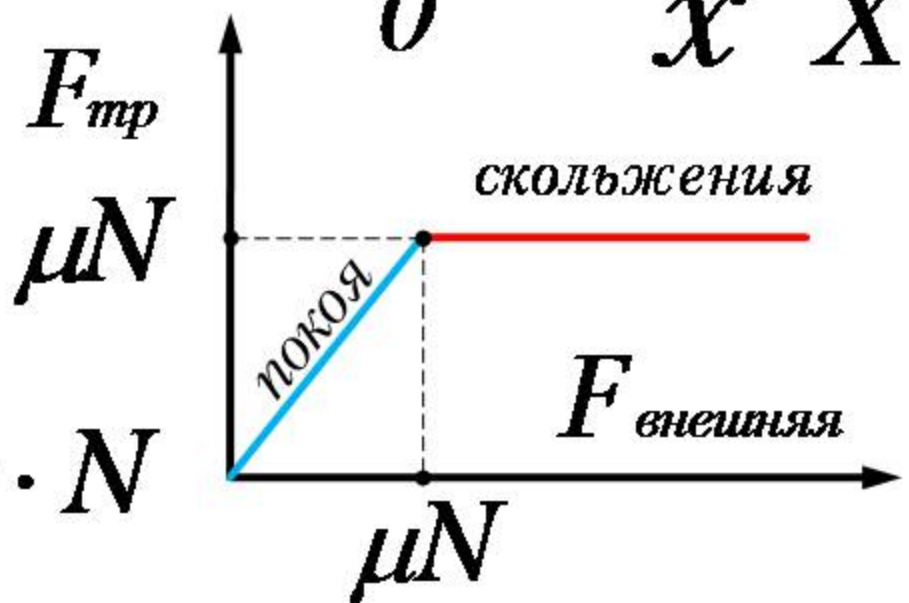
$$\vec{F}_{упр} = -k\vec{x}$$



III. Сила трения:

1). Сила трения покоя:

$$|\vec{F}_{тр}| = |\vec{F}_{внешн}|$$



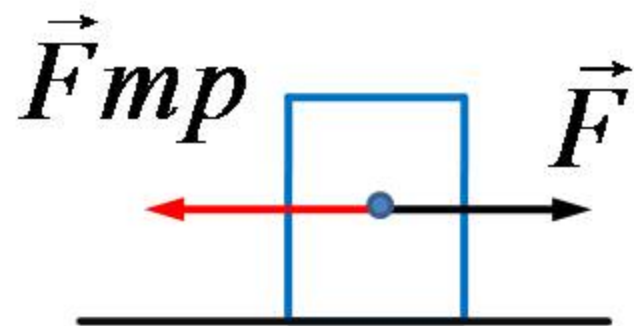
2). Сила трения

скольжения: $|\vec{F}_{тр}| = \mu \cdot N$

Пример. Брусок массой $m=3\text{ кг}$ находится на горизонтальной поверхности.

Коэффициент трения бруска о поверхность μ равен 0.1 . К бруску приложили горизонтальную силу $F=1\text{ Н}$. Вычислите силу трения, действующую на брусок.

$$\mu N = \mu mg = 3\text{ Н}.$$



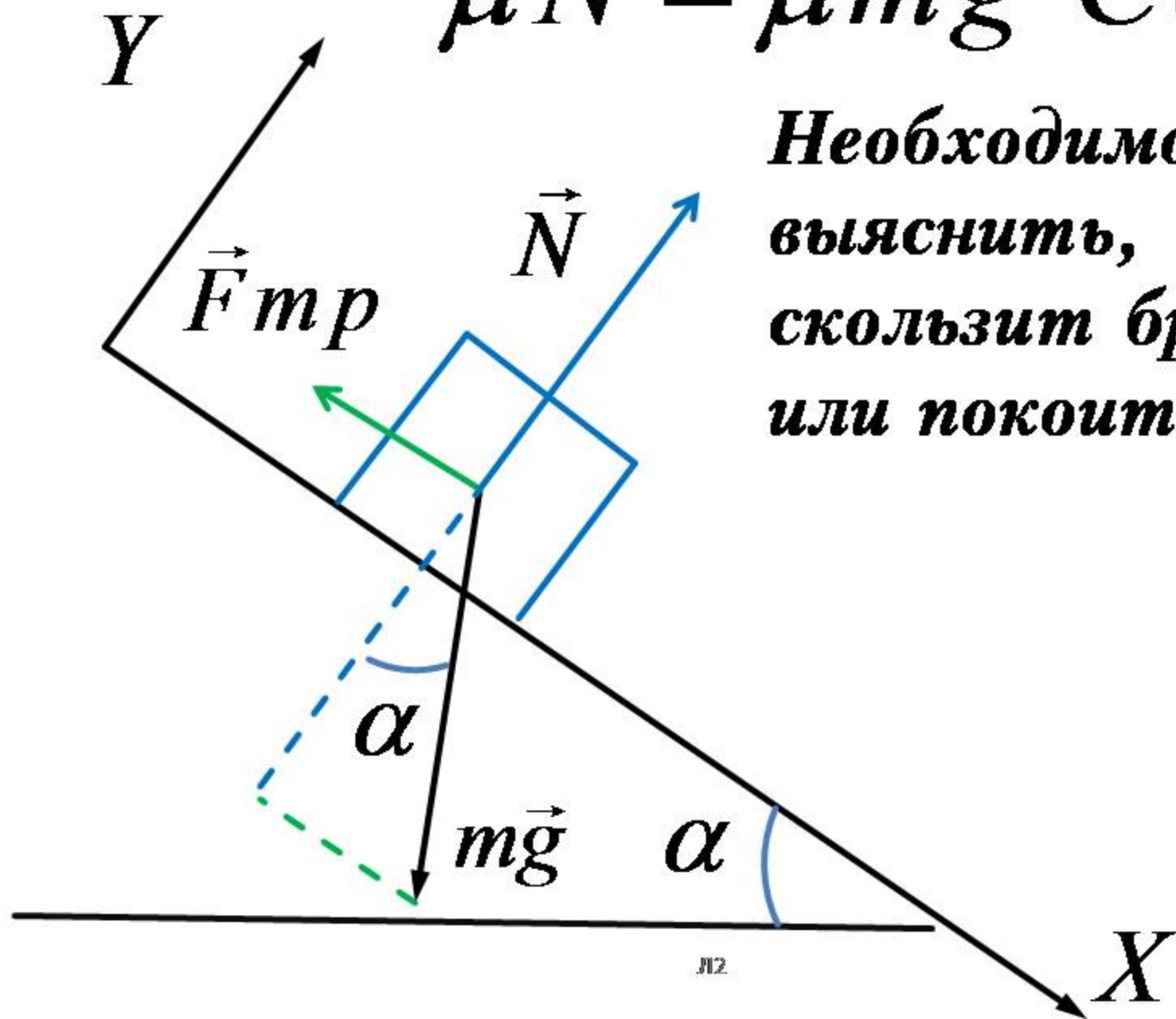
$$F = 1\text{ Н} < \mu mg$$

$$F_{тр. покоя} = F = 1\text{ Н}.$$

Пример. Брусок массой m находится на наклонной плоскости, составляющей угол α с горизонтом. Коэффициент трения бруска о плоскость равен μ . Вычислите силу трения, действующую на брусок.

$$\mu N = \mu mg \cos \alpha$$

**Необходимо
выяснить,
скользит брусок
или покоится.**



**Если составляющая силы тяжести,
направленная вдоль плоскости,**

$$mg \sin \alpha$$

**больше максимально возможного
значения силы трения покоя, брусок
скользит вдоль наклонной плоскости**

$$F_{\text{тр.ск.}} = \\ = \mu N = \mu m g \cos \alpha$$

Если

$$mg \sin \alpha < \mu mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр. покоя}} = mg \sin \alpha$$

Сила сопротивления.

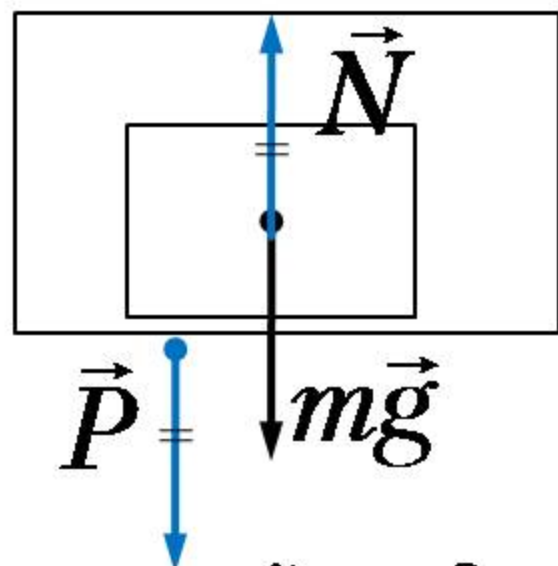
$$\vec{F}_{\text{сопр}} = -k\vec{v}$$

При больших скоростях

$$\vec{F}_{\text{сопр}} = -k v \vec{v}$$

Вес тела. Невесомость.

Вес тела – сила, с которой тело действует на опору или подвес, неподвижные относительно этого тела.



$$|\vec{P}| = |\vec{N}| = 0$$

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

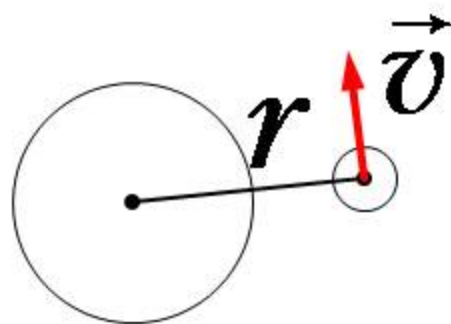
$$\vec{a} = \vec{g}$$

$$\vec{a} = \vec{g}$$

1). Прямолинейное движение:

2). Движение по окружности:

$$a_{\text{цс}} = \frac{v^2}{r} = G \frac{M_{\text{земли}}}{r^2}$$



Второй закон Ньютона — уравнение движения материальной точки.

Основная задача динамики материальной точки



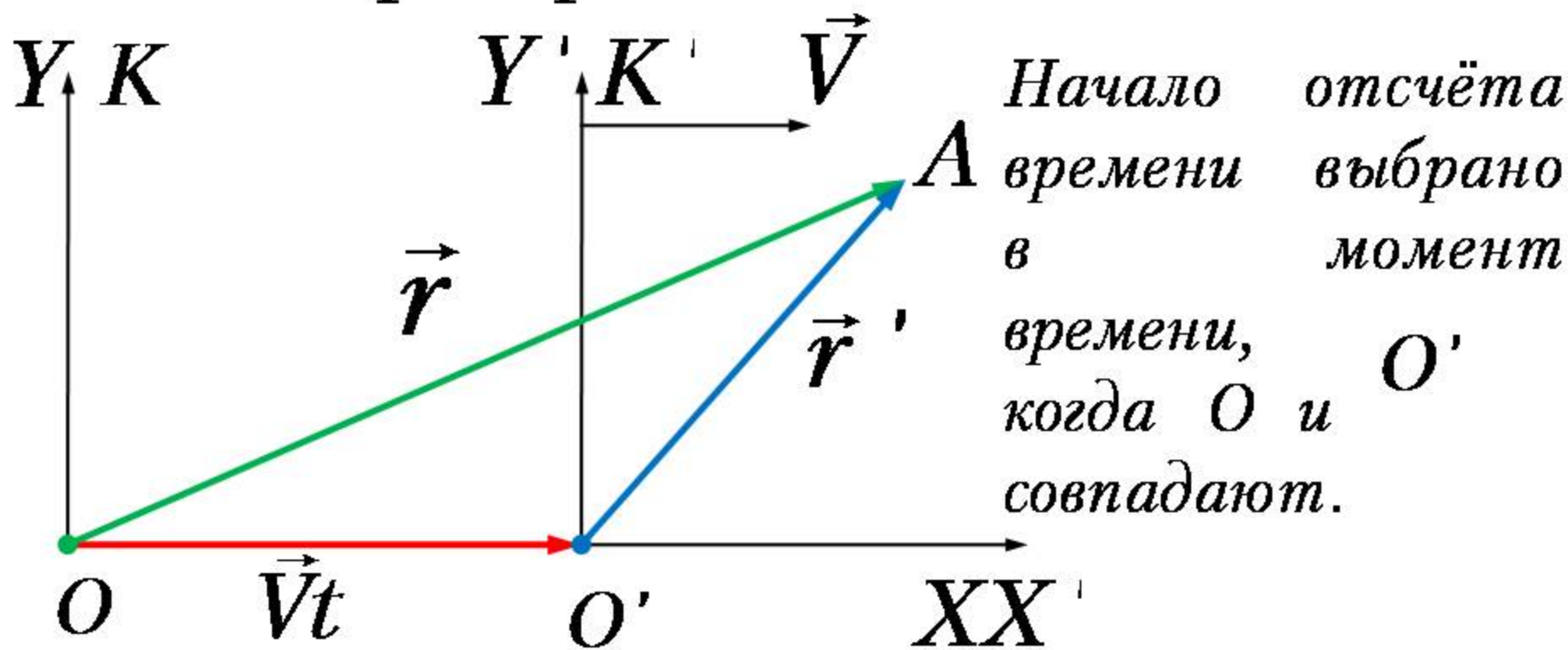
$$\vec{F} = m \cdot \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$$

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_{\text{суммарн}}}{m}$$

$$\vec{v}(t) = \vec{v}_0 + \int_0^t \vec{a} dt$$

$$\vec{r}(t) = \vec{r}_0 + \int_0^t \vec{v} dt$$

Преобразования Галилея.



$\vec{V}$ - скорость системы отсчёта K' относительно системы отсчёта K .

$$t = t' \quad \vec{r}' = \vec{r} - \vec{V} t$$

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{V} \quad \vec{a}' = \vec{a}$$


$$x' = x - V_x t$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

**Покажем, что законы Ньютона
инвариантны относительно
преобразований Галилея.**

**1). Масса не зависит от скорости, т.е.
одинакова во всех инерциальных
системах отсчёта:**

$$m = m'$$

2).

$$t = t';$$

$$\vec{a} = \vec{a}' \quad (\text{т.к.} \quad \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2} = \frac{d^2 \vec{r}'}{dt'^2})$$

3). Сила может зависеть от масс взаимодействующих тел, от взаимного расположения тел и от их относительной скорости.

$$\left. \begin{aligned} \vec{r}_1 - \vec{r}_2 &= \vec{r}_1' - \vec{r}_2' \\ \vec{v}_1 - \vec{v}_2 &= \vec{v}_1' - \vec{v}_2' \\ m &= m' \end{aligned} \right\} \Rightarrow \vec{F} = \vec{F}'$$

Принцип относительности Галилея.

Законы механики одинаковы во всех инерциальных системах отсчёта.

Силы инерции

При переходе из инерциальной системы отсчёта в неинерциальную ускорения приобретают, в худшем случае, три математические добавки

$$m\vec{a}_{\text{нсо}} = m \left(\vec{a}_{\text{исо}} + \vec{a}' \right)$$

$$\sum \vec{F}_{\text{взаимодействия}}$$

В неинерциальных системах отсчёта можно формально сохранить вид II закона Ньютона, если добавить к силам взаимодействия силы инерции.

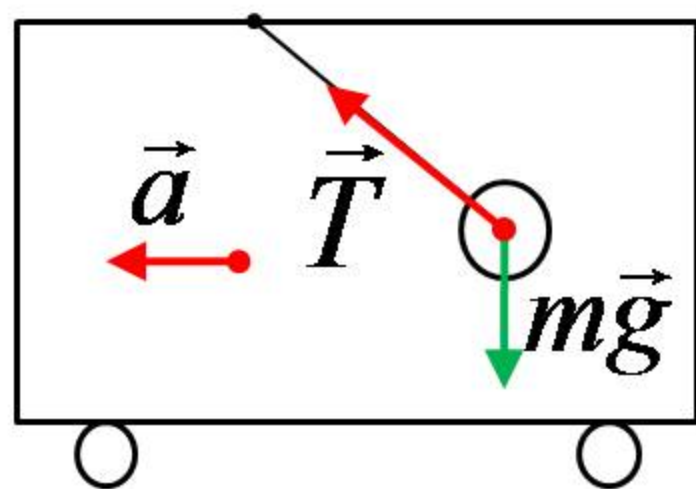
$$m\vec{a}_{\text{нсо}} =$$

$$= \sum \vec{F}_{\text{взаимодействия}} + \sum \vec{F}_{\text{инерции}}$$

Поступательная сила инерции:

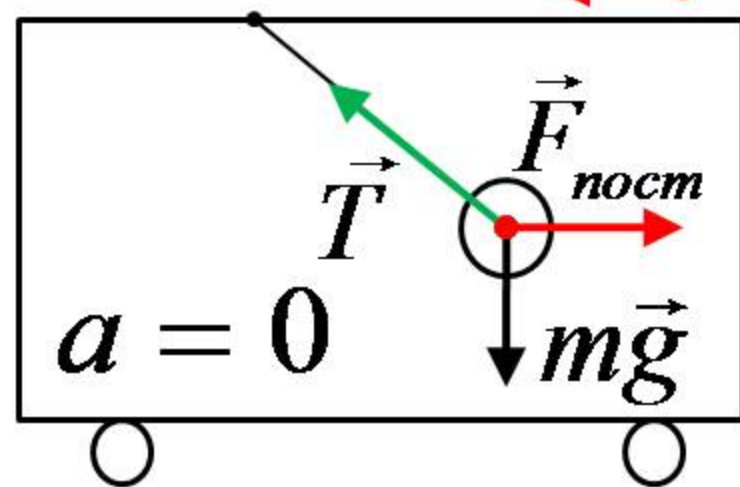
$$\vec{F}_{\text{пост}} = -m \vec{a}_{\text{сo}}$$

ИСО – земля



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

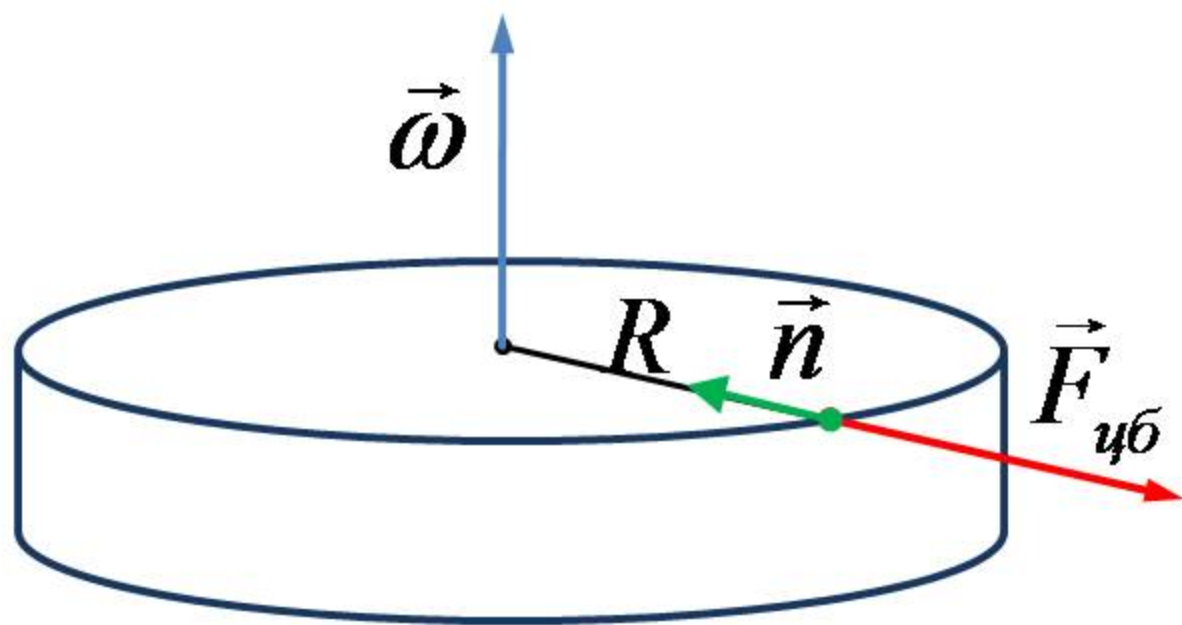
НСО – вагон $\vec{a}_{\text{сo}}$



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

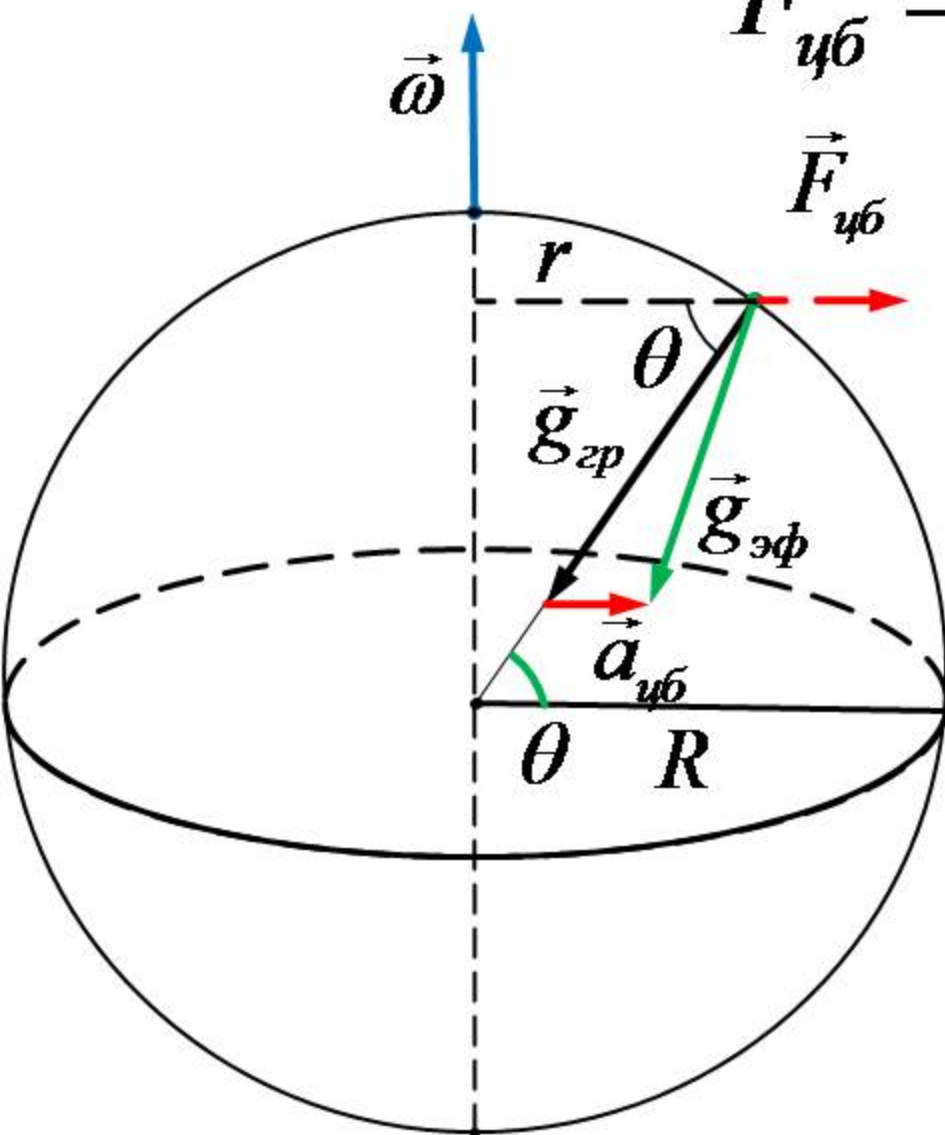
Центробежная сила инерции

$$\vec{F}_{цб} = m \left[[\vec{\omega}, \vec{r}], \vec{\omega} \right] = -m\omega^2 R \vec{n}$$



Эффективное ускорение свободного падения

$$F_{цб} = m\omega^2 R \cos \theta = m\omega^2 r$$



g гравитационное:

на полюсе – $9,83 \text{ м/с}^2$

на экваторе – $9,81$

м/с^2

g эффективное:

на полюсе – $9,83 \text{ м/с}^2$

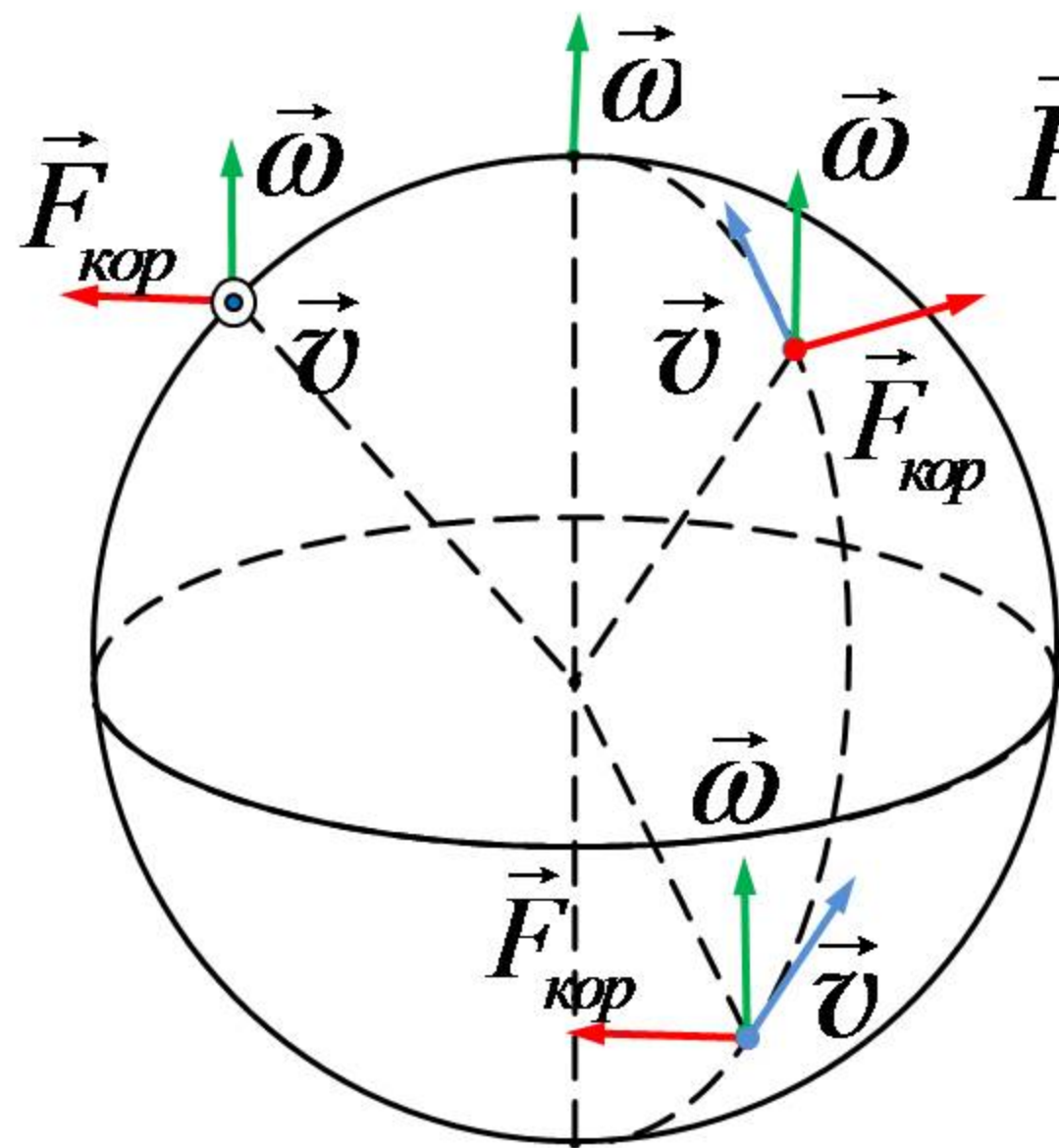
на экваторе – $9,78$

м/с^2

Среднее значение:

$$g_{ср} = 9,81 \text{ м/с}^2$$

Кориолисова сила инерции



$$\vec{F}_{\text{кор}} = 2m[\vec{v}', \vec{\omega}]$$

$\vec{v}'$ —

скорость тела
в
неинерциальной
системе
отсчёта.

