

Динамика материальной точки

- Основные динамические характеристики: масса, импульс, сила
- Законы Ньютона
- Закон сохранения импульса
- Виды сил в механике



ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

1 закон Ньютона: существуют такие системы отсчета, в которых тело движется прямолинейно и равномерно, если на него не действуют другие тела или действия других тел скомпенсированы.

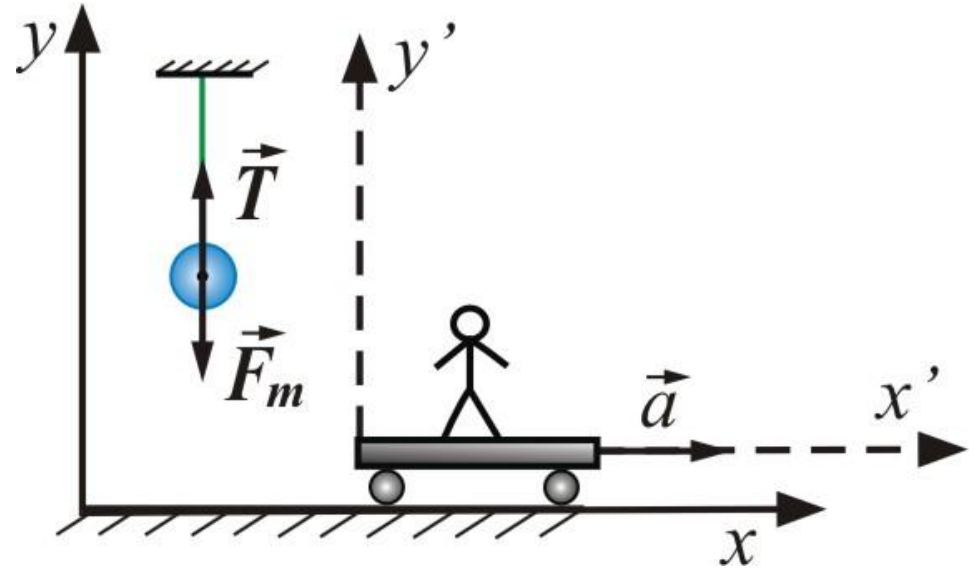
- Системы отсчета, подчиняющиеся 1-му закону, называются **инерциальными** (ИСО).
- В ИСО ускорение тела определяется только влиянием на него других тел (полей).
- Все ИСО эквивалентны друг другу.
- Если некая СО движется прямолинейно и равномерно относительно ИСО, то она тоже является инерциальной.

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Рассмотрим на примере как отличать ИСО от НСО:

xu – ИСО, так как в этой системе тело покоится ($\mathbf{a} = 0$), а силы, действующие на него компенсируют друг друга:

$$\vec{T} + \vec{F}_m = 0$$



$x'u'$ – НСО, так как в этой системе тело движется с ускорением \mathbf{a}' , направленным противоположно движению тележки, несмотря на то что, силы, действующие на него компенсируют друг друга.

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Введем основные динамические характеристики:

1) **Масса** m [кг] – количественная мера инертности.

2) **Импульс** материальной точки $\vec{p} = m\vec{v}$
[кг · м / с]

3) **Сила** \vec{F} [Н] – количественная мера воздействия одного тела на другое.

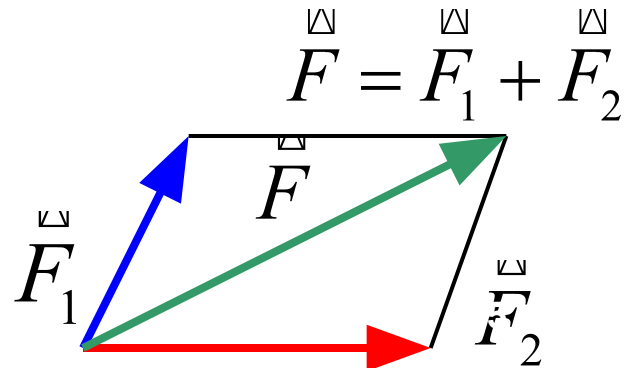
ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

2 закон Ньютона: В ИСО скорость изменения импульса материальной точки со временем равна векторной сумме всех сил, действующих на нее:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_i \vec{F}_i \quad (1)$$

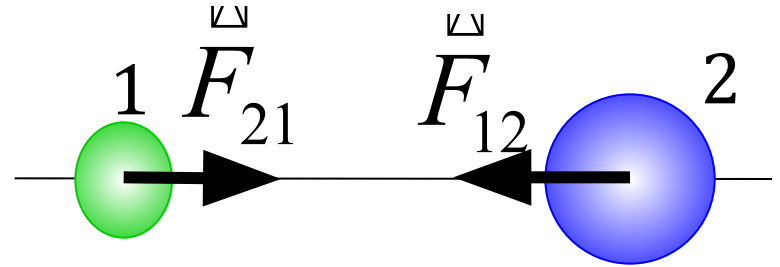
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \frac{d}{dt}(m\vec{v}) = m \frac{d\vec{v}}{dt} = m\vec{a} \longrightarrow m\vec{a} = \sum_i \vec{F}_i \quad (2)$$

$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i$ - равнодействующая
всех сил



ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

3 закон Ньютона: В ИСО два тела действуют друг на друга с силами равными по модулю и противоположными по направлению вдоль линии, соединяющей центры тел:

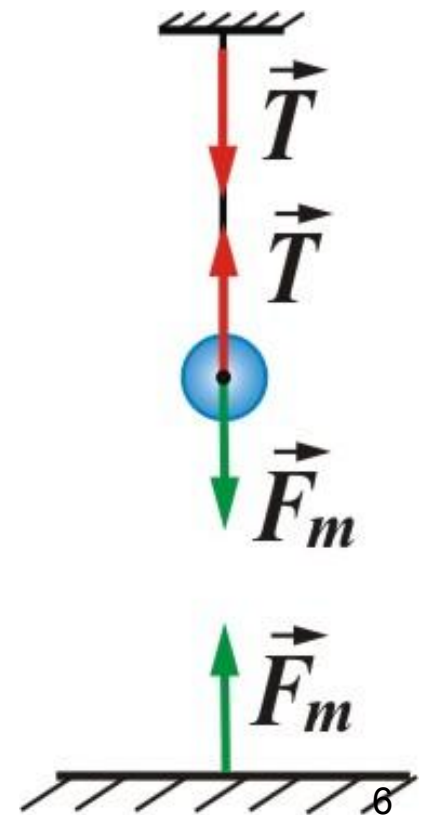


$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3)$$

Важно:

\vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} приложены к разным телам

\vec{F}_{12} и \vec{F}_{21} имеют одинаковую природу

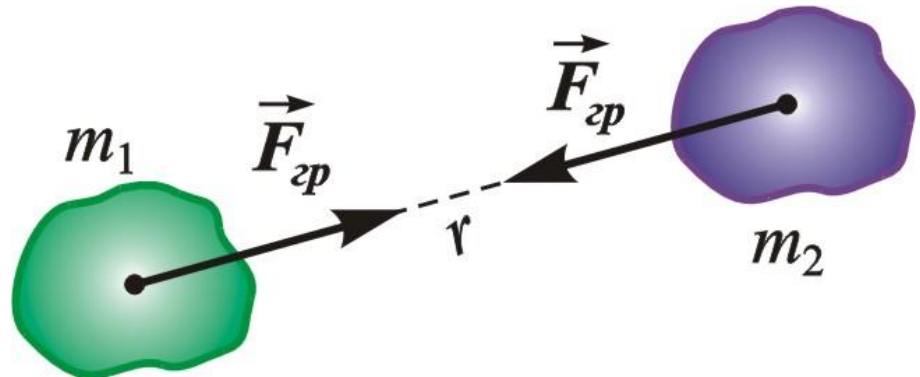


ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ПРИРОДЕ

1. **гравитационное** – проявляется как притяжение между телами, обладающими массой.

Закон Всемирного тяготения: два тела притягиваются друг к другу с силой прямо пропорциональной массам тел и обратно пропорциональной квадрату расстояния между ними.

$$F_{гп} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (4)$$



$G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитационная постоянная



ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ В ПРИРОДЕ

2. Электромагнитное - существует между электрическими зарядами и заряженными телами.

Гравитационное и электромагнитное взаимодействие – дальнедействующие, т.е. силы могут действовать на больших расстояниях. Именно эти взаимодействия играют определяющую роль в механике.

3. Сильное ($R_{\text{д}} < 10^{-15}$ м)	} короткодействующие силы, т.е. проявляются
4. Слабое ($R_{\text{д}} < 10^{-18}$ м)	

в мире элементарных частиц и в атомных ядрах.

($R_{\text{д}}$ - радиус действия сил)

СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

1. **Сила тяжести** - действует со стороны Земли на тело массой m .

$$(4) \quad \Rightarrow \quad F_m = G \frac{Mm}{(R+h)^2}$$

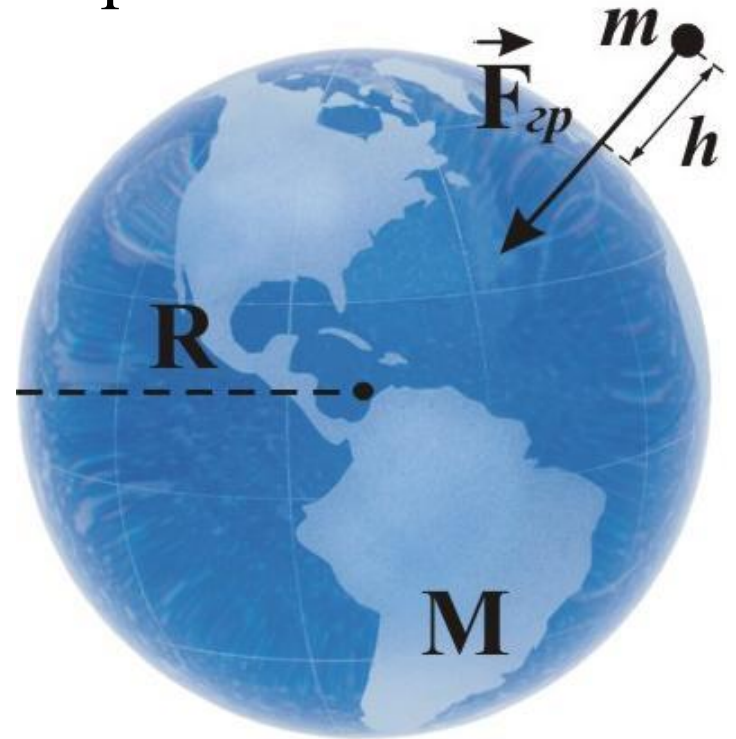
Сравнивая с (2):

$$\boxed{F_m = mg} \quad (5)$$

$$\boxed{g = G \frac{M}{(R+h)^2}} \quad \text{- ускорение свободного падения на высоте } h.$$

Вблизи поверхности Земли:

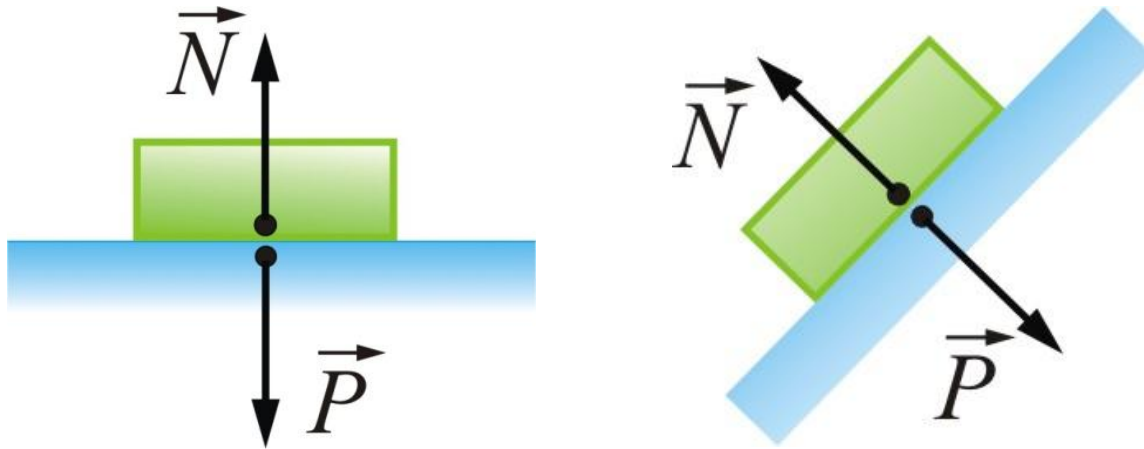
$$g = G \frac{M}{R^2} = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$$



СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

2. Вес \vec{P} - сила, с которой тело действует на опору или подвес.

3. Сила реакции опоры \vec{N} (натяжения нити \vec{T}) действует со стороны опоры (подвеса) на тело.

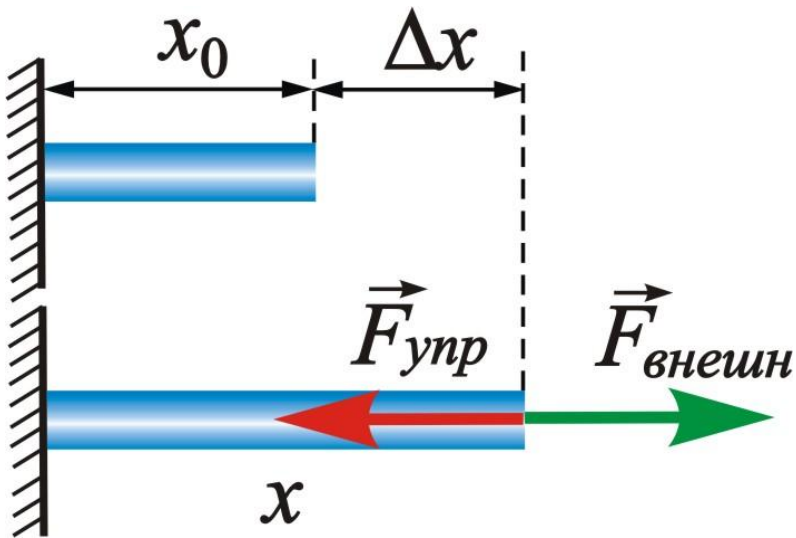


Согласно 3-му закону Ньютона:

$$\vec{P} = -\vec{N} \quad (6)$$

СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

4. **Сила упругости** – сила, возникающая в деформированном теле и стремящаяся вернуть ему первоначальную форму и размеры.



Виды деформации:

- упругая
- пластическая

Для упругой деформации типа растяжение-сжатие

выполняется **закон Гука:**

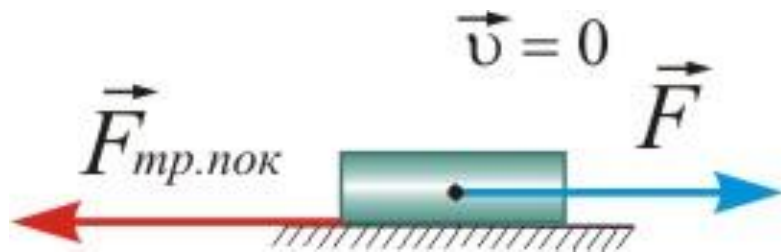
$$F_{упр} = k |\Delta x| \quad (7)$$

$\Delta x = x - x_0$ - абсолютная деформация:

СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

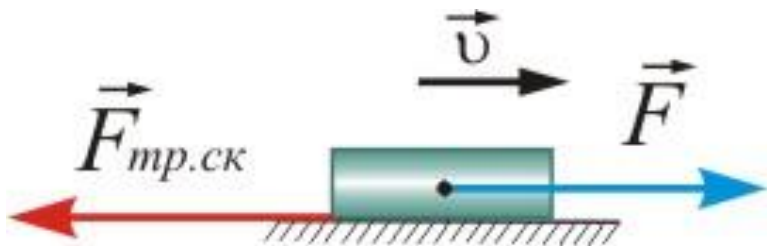
5. Сила сухого трения

а) сила трения покоя действует на покоящееся тело при попытке его сдвинуть



$$0 < F_{тр.пок} \leq F_{тр.ск\ max} = \mu N$$

б) сила трения скольжения действует между телом и опорой при их относительном движении

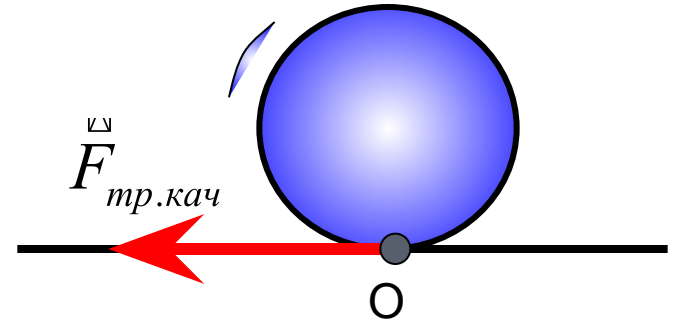


$$F_{тр.ск} = \mu N \quad (8)$$

μ - коэффициент трения (безразмерный)

СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

в) сила трения качения - действует на катящееся тело

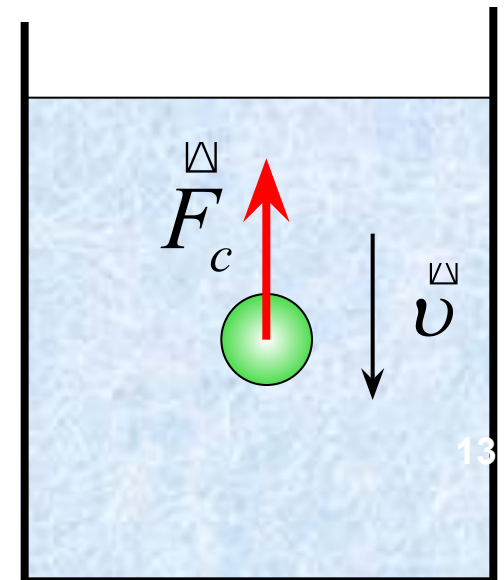


6. Сила вязкого трения – действует на тело, движущееся в жидкости или газе.

При не очень больших скоростях:

$$F_c = -\sigma v \quad (9)$$

σ - коэффициент, зависящий от формы и размеров тела и вязкостных свойств среды



СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

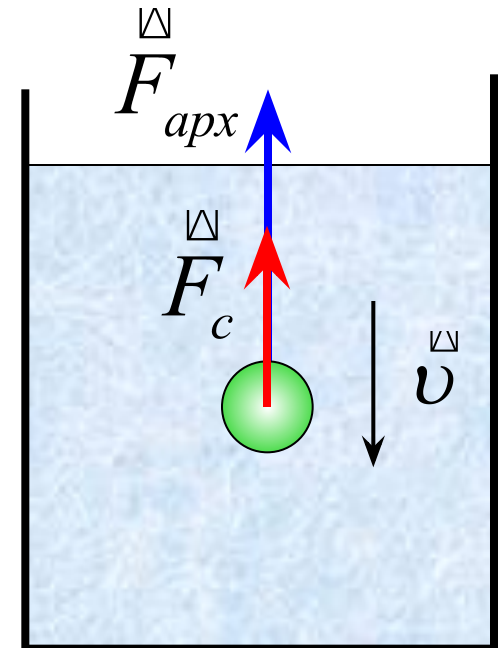
6. Сила Архимеда – выталкивающая сила, действующая на тело, погруженное в жидкость или газ:

$$F_{арх} = \rho g V \quad (10)$$

ρ – плотность жидкости;

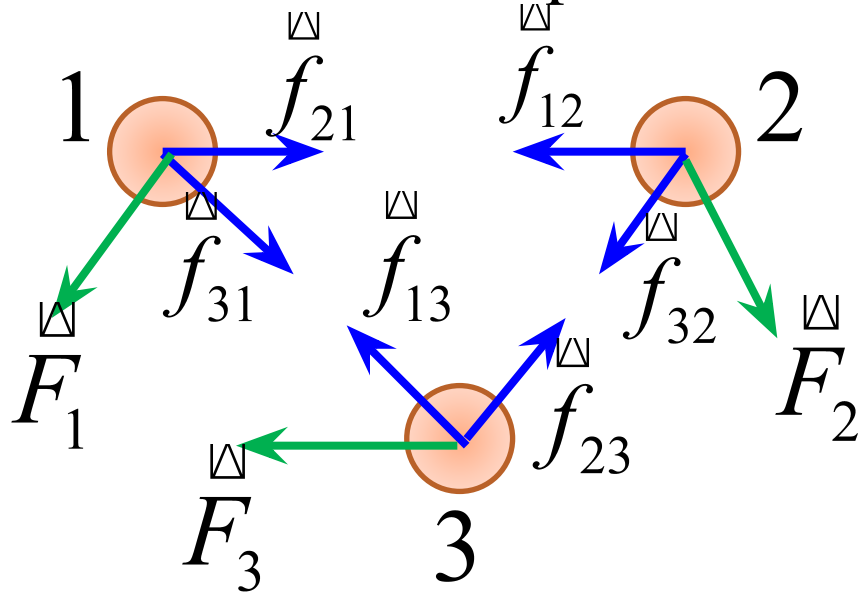
V – объем тела, погруженный в жидкость;

g – ускорение свободного падения



ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Рассмотрим взаимодействие системы нескольких тел.
Все силы можно разделить на:



- F_i - внешние;
- f_{ij} - внутренние.

Второй закон Ньютона для i -го тела:

$$\frac{dp_i}{dt} = F_i + \sum_{j \neq i} f_{ij} \quad (11)$$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Введем $\overset{\boxtimes}{P}_c$ - **импульс системы**, так что

$$\overset{\boxtimes}{P}_c = \sum_i \overset{\boxtimes}{P}_i$$

Тогда суммируя уравнения (11) для всех тел получим:

$$\frac{d\overset{\boxtimes}{P}_c}{dt} = \sum_i \overset{\boxtimes}{F}_i + \sum_i \sum_{j \neq i} \overset{\boxtimes}{f}_{ij} \quad (12)$$

Согласно 2-му закону Ньютона сумма всех внутренних сил равна нулю:

$$\sum_i \sum_{j \neq i} \overset{\boxtimes}{f}_{ij} = 0$$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$$(12) \quad \longrightarrow \quad \boxed{\frac{d\overset{\Delta}{p}_c}{dt} = \sum_i \overset{\boxtimes}{F}_i} \quad (13)$$

Скорость изменения импульса системы материальных точек со временем равен векторной сумме всех **внешних** сил, действующих на них.

Замкнутая система: $\sum_i \overset{\Delta}{F}_i = 0 \quad \longrightarrow \quad \overset{\Delta}{p}_c = const$

Закон сохранения импульса: в ИСО импульс замкнутой системы материальных точек остается постоянным при любых взаимодействиях внутри системы.