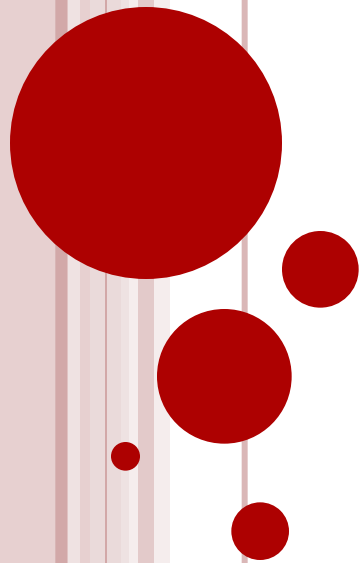


# **ДИНАМИКА МАТЕРИАЛЬНОЙ ТОЧКИ**

- **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.

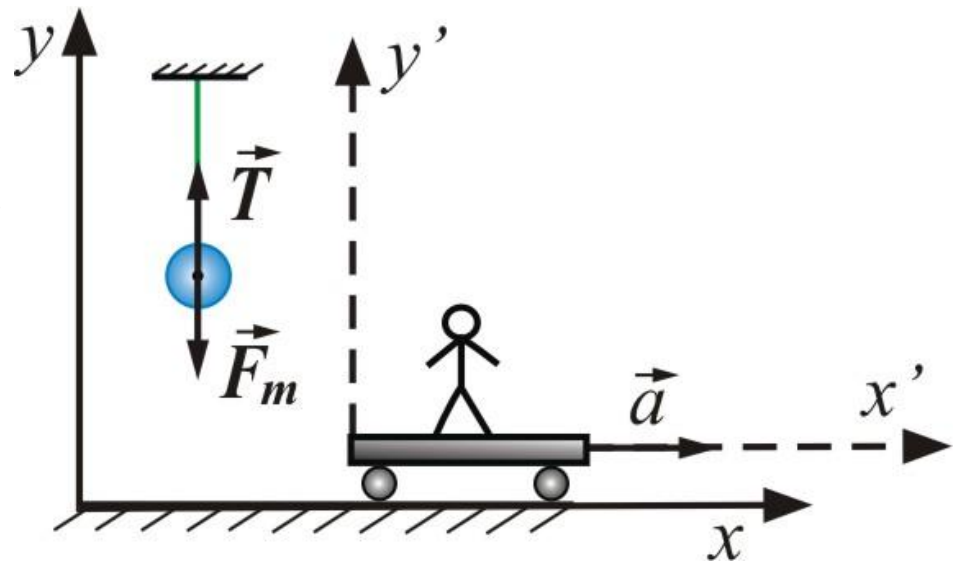
# ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Рассмотрим на примере как отличать ИСО от НСО.  
 $xy$  – СО, связанная с Землей;

$x'y'$  – СО, связанная с тележкой, движущейся с ускорением.

$xy$  – ИСО, так как в этой системе тело покоится, а силы, действующие на него компенсируют друг друга:

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



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

# ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Основные динамические характеристики:

📌 **Масса**  $m$  [кг] – количественная мера инертности.

**Инертность** - свойство тела оставаться в покое или двигаться равномерно и прямолинейно в отсутствие или при взаимной компенсации внешних воздействий (в ИСО).

**Аддитивность массы** - масса системы равна сумме масс составляющих её тел.

📌 **Импульс** – количественная мера механического движения.

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

📌 **Сила**  $\vec{F}$  [Н] – количественная мера воздействия на данное тело других тел (или полей).

Действие силы на массивное тело приводит к изменению его скорости и (или) возникновению в нём деформаций

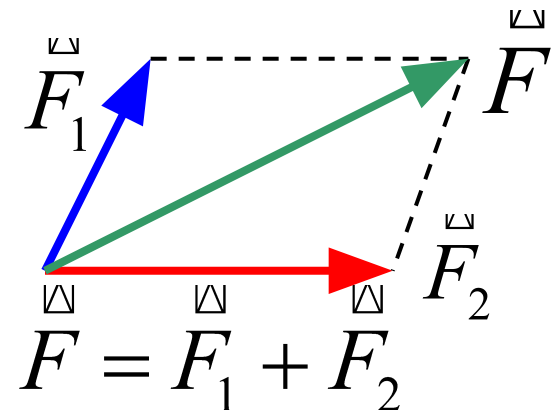
# ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

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

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

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

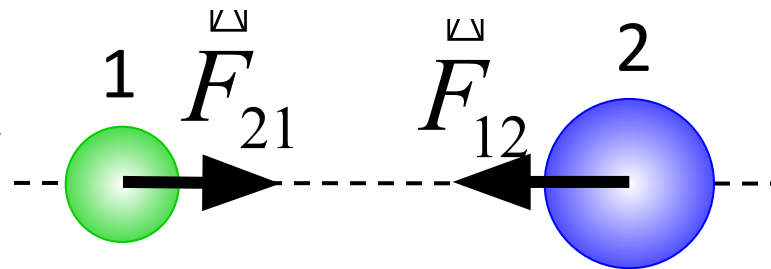
$$\vec{F} = \sum_i \vec{F}_i \text{ - равнодействующая всех сил}$$



$$(2) \Rightarrow \vec{a} \uparrow \uparrow \vec{F}$$

# 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:

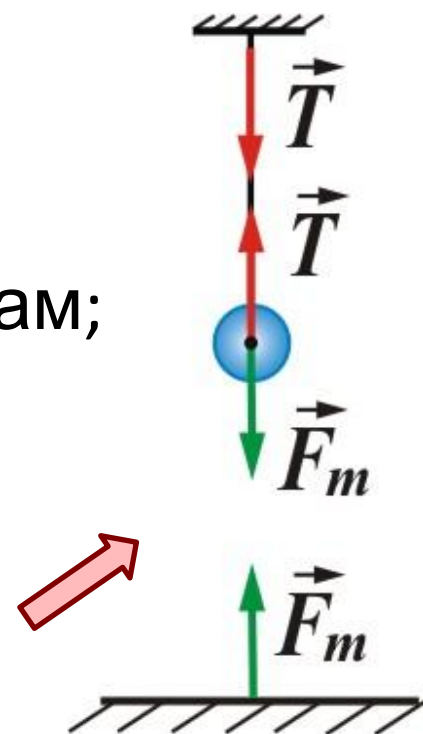


$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} \quad (3)$$

**Важно:**

- $\vec{F}_{12}$  и  $\vec{F}_{21}$  приложены к разным телам;
- $\vec{F}_{12}$  и  $\vec{F}_{21}$  имеют одинаковую

**Пример:** Шар и Земля, а также шар и нить действуют друг на друга с одинаковыми силами, направленными

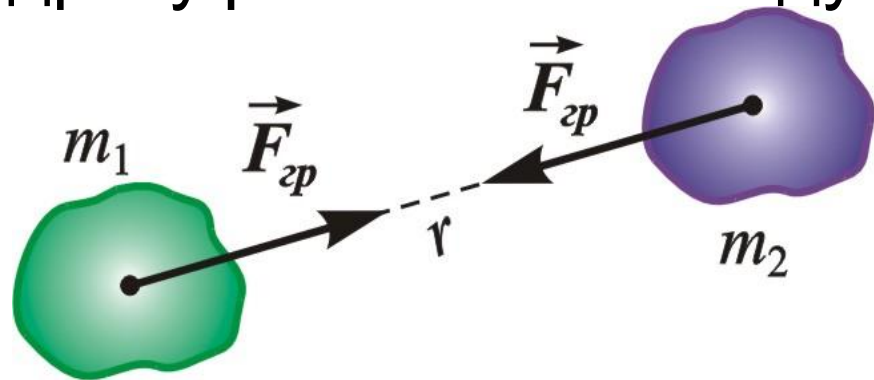


# Виды взаимодействий в природе

📌 **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.

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



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

## ВИДЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ В ПРИРОДЕ

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

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

 **Сильное** ( $R_d < 10^{-15}$  м) } короткодействующие  
 **Слабое** ( $R_d < 10^{-18}$  м) } силы, т.е. проявляются  
в мире элементарных частиц и в атомных ядрах.

( $R_d$  - радиус действия сил)



## СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

Сила тяжести - действует со стороны Земли

на тело массой  $m$ .

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

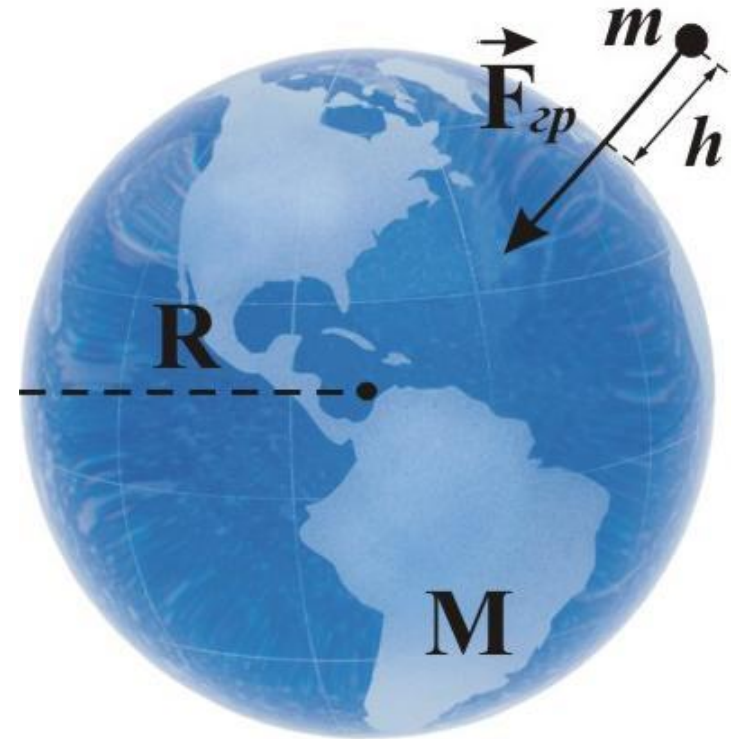
Сравнивая с (2):

$$F_m = mg \quad (5)$$

$$g = G \frac{M}{(R+h)^2}$$

- ускорение свободного падения на высоте  $h$ .

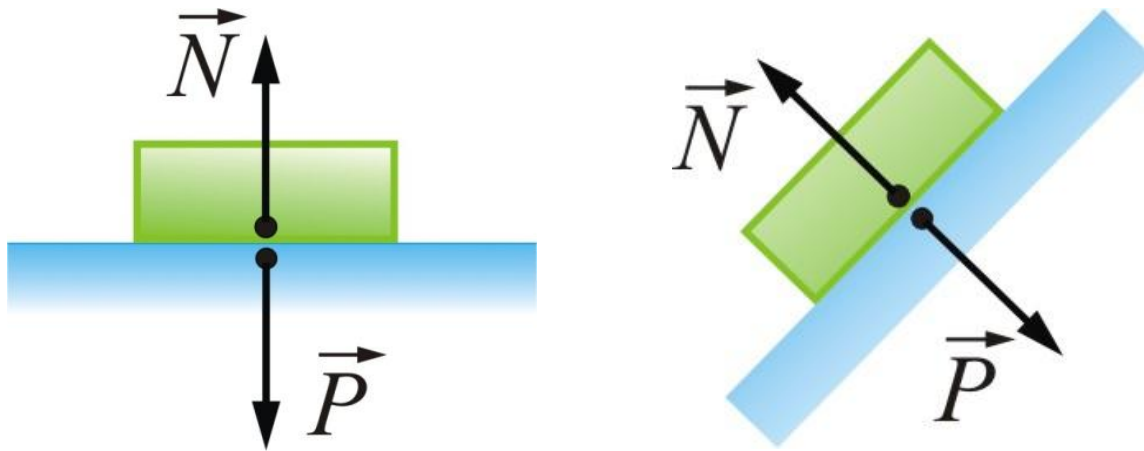
Вблизи поверхности Земли:  $g = G \frac{M}{R^2} = 9,8 \text{ м/с}^2$



## СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

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


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

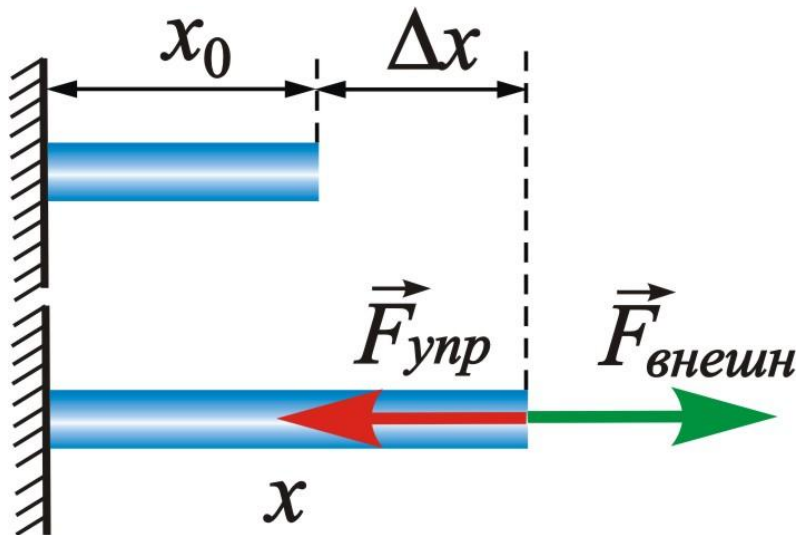


Согласно 3-му закону Ньютона:

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

# СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

 **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**

$$F_{упр} = k |\Delta x| \quad \text{Гука: (7)}$$

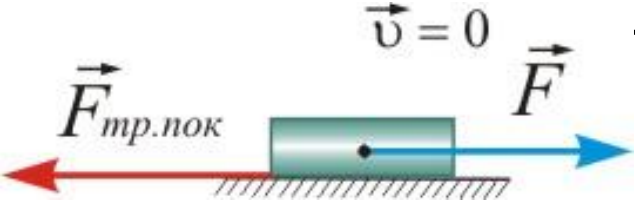
$\Delta x = x - x_0$  - абсолютная деформация

# СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

 **Сухое трение** – действует между твёрдыми телами.

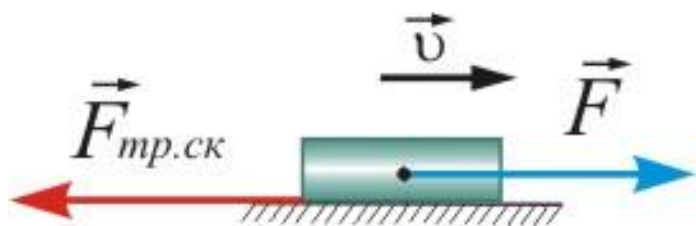
а) **сила трения покоя** действует на покоящееся тело

при  $\vec{v} = 0$  чуть  $0 < F_{\text{тр.пок}} \leq F_{\text{max тр.ск}} = \mu N$



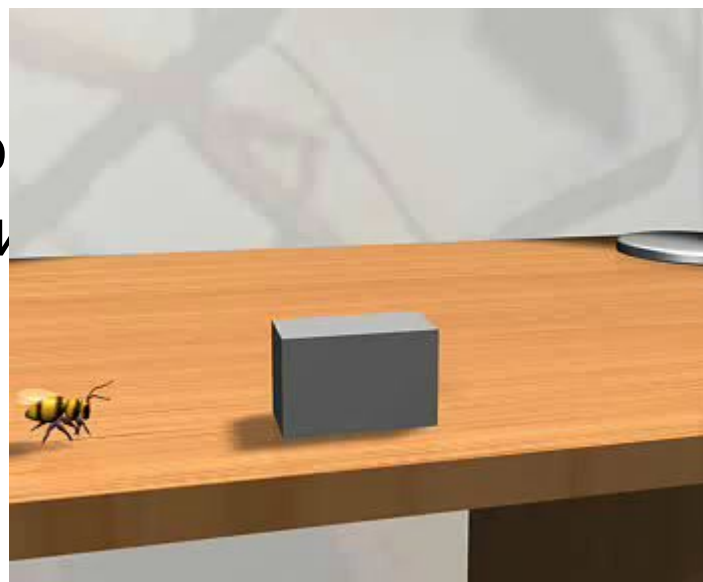
The diagram shows a green rectangular block on a hatched surface. A blue arrow labeled  $\vec{F}$  points to the right, and a red arrow labeled  $\vec{F}_{\text{тр.пок}}$  points to the left. Above the block, the text  $\vec{v} = 0$  is written.

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



$$F_{\text{тр.ск}} = \mu N \quad (8)$$

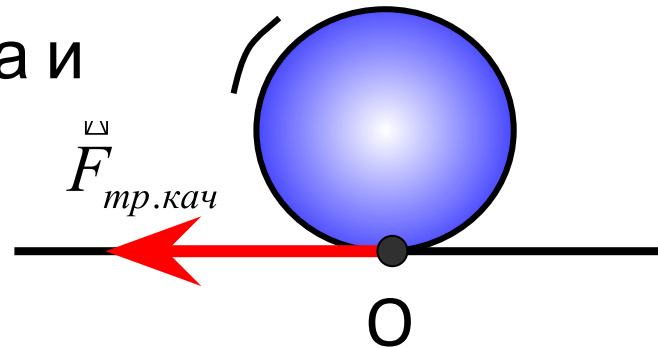
$\mu$  - коэффициент трения  
(безразмерная величина)




# СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

в) **Сила трения качения** - действует на катящееся тело. Причина - деформация катка и опорной поверхности.

- Обычно  $F_{\text{тр.кач.}} \ll F_{\text{тр.ск.}}$  при прочих равных условиях.

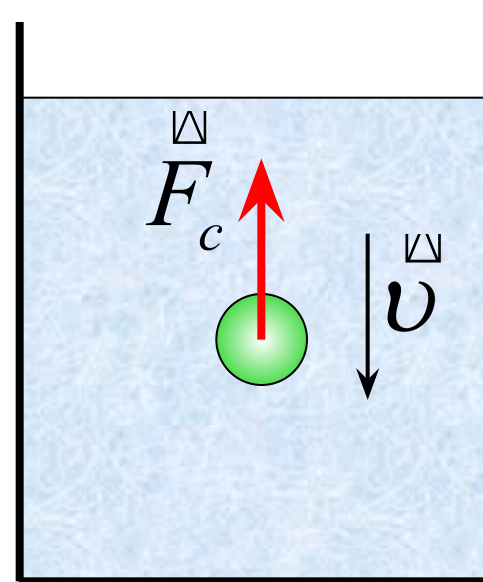


 **Сила вязкого трения** – действует на тело, движущееся в жидкости или газе.


При не очень больших скоростях:

$$\vec{F}_c = -\sigma \vec{v} \quad (9)$$

$\sigma$  - коэффициент, зависящий от формы и размеров тела и вязкостных свойств среды



# СИЛЫ В МЕХАНИКЕ

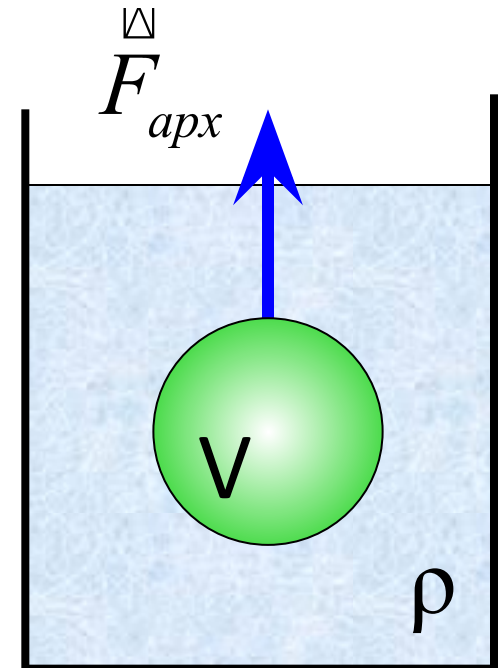
 **Сила Архимеда** – выталкивающая сила, действующая на тело, погруженное в жидкость или газ:

$$F_{арх} = \rho g V \quad (10)$$

$\rho$  – плотность жидкости;

$V$  – объем тела, погруженный в жидкость;

$g$  – ускорение свободного падения



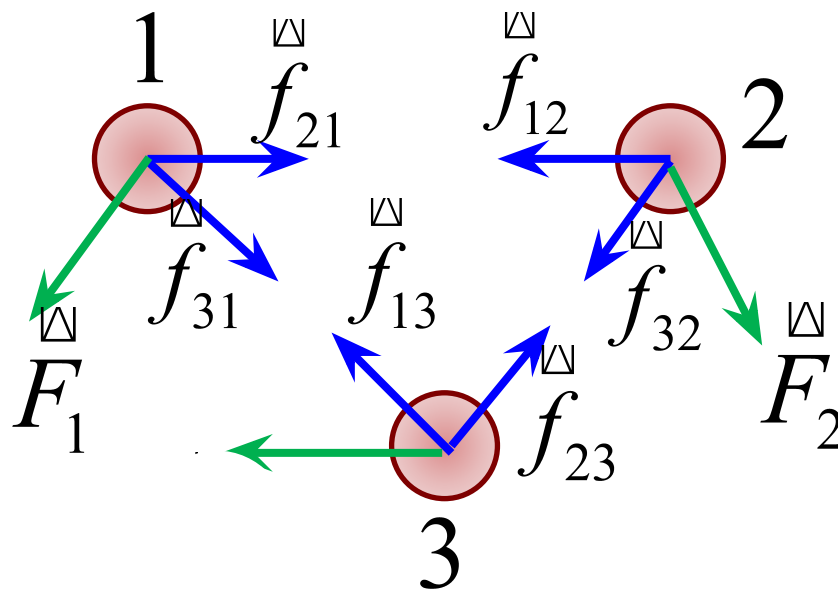
Если тело погружено в жидкость частично, то сила Архимеда действует только на погруженную часть

## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

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

$\vec{F}_i$  - **внешние** – действуют со стороны тел, не входящих в систему;

$\vec{f}_{ij}$  - **внутренние** – действуют между телами внутри системы.



Второй закон Ньютона для  $i$ -го тела:

$$\frac{d\vec{p}_i}{dt} = \vec{F}_i + \sum_{j \neq i} \vec{f}_{ij} \quad (11)$$

## 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 3-му закону Ньютона сумма всех внутренних сил равна нулю:

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



## ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

$$(12) \quad \Rightarrow \quad \boxed{\frac{d\vec{p}_c}{dt} = \sum_i \vec{F}_i} \quad (13)$$

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

Замкнутая система:

$$\sum_i \vec{F}_i = 0 \quad \Rightarrow \quad \vec{p}_c = \text{const}$$

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