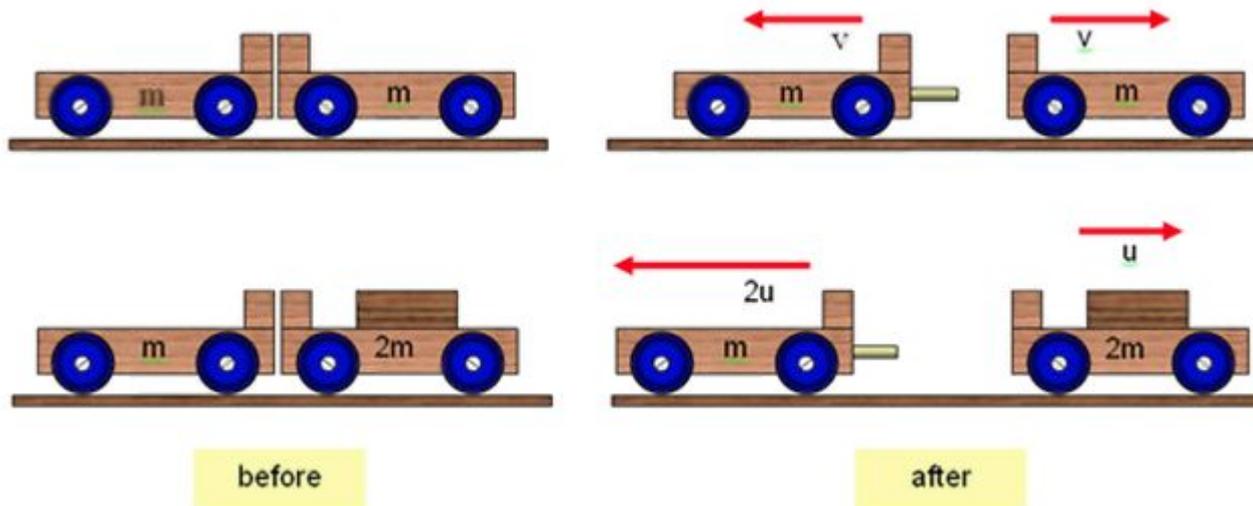


## ЛЕКЦИЯ № 2      **Динамика частиц**

**Элементы содержания:** Основные динамические характеристики: масса, импульс частицы, сила, импульс силы. Законы Ньютона. Внутренние и внешние силы. Замкнутая система. Законы изменения и сохранения импульса системы частиц. Центр инерции и его свойства.

Литература: Трофимова Т.И. Курс физики: Учеб. пособие для вузов. М.: Высшая школа, 2000. С. 14-21.



**Динамика** – раздел механики, посвященный изучению движения материальных тел. Движение любого тела зависит от его инертности и от действующих на тело сил.

**Инертность** – способность тела противодействовать изменению его скорости.

**Масса** – скалярная положительная величина, характеризующая инертность частицы;  $[m]=\text{кг}$ .

**Импульс частицы** – векторная величина, характеризующая состояние движения частицы и равная произведению массы частицы на ее скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v} \quad (2.1)$$

**Сила** – векторная величина, являющаяся мерой механического воздействия на тело со стороны других тел или физических полей;  $[F]=\text{Н}=\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$ .

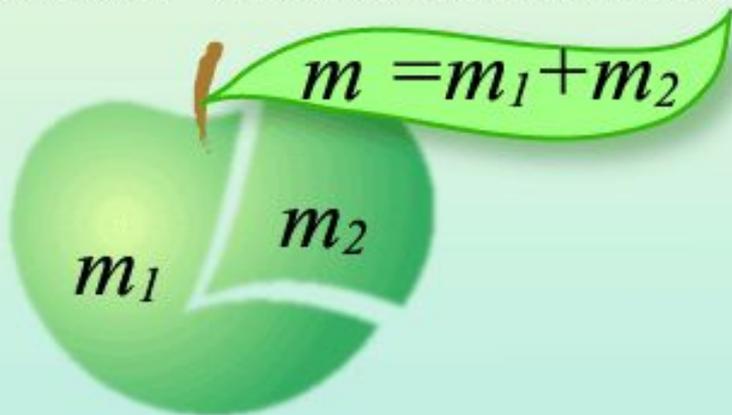
**Импульс силы** – векторная величина, характеризующая действие на частицу силы за некоторый промежуток времени:

$$(2.2) \quad \vec{I} = \int_t^{t+\Delta t} \vec{F} dt \quad , \text{ если } \vec{F} \text{ не зависит от } t, \text{ то } \vec{I} = \vec{F}\Delta t \quad (2.3)$$

# Свойства массы

## Классическая механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.
2. Масса не зависит от скорости движения тела.
3. Масса – величина аддитивная.



$$m_{\text{системы}} = \sum_{i=1}^N m_i$$

## Релятивистская механика

1. Выполняется закон сохранения массы и энергии.

$$m = m_0 + \frac{E_k}{c^2}$$

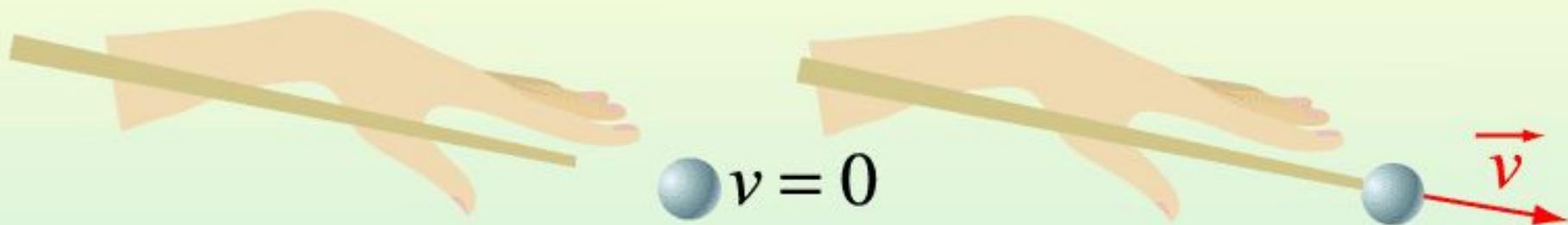
2. Масса зависит от скорости.

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3. Масса – величина неаддитивная.

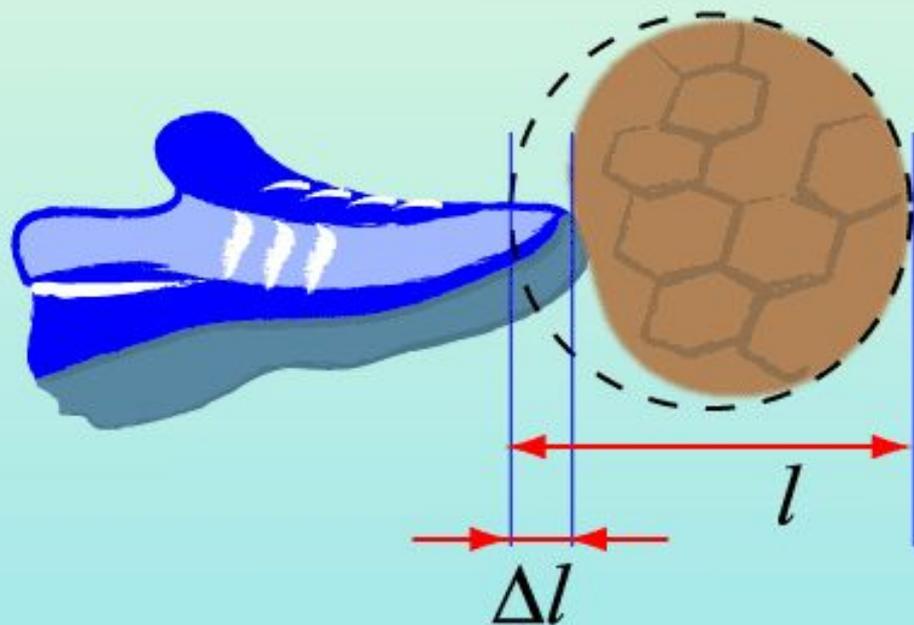
Масса ядра  $M_{\text{я}}$  всегда меньше суммы масс слагающих его протонов и нейтронов.

# Результат взаимодействия тел



*тела получают ускорение*

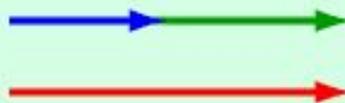
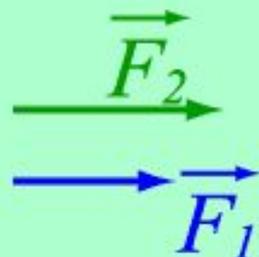
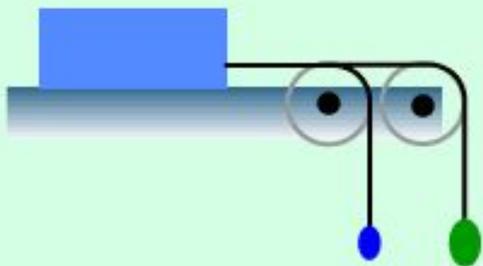
$$a \sim F$$



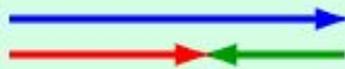
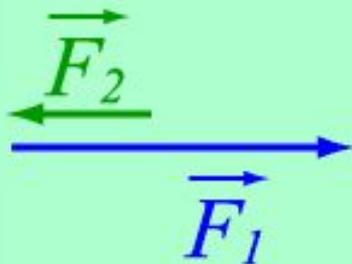
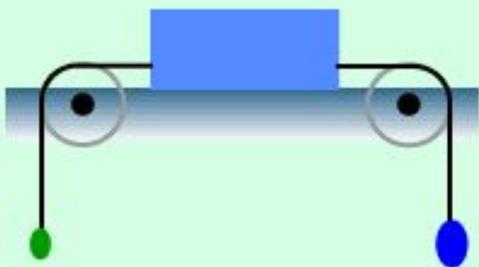
*тела деформируются*

$$\Delta l \sim F$$

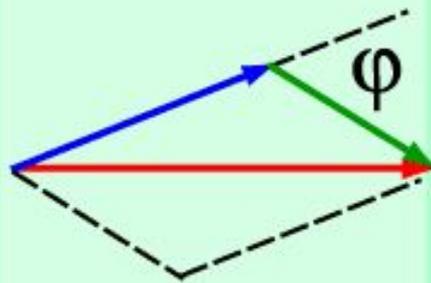
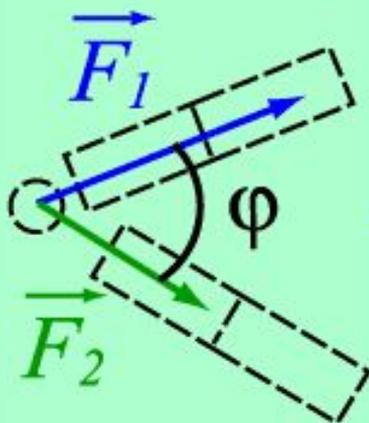
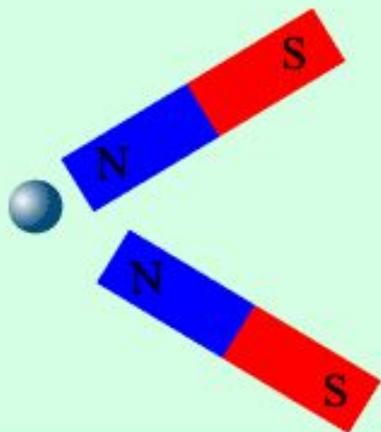
# Сложение сил



$$F_p = F_1 + F_2$$



$$F_p = F_1 - F_2$$



$$F_p^2 = F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \varphi$$

# Законы Ньютона (Исак Ньютон, 1686 г.)

**I закон:** Если частица имеет неизменную массу и на нее не действуют силы, либо их действие компенсируется, то частица находится в состоянии покоя либо равномерного и прямолинейного движения:

$$m = \text{const}, \vec{F}_{\Sigma} = 0 \Rightarrow \vec{v} = \text{const} . \quad (2.4)$$

**II закон (общая формулировка):** скорость изменения импульса частицы с течением времени равна результирующей всех сил, действующих на частицу:

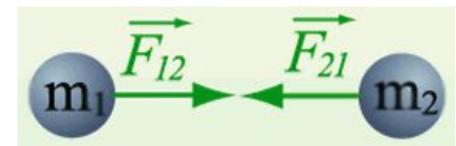
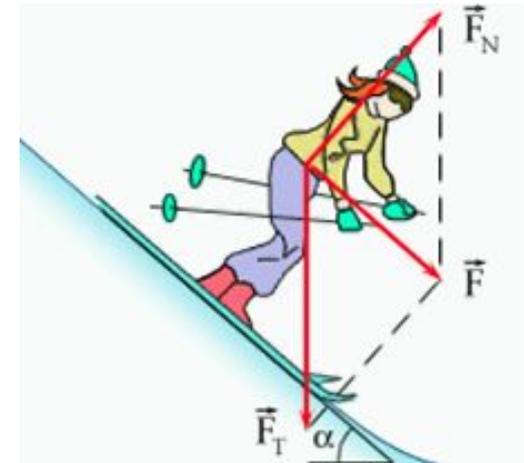
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\Sigma} . \quad (2.5)$$

**II закон (частная формулировка):** если частица имеет неизменную массу, то ее ускорение пропорционально результирующей всех сил, действующих на частицу, и обратно пропорционально массе частицы:

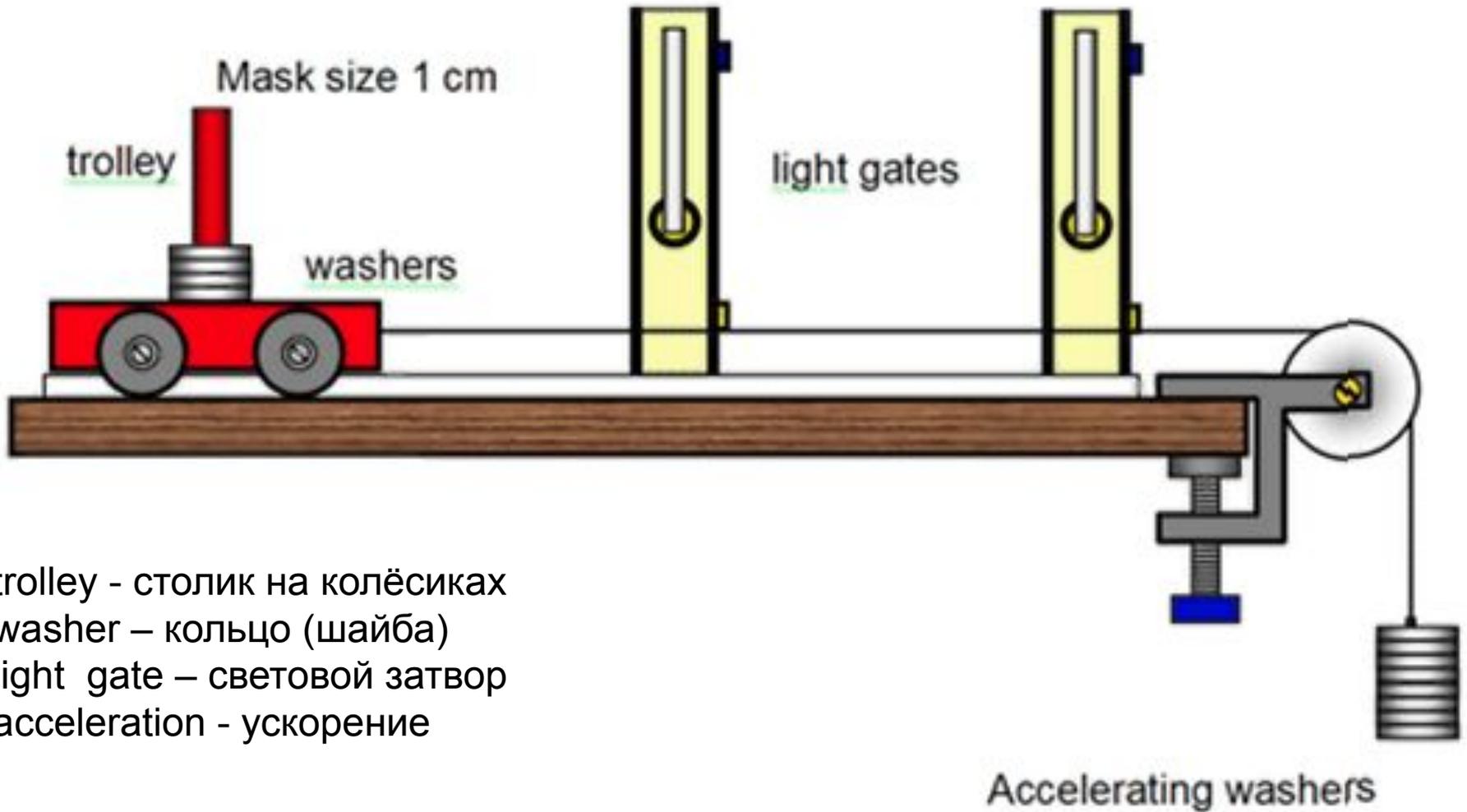
$$m = \text{const} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}_{\Sigma}}{m} . \quad (2.6)$$

**III закон:** Две частицы действуют друг на друга с силами, равными по величине и направленными в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти частицы:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21} . \quad (2.7)$$



## Проверка II закона Ньютона



trolley - столик на колёсиках  
washer – кольцо (шайба)  
light gate – световой затвор  
acceleration - ускорение

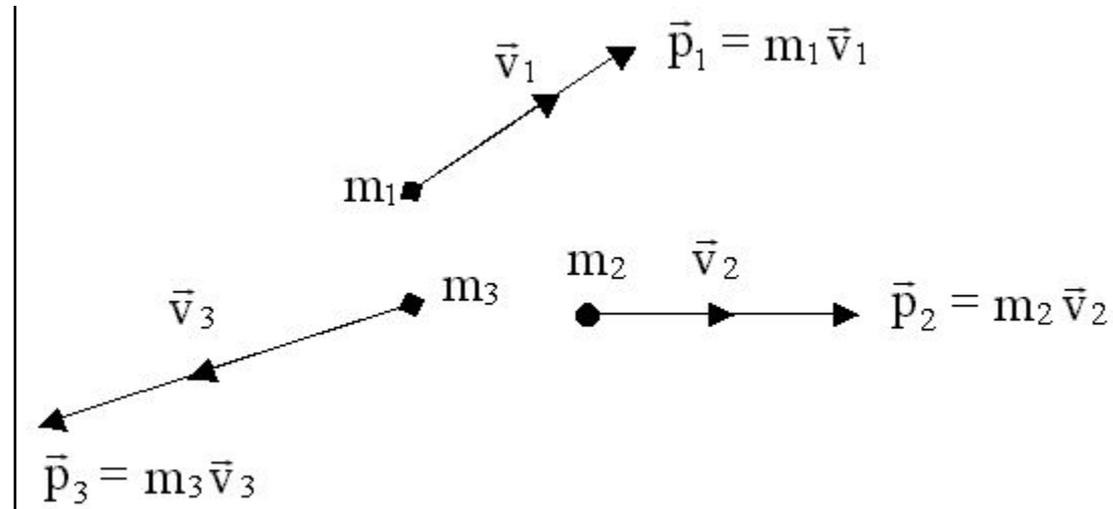
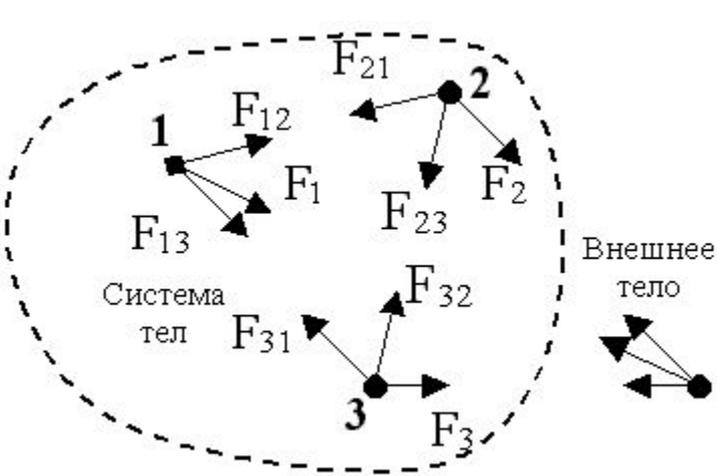
# Закон сохранения импульса

**Внутренние силы** – силы взаимодействия между телами, входящими в рассматриваемую систему. **Обозначение:**  $F_{ij}$  - сила, действующая на  $i$ -ое тело со стороны  $j$ -го тела.

**Внешние силы** – силы, обусловленные действием тел, не входящих в рассматриваемую систему. **Обозначение:**  $F_i$  - результирующая сила, действующая на  $i$ -ое тело со стороны внешних тел, т.е. других тел, не входящих в рассматриваемую систему.

**Импульс системы частиц** – векторная сумма импульсов частиц, входящих в рассматриваемую систему:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i \quad (2.8)$$



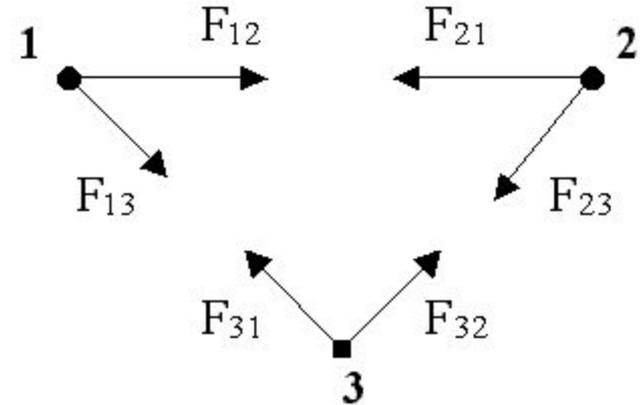
**Закон изменения импульса:** скорость изменения во времени импульса системы частиц равна векторной сумме всех внешних сил, действующих на частицы этой системы :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i . \quad (2.9)$$

Система частиц называется **замкнутой**, если на нее не действуют внешние силы:

$$\vec{F}_i = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = 0 \Rightarrow$$

$$\vec{p} = \sum_{i=1}^n \vec{p}_i = \text{const} . \quad (2.10)$$



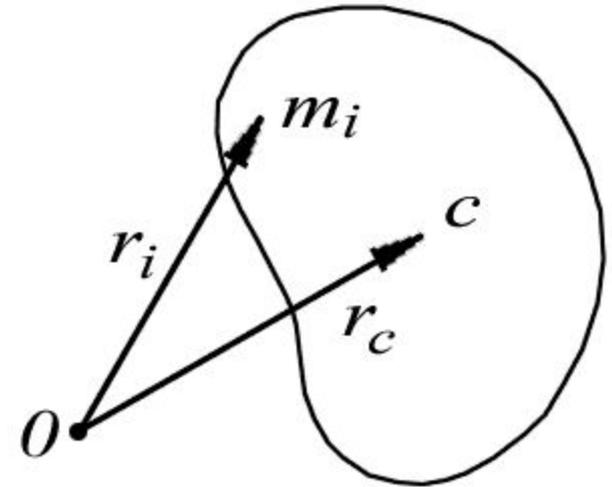
**Закон сохранения импульса:** импульс замкнутой системы частиц не изменяется с течением времени.

**Импульс незамкнутой системы** сохраняется в следующих случаях:

1. Если векторная сумма внешних сил равна нулю.
2. Если взаимодействие продолжается очень короткое время, а внешние силы существенно меньше внутренних сил.
3. Если результирующая внешняя сила перпендикулярна некоторому направлению, то сохраняется не вектор импульса системы, а проекция импульса системы на это направление.

**Центр инерции** (точка  $C$  на рисунке) - геометрическая точка, положение которой характеризует распределение масс в теле или системе частиц. Положение точки  $C$  относительно тела отсчета (точка  $O$  на рисунке) характеризуется радиусом-вектором

$$\vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i} . \quad (2.11)$$



### Свойства центра инерции:

1. Импульс системы частиц равен произведению массы системы на скорость движения ее центра инерции.
2. Центр инерции системы частиц движется так, как если бы вся масса системы была сосредоточена в этой точке и к ней была бы приложена результирующая внешних сил.
3. Центр инерции замкнутой системы частиц движется равномерно и прямолинейно.
4. Если система частиц находится в однородном поле сил тяжести, то ее центр инерции совпадает с центром тяжести.