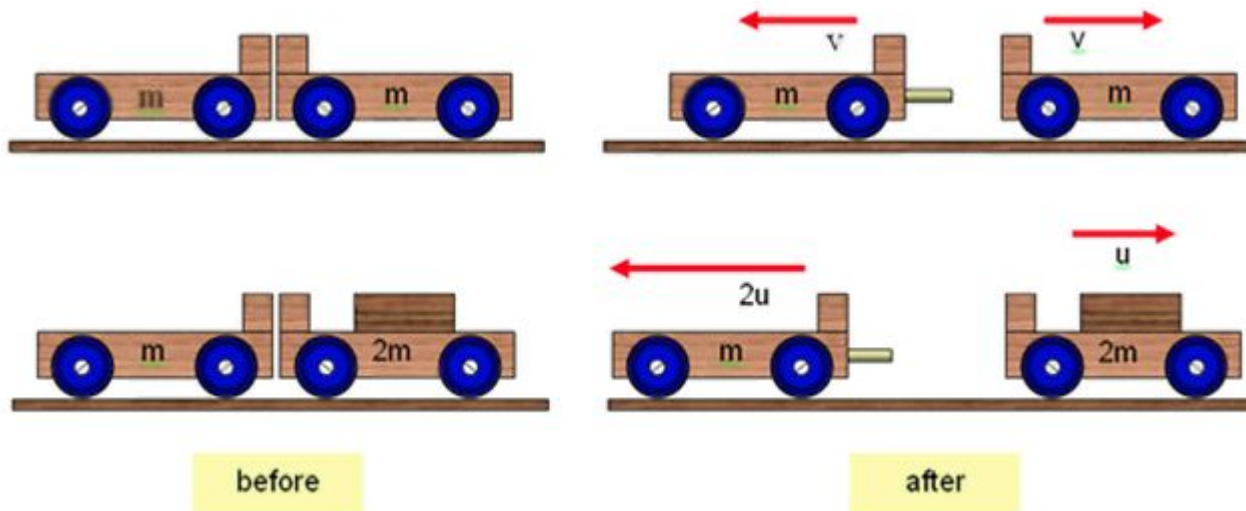


ЛЕКЦИЯ № 2 **Динамика частиц**

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; $[F]=\text{Н}=\text{кг}\cdot\text{м}/\text{с}^2$.

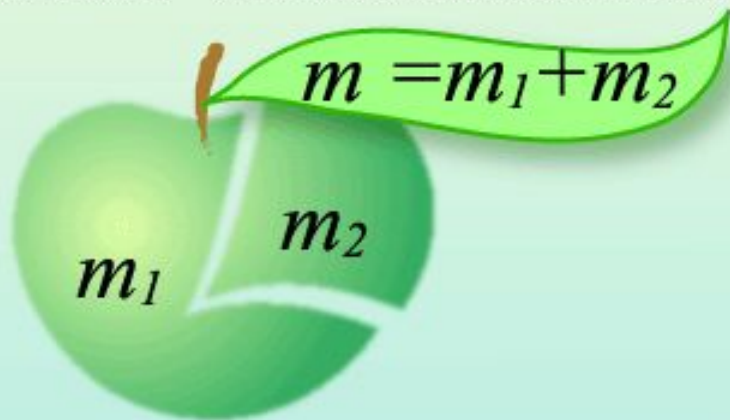
Импульс силы – векторная величина, характеризующая действие на частицу силы за некоторый промежуток времени:

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

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.

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

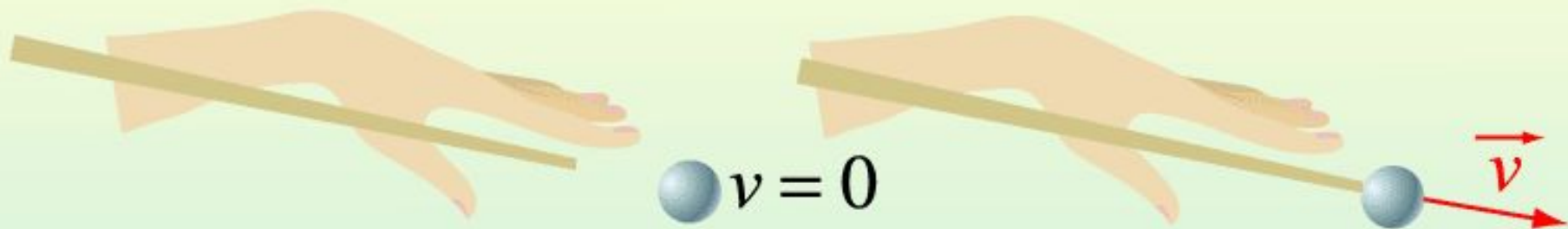
2. Масса зависит от скорости.

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

3. Масса – величина неаддитивная.

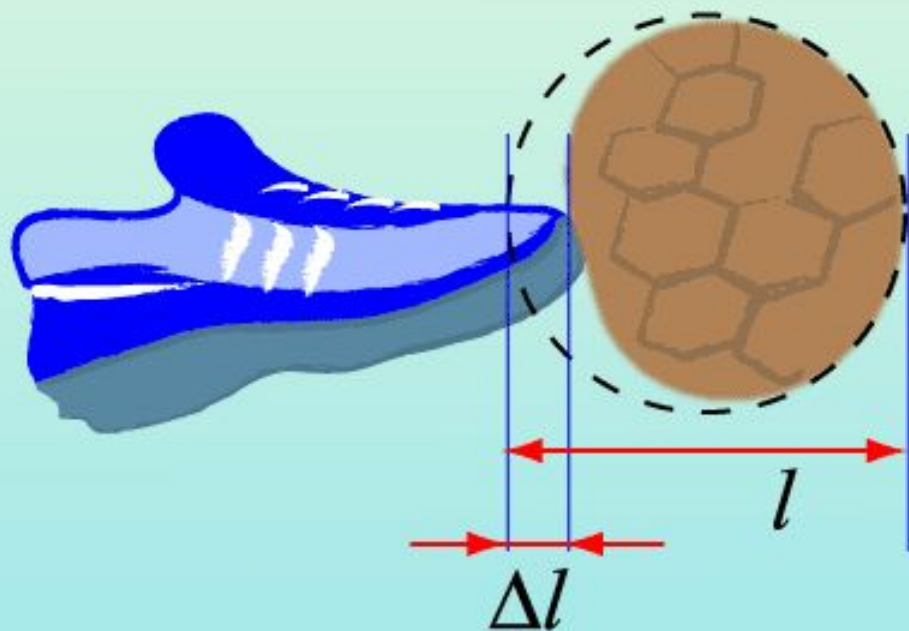
Масса ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс слагающих его протонов и нейтронов.

Результат взаимодействия тел



тела получают ускорение

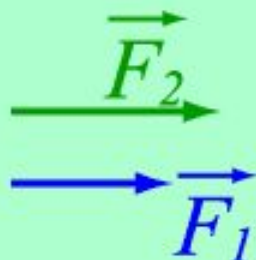
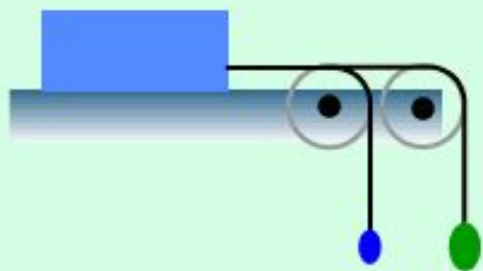
$$a \sim F$$



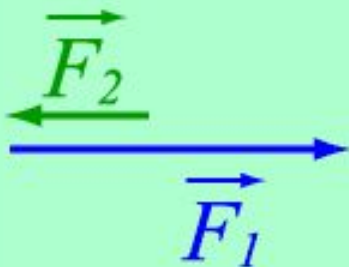
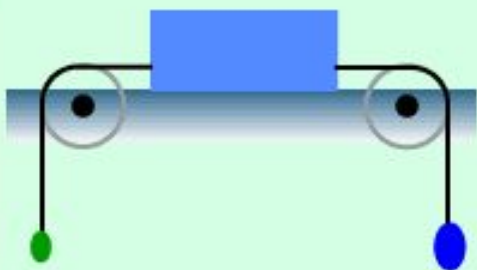
тела деформируются

$$\Delta l \sim F$$

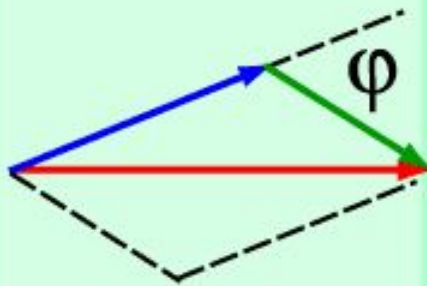
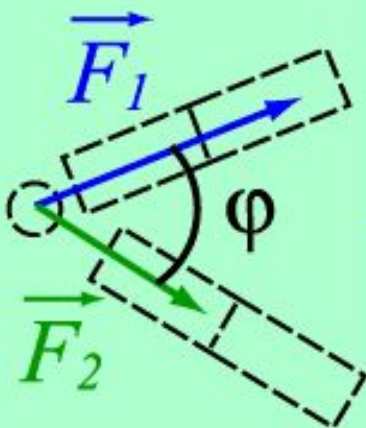
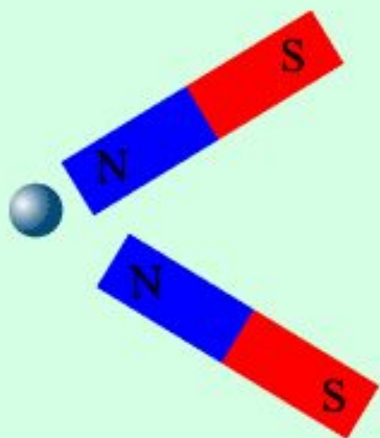
Сложение сил



$$F_p = F_1 + F_2$$



$$F_p = F_1 - F_2$$



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

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:

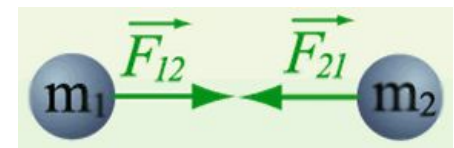
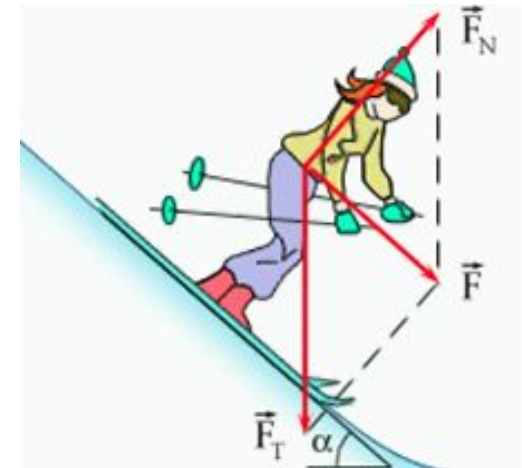
$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\Sigma} . \quad (2.5)$$

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

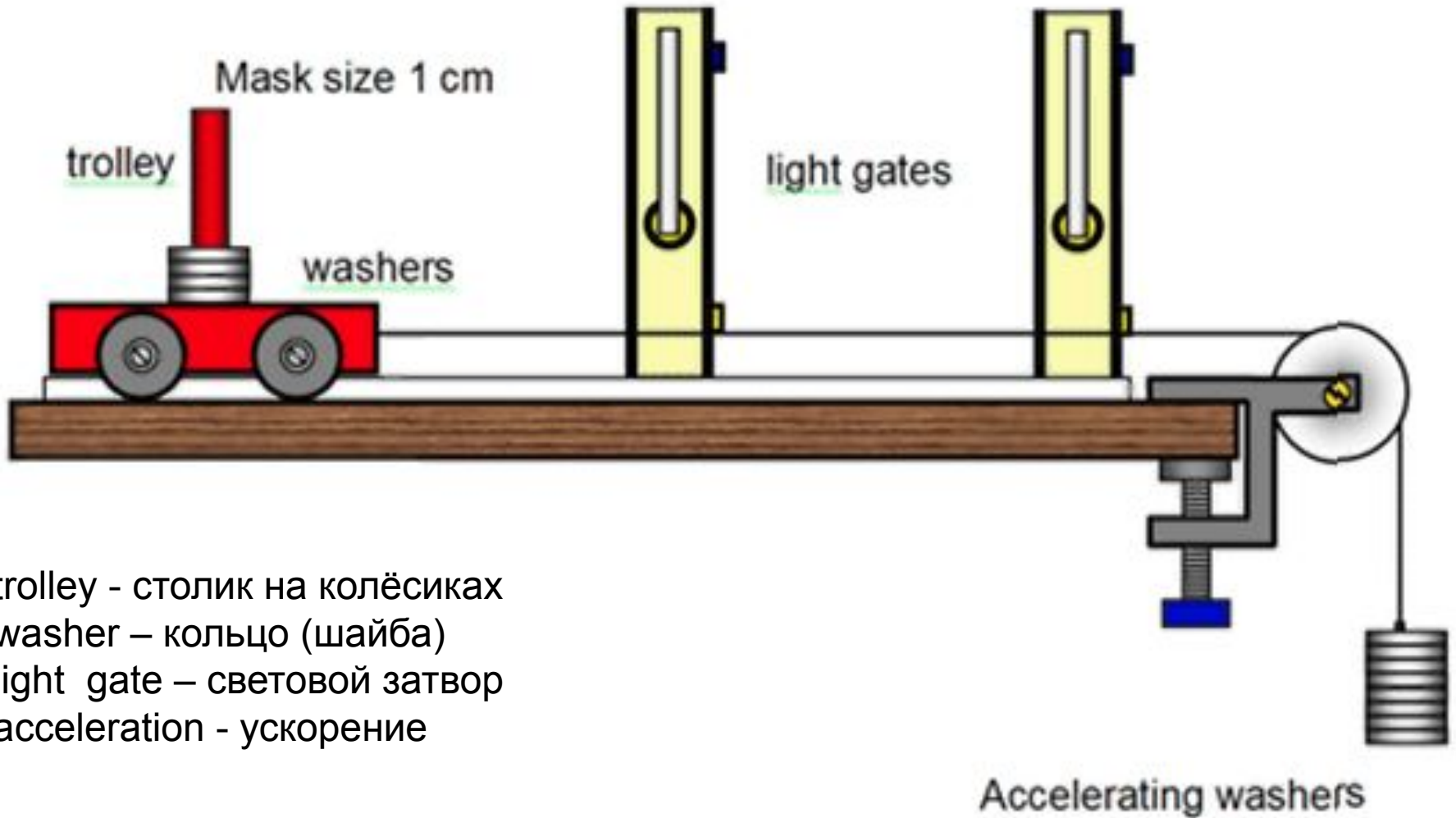
$$m = \text{const} \Rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}_{\Sigma}}{m} . \quad (2.6)$$

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

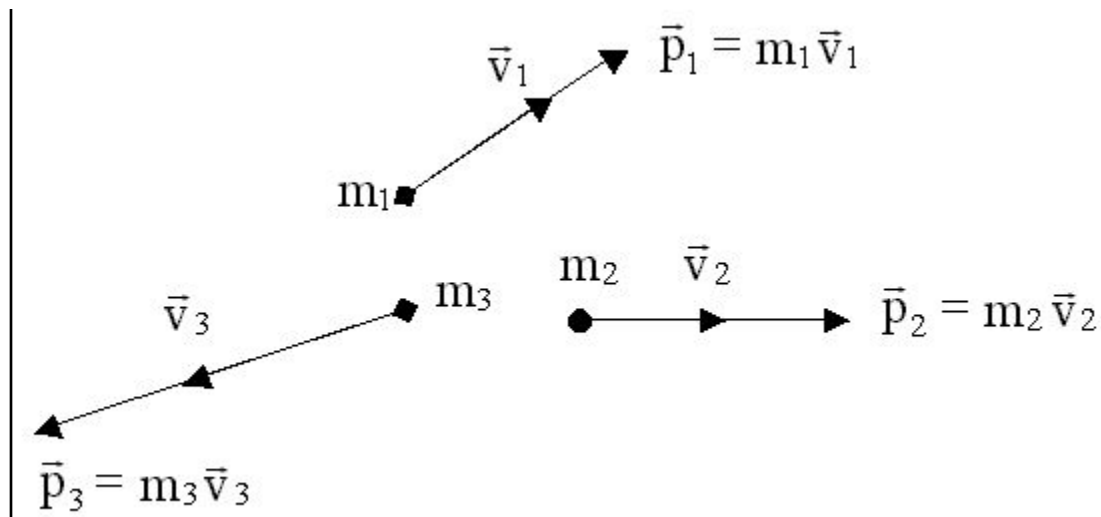
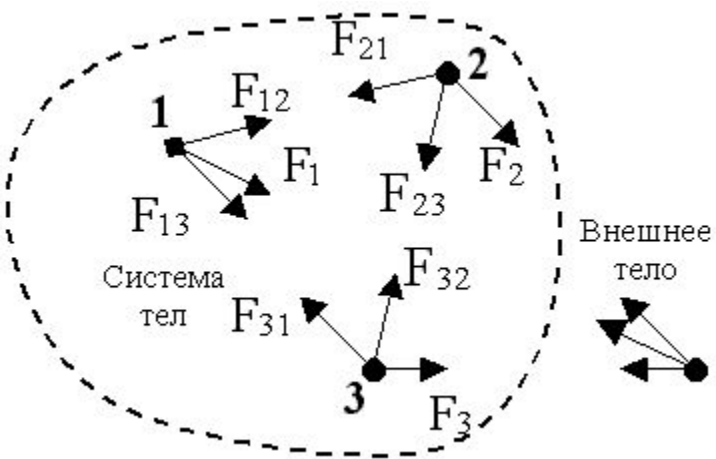
Закон сохранения импульса

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:

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



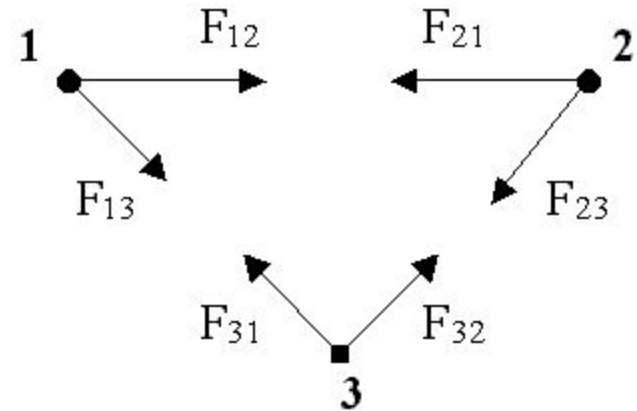
Закон изменения импульса: скорость изменения во времени импульса системы частиц равна векторной сумме всех внешних сил, действующих на частицы этой системы :

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

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

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

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



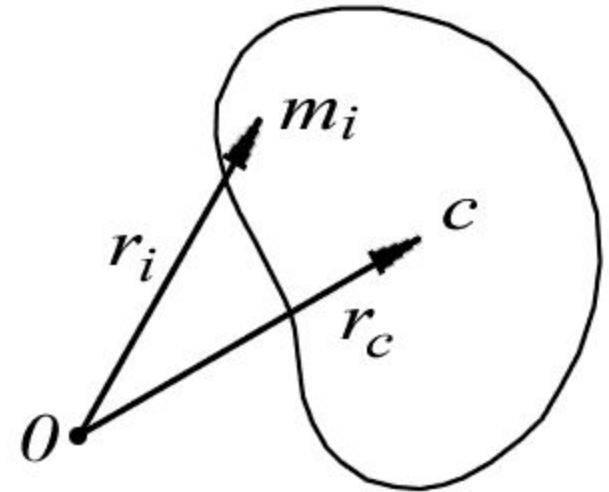
Закон сохранения импульса: импульс замкнутой системы частиц не изменяется с течением времени.

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.