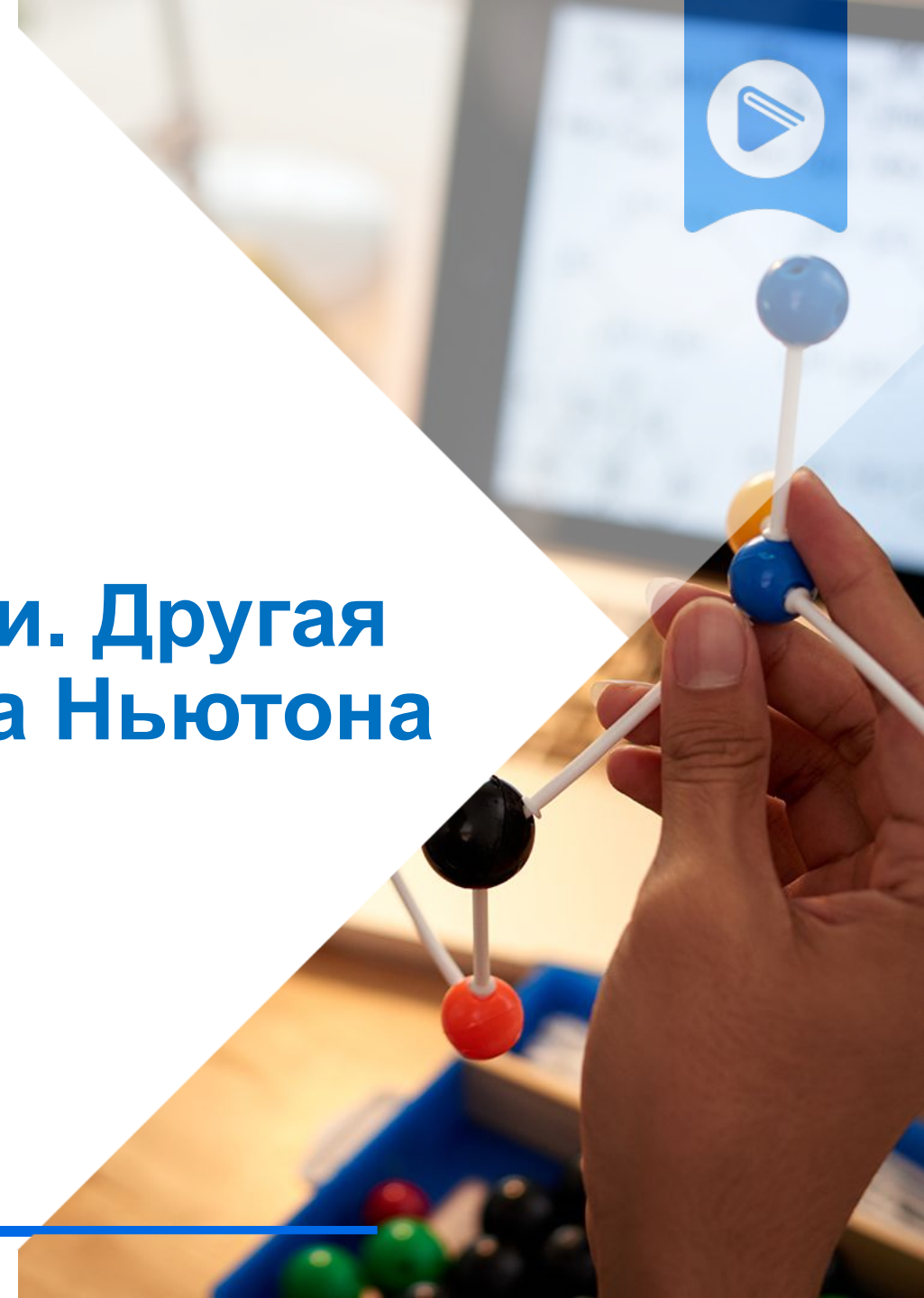


Импульс материальной точки. Другая формулировка второго закона Ньютона

Щербунова Евгения Олеговна
Учитель физики



Импульс силы равен
изменению импульса
тела.

$$Ft = mv - mv_0$$



Импульс – векторная величина. Он
всегда совпадает по направлению с
вектором скорости.

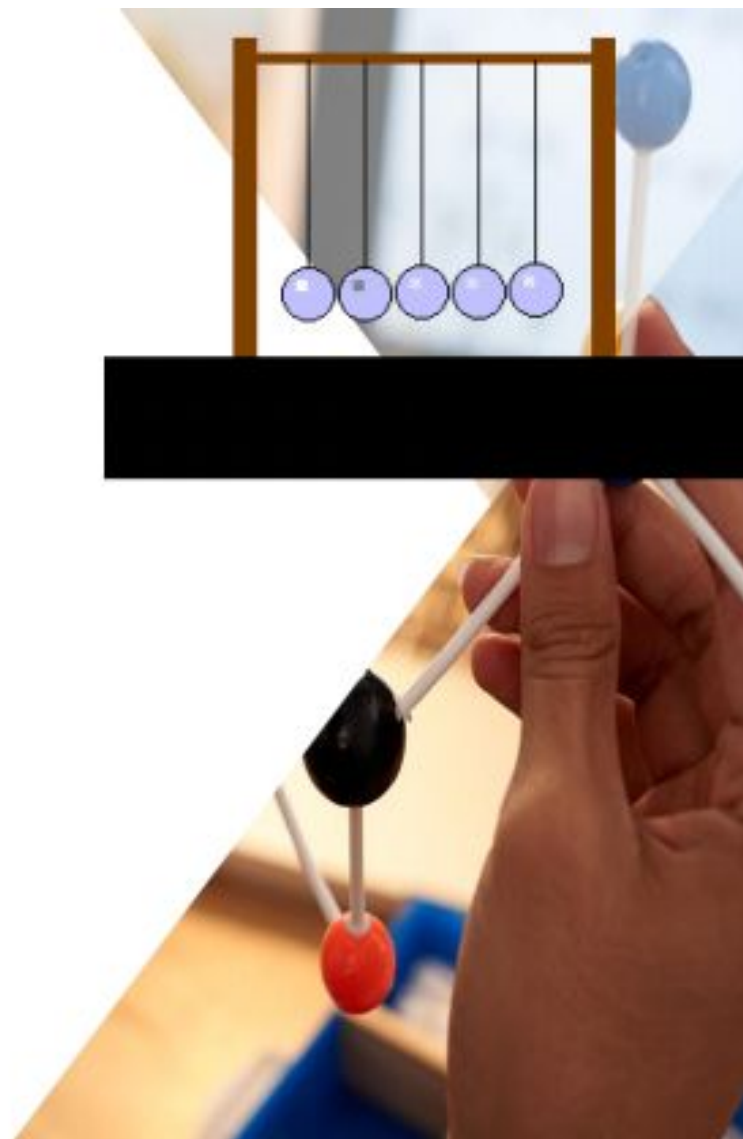


Если два или несколько тел взаимодействуют только между собой (не подвергаются воздействию внешних сил), то эти тела образуют **замкнутую систему.**

Импульс каждого из тел, входящих в замкнутую систему может меняться в результате их взаимодействия друг с другом.



Векторная сумма импульсов замкнутой системы тел не изменяется.





Подставив это выражение во второй закон Ньютона, получим:

$$\begin{aligned}\frac{m(\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\Delta t} &= \vec{F}, \\ m\vec{v}_2 - m\vec{v}_1 &= \vec{F}\Delta t.\end{aligned}\quad (1)$$

В уравнении (1) появляется новая физическая величина — *импульс материальной точки*.

Импульсом материальной точки называют физическую величину, равную произведению массы точки на её скорость.

Обозначим импульс буквой \vec{p} . Тогда

$$\vec{p} = m\vec{v}.\quad (2)$$



Рис. 4.1

Из формулы (2) видно, что импульс — векторная величина. Так как $m > 0$, то импульс имеет то же направление, что и скорость (рис. 4.1). Единицей импульса в СИ является *килограмм-метр в секунду* (кг·м/с).



ВТОРОЙ ЗАКОН ДИНАМИКИ В ФОРМУЛИРОВКЕ НЬЮТОНА. Обозначим через $\vec{p}_1 = m\vec{v}_1$ — импульс материальной точки в начальный момент промежутка времени Δt , а через $\vec{p}_2 = m\vec{v}_2$ — её импульс в конечный момент этого промежутка. Тогда величина $\vec{p}_2 - \vec{p}_1 = \Delta\vec{p}$ будет представлять собой изменение импульса за время Δt .

С учётом этого уравнение (1) можно записать в следующем виде:

$$\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t. \quad (3)$$

В силу того, что $\Delta t > 0$, направления векторов $\Delta\vec{p}$ и \vec{F} совпадают.

Изменение импульса материальной точки пропорционально приложенной к ней силе и имеет такое же направление, как и сила.



ИЗМЕНЕНИЕ ИМПУЛЬСА СИСТЕМЫ ТЕЛ (МАТЕРИАЛЬНЫХ ТОЧЕК). Совокупность тел, движение которой мы изучаем, называют *механической системой* или просто *системой*. Импульс системы тел (материальных точек) равен векторной сумме импульсов всех тел.

Для определения импульса тела необходимо мысленно разбить тело на отдельные элементы (материальные точки), найти импульсы полученных элементов, а затем их просуммировать, как векторы. В этом случае

импульс тела будет равен сумме импульсов его отдельных элементов.

Рассмотрим систему, состоящую из трёх тел. На них действуют *внешние силы* \vec{F}_i (i — номер тела; например \vec{F}_2 — это сумма внешних сил, действующих на тело номер два). Между телами системы действуют силы \vec{F}_{ik} , называемые *внутренними силами* (рис. 4.2). Здесь

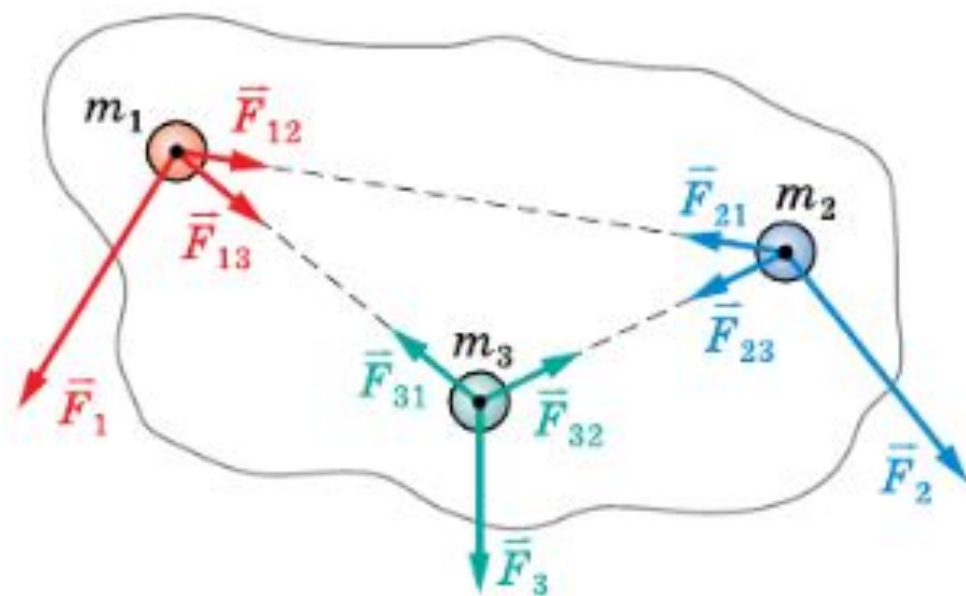


Рис. 4.2



первая буква i в индексе означает номер тела, на которое действует сила \vec{F}_{ik} , а вторая буква k — номер тела, со стороны которого действует данная сила. На основе третьего закона Ньютона можно записать:

$$\vec{F}_{ik} = -\vec{F}_{ki}. \quad (4)$$

Вследствие действия сил на тела системы их импульсы изменяются. Если за малый промежуток времени сила заметно не меняется, то для каждого тела системы можно записать изменение импульса в форме уравнения (3):

$$\begin{aligned} \Delta(m_1 \vec{v}_1) &= (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_1)\Delta t, \\ \Delta(m_2 \vec{v}_2) &= (\vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_2)\Delta t, \\ \Delta(m_3 \vec{v}_3) &= (\vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_3)\Delta t. \end{aligned} \quad (5)$$

В левой части каждого уравнения стоит изменение импульса тела $\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i$ за малый промежуток времени Δt :

$$\Delta(m_i \vec{v}_i) = m_i \vec{v}_{iк} - m_i \vec{v}_{iн},$$

В левой части каждого уравнения стоит изменение импульса тела $\vec{p}_i = m_i \vec{v}_i$ за малый промежуток времени Δt :

$$\Delta(m_i \vec{v}_i) = m_i \vec{v}_{i\kappa} - m_i \vec{v}_{i\text{н}},$$

где $\vec{v}_{i\text{н}}$ — скорость движения тела системы в начале интервала времени Δt , а $\vec{v}_{i\kappa}$ — скорость движения тела системы в конце этого интервала.

Если сложить левые и правые части уравнений (5) и провести необходимые математические преобразования, то можно показать, что

$$\Delta \vec{p}_c = (\vec{F}_{12} + \vec{F}_{13} + \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} + \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3) \Delta t,$$

где $\Delta \vec{p}_c$ — изменение импульса системы тел.

Но силы взаимодействия любой пары тел в сумме дают нуль, так как согласно формуле (4):

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}, \vec{F}_{13} = -\vec{F}_{31}, \vec{F}_{23} = -\vec{F}_{23}.$$

Поэтому $\Delta \vec{p}_c$ равно импульсу внешних сил:

$$\Delta \vec{p}_c = (\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3) \Delta t. \quad (6)$$

Мы пришли к важному выводу: *импульс системы тел могут изменить только внешние силы, причём изменение импульса системы пропорционально сумме внешних сил и совпадает с ней по направлению. Внутренние силы, изменяя импульсы отдельных тел системы, не изменяют суммарный импульс системы.*

Уравнение (6) справедливо для любого интервала времени, если сумма внешних сил остаётся постоянной.



Решим задачи:



3. Как был впервые сформулирован второй закон Ньютона? **4.** Как можно найти импульс системы тел? **5.** Какие силы могут изменить импульс системы тел?

1. В каком направлении станет перемещаться аэростат, если по свисающей с него лестнице начнёт подниматься человек с постоянной скоростью относительно лестницы?

2. В цирковом аттракционе атлету, лежащему на ковре, устанавливают на грудь наковальню и затем бьют по ней молотком. Опасны ли такие удары для атлета?

3. К пристани на озере приближаются две одинаковые лодки. Оба лодочника подтягиваются к пристани с помощью верёвки (рис. 4.3). Противоположный конец верёвки первой лодки привязан к тумбе на пристани. Матрос, находящийся на пристани, тянет к себе конец верёвки второй лодки. Все трое прилагают одинаковые усилия. Какая лодка причалит раньше?

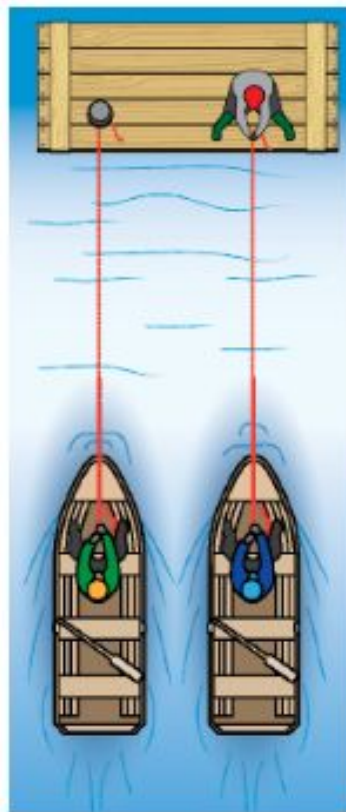


Рис. 4.3