

Тема: Динамика
поступательного движения.
Законы сохранения

§ 1 Законы Ньютона (XVII-XVIII в.). Динамические характеристики: масса, сила, импульс

Исаак Ньютон (1642-1726 г.): «Если мне и удалось что-то сделать в науке, то это лишь потому, что я стоял на плечах гигантов» (Галилей, Аристотель, Архимед и др.)

Три закона Ньютона - Галилея.

Первый закон Ньютона – «Всякое тело сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения, пока воздействие со стороны других тел не выведет его из этого состояния» (это закон инерции)

Второй закон Ньютона – «Изменение движения пропорционально приложенной силе и происходит в направлении, в каком действует сила».

Под изменением движения Ньютон понимал ускорение $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$:

$\vec{a} \sim \vec{F}$ - это главная мысль закона.

Опыт показывает, что \vec{a} зависит не только от \vec{F} , но и собственного свойства тела – m – массы.

1. Масса – m – количественная мера инертности (инерции) тела.

Имеем обратную связь: $\vec{a} \sim \frac{\vec{F}}{m}$; размерность массы $[m] = [\text{кг}]$

Таким образом, **второй закон Ньютона** можно записать: $\vec{a} = k \frac{\vec{F}}{m}$

K – коэффициент пропорциональности

(при единой системе единиц $K=1$)

2. Сила \vec{F} – количественная мера силового взаимодействия материальных тел, $[\text{Н}]$

В законе Ньютона \vec{F} – это результирующая сила всех сил:

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i; \quad \text{если } F=0, \text{ то } a=0 \text{ (тело сохраняет покой)}$$

Современное толкование второго закона Ньютона $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ можно

преобразовать в следующее выражение:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m} \implies \boxed{d(m \cdot \vec{v}) = \vec{F} \cdot dt}, \quad \text{где } \vec{F} \cdot dt \text{ - импульс силы, а } d(m \cdot \vec{v}) \text{ -}$$

изменение импульса тела

Это закон изменения импульса (новый закон).

Закон изменения импульса: импульс постоянной силы ($\vec{F} \cdot dt$), действующий на тело, равен изменению импульса тела $d(m \cdot \vec{v})$.

3. Импульс тела $m \cdot \vec{v} = \vec{P}$ – динамическая характеристика.

С учетом \vec{P} второй закон Ньютона можно выразить в виде:

$\frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = \vec{F}$ первая производная импульса тела по времени равна приложенной силе. Такой вид закона согласуется с современным представлением пространства и времени (специальная теория относительности).

Можно расписать это выражение так:

$$\frac{d(m \cdot \vec{v})}{dt} = m \frac{d\vec{v}}{dt} + \vec{v} \frac{dm}{dt} = \vec{F}, \text{ то есть допускает изменение не только } \vec{v}, \text{ но и } m.$$

Третий закон Ньютона – два взаимодействующих тела действуют друг на друга с силами равными по величине и противоположными по направлению.



«Всякому действию всегда соответствует равное по величине и противоположное по направлению противодействие»

Итак, в динамике поступательного движения есть следующие характеристики:

1. m - масса (мера инерции), кг
2. \vec{F} - сила (мера взаимодействия), Н
3. $\vec{P}=m*\vec{v}$ – импульс тела (произведение массы на скорость), $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$

§ 2 Законы сохранения

1. Закон сохранения импульса – это следствие второго и третьего законов Ньютона. Закон справедлив для изолированной (замкнутой) системы. Это фундаментальный закон природы (от микро – до макро тел)

Замкнутая механическая система – это такая система, на которую внешние силы не действуют (или внешние силы взаимно уравновешивают друг друга ($\vec{F}_{\text{внеш}}=0$; $\vec{M}_{\text{внеш}}=0$))

Вывод закона сохранения импульса:

Рассмотрим механическую систему из m_i – элементов. На неё в общем случае могут действовать два рода сил:

а) внутренние $-\vec{f}_{\text{вн.}}$

б) внешние $-\vec{F}$

Для каждого элемента m_i можно записать второй закон Ньютона

$$\text{Для } m_1: \frac{d(m_1 \vec{v}_1)}{dt} = (\vec{f}_{1,2} + \vec{f}_{1,3} + \dots + \vec{f}_{1,n}) + \vec{F}_1$$

$$\text{Для } m_2: \frac{d(m_2 \vec{v}_2)}{dt} = (\vec{f}_{2,1} + \vec{f}_{2,3} + \dots + \vec{f}_{2,n}) + \vec{F}_2$$

И так далее ...

$$\text{Для всех } m_i \text{ имеем: } \frac{d(m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 + \dots + m_n \vec{v}_n)}{dt} = \sum_{\substack{i=1 \\ j=1}}^n \vec{f}_{i,j} + \sum_{i=1}^n \vec{F}_i$$

Согласно третьему закону Ньютона сумма внутренних сил системы равна 0, так как $\vec{f}_{1,2} = -\vec{f}_{2,1}$ (попарно компенсируют)

$$\text{То есть: } \sum_{i,j=1}^n \vec{f}_{i,j} = 0;$$

Учитывая, что система для закона сохранения импульса должна

$$\text{быть замкнутой, то сумма внешних сил } \implies \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

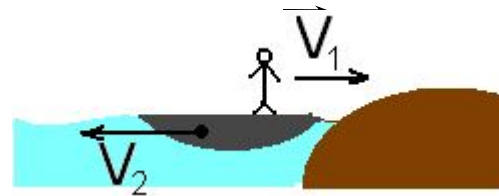
Таким образом, $\frac{d(\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i)}{dt} = 0$ - изменение импульса во времени равно нулю. Значит импульс есть величина постоянная.

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = \text{const}$$

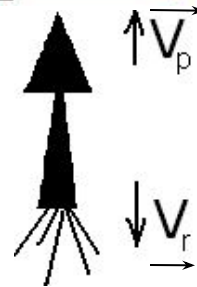
Полный импульс замкнутой системы с течением времени не изменяется (по модулю и по направлению).

Примеры:

а) Лодка у берега



б) Движение ракеты



и так далее.

в) Упругий и неупругий удары.

Упругий удар двух шаров $\{ m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2' \}$

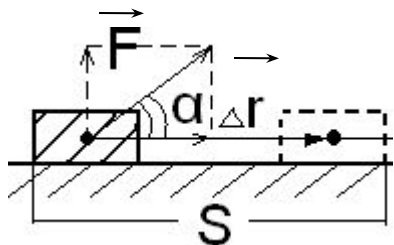
Неупругий удар $\{ m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{v} \}$

(один шар упругий , другой не упругий)

Энергетические характеристики механического движения.

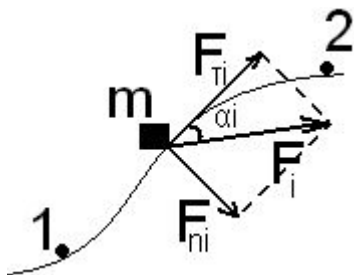
2. Работа – это результат действия силы или изменение механической энергии.

Работа постоянной силы $\vec{F} = \text{const}$



$$A = F \cdot S \cdot \cos \alpha \quad [\text{Дж}] \quad (\alpha = \widehat{\vec{F} \Delta \vec{r}})$$

Работа переменной силы $\vec{F} \neq \text{const}$ $\alpha \neq \text{const}$



$$dA_i = F_i \cdot ds \cdot \cos \alpha_i$$

$$A_{1,2} = \int_1^2 dA = \int_1^2 F_i \cdot \cos \alpha_i \cdot ds$$



Мощность – это скорость выполнения работы.

$$N_{\text{cp}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \text{ - средняя мощность, } [\text{Дж/с}] = [\text{Вт}]$$

$$N_{\text{мг}} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}; \quad N_{\text{мг}} = F \cdot V \cdot \cos \alpha$$

3. Механическая энергия. Кинетическая и потенциальная энергии

Энергия – единая количественная мера движения материи во всех формах этого движения.

Энергия – характеристика состояния тела является функцией ряда параметров (P, V, T, Q и т.д.)

В механике: $W_{\text{мех}} = W_{\text{к}} + W_{\text{п}}$

$W_{\text{к}} = \frac{m \cdot v^2}{2}$ - кинетическая энергия движения ($v=0 \implies W_{\text{к}}=0$)

$W_{\text{п}} = m \cdot g \cdot h$ - поднятого тела над землёй.

$$W_{\text{п}} = \frac{k \cdot y^2}{2}$$

като́й пружины.

Потенциальная энергия – это энергия взаимодействия тел, она обусловлена взаимным их расположением (латынь «Potentia» -возможность)

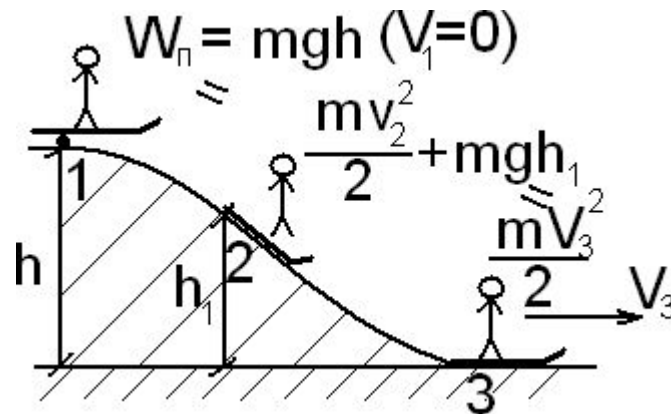
Работа: $A = \Delta W_{\text{мех}}$ - изменение механической энергии.

4. Закон сохранения механической энергии

В замкнутой механической системе полная механическая энергия остаётся постоянной.

$$\boxed{\sum(W_{\text{к}} + W_{\text{п}}) = \text{const}}$$

Это фундаментальный закон природы



Демонстрация проявления закона

Рисунок показывает, что потенциальная энергия лыжника на вершине равна суммарной энергии в точке 2 и равна кинетической энергии в точке 3 при условии – нет потерь на скольжение.