

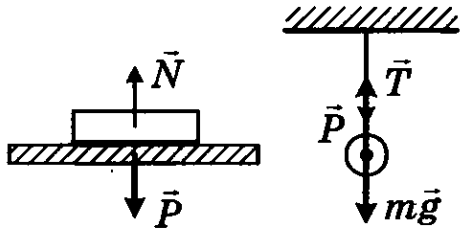
Жидкое трение (сила сопротивления) возникает при движении в жидкостях и газах. Направление жидкого трения противоположно скорости движения ($\vec{F}_{\text{сопр}} \uparrow \downarrow \vec{v}$). Особенности: жидкое трение зависит от формы тел.

При малых скоростях: $F_{\text{сопр}} = kv$; при больших скоростях: $F_{\text{сопр}} = kv^2$.

Коэффициент пропорциональности k зависит от формы и размеров тела, состояния его поверхности и от свойств среды.

Вес тела

Вес тела — сила, с которой тело вследствие притяжения к Земле, действует на опору или подвес (сила, с которой тело давит на опору или растягивает подвес); относится к силам *электромагнитной* природы. Измеряется динамометром. Единица измерения — ньютон (Н).

Точка приложения — точка опоры или подвеса	
Направление	Вес имеет направление, противоположное силе реакции опоры или силе натяжения нити $\vec{P} \uparrow \downarrow \vec{N}; \vec{P} \uparrow \downarrow \vec{T}$
Способ определения модуля веса	По третьему закону Ньютона, $P = N$, или $P = T$, или $P = F_{\text{упр}}$
Вес тела, если тело и опора (подвес) неподвижны	$P_0 = mg$
Невесомость	$P = 0$
Перегрузка	$\frac{P}{P_0} = \frac{P}{mg}$

1.3. Законы сохранения

Импульс тела \vec{p} (кг·м/с) — векторная физическая величина, равная произведению массы тела на его скорость:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Направление импульса совпадает с направлением скорости, так как $m > 0$ ($\vec{v} \uparrow \uparrow \vec{p}$).

Импульс тела равен нулю, если тело не движется ($v = 0$).

Суммарный (полный) импульс системы тел — векторная сумма импульсов всех тел: $\vec{p} = \Sigma \vec{p}_i$.

Изменение импульса тела — векторная разность между конечным и начальным импульсом тела:

$$\Delta \vec{p} = \vec{p} - \vec{p}_0 = \vec{p} + (-\vec{p}_0).$$

Второй закон Ньютона:

$$\vec{F} = m\vec{a}, \quad \vec{a} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{\Delta t},$$

$$\vec{F}\Delta t = m\vec{v} - m\vec{v}_0,$$

$$\vec{F}\Delta t = \Delta \vec{p},$$

где $\vec{F}\Delta t$ — импульс силы, $\Delta \vec{p}$ — изменение импульса тела.

Реактивное движение

Реактивное движение — это движение, которое происходит за счет отделения от тела с некоторой скоростью какой-либо его части. В отличие от других видов движения реактивное движение позволяет телу двигаться и тормозить в безвоздушном пространстве, достигать первой космической скорости.

Ракета представляет собой систему двух тел: оболочки (M — масса оболочки) и топлива (m — масса топлива), v — скорость выброса раскаленных газов, $\frac{m}{t}$ — расход реактивного топлива, u — скорость ракеты.

Второй закон Ньютона: $F_p t = mv$.

Реактивная сила: $F_p = \frac{mv}{t}$.

Мощность ракеты: $P = \frac{mv^2}{2t}$.

Закон сохранения импульса

Закон сохранения импульса: полный импульс замкнутой системы сохраняется:

$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}'_1 + m_2 \vec{v}'_2$$

↑
векторная сумма импульсов тел
до взаимодействия

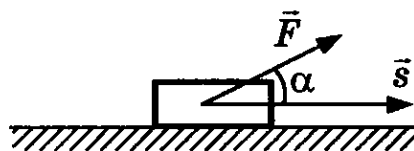
↑
векторная сумма импульсов тел
после взаимодействия

Систему называют *замкнутой*, если тела, входящие в нее, взаимодействуют только друг с другом, а влиянием внешних сил можно пренебречь.

Механическая работа

$$A = Fs \cos \alpha,$$

где F (Н) — модуль силы, s (м) — модуль перемещения, α — угол между направлением силы и перемещением.



Единица измерения работы — джоуль

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

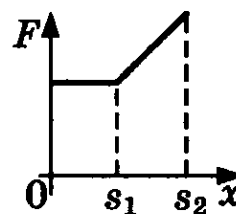
Условия совершения механической работы

- На тело действует сила.
- Под действием этой силы тело перемещается.
- $\alpha \neq 90^\circ$

Геометрический смысл механической работы.

Механическая работа численно равна площади фигуры под графиком в осях (F, x) :

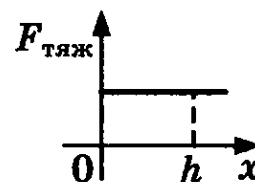
$$A = S_{\text{фиг.}}$$



Работа силы тяжести:

$$A = S_{\text{прям}},$$

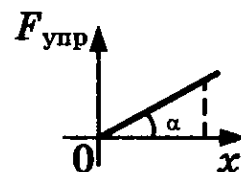
$$A = mgh.$$



Работа силы упругости:

$$A = S_{\text{треуг}},$$

$$A = \frac{kx^2}{2}.$$



Механическая энергия. Ее виды

Если тело может совершить механическую работу, то оно обладает *механической энергией* E (Дж).

Виды механической энергии: кинетическая и потенциальная.

Кинетическая энергия — энергия движущихся тел:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

где v (м/с) — модуль мгновенной скорости.

Потенциальная энергия — энергия взаимодействующих тел

$$E = mgh.$$

Примеры потенциальной энергии в механике.

Тело поднято над землей: $E_p = mgh$,

где h — высота, определяемая от нулевого уровня (или от нижней точки траектории).

Упруго деформированное тело: $E_p = \frac{kx^2}{2}$,

где x (м) — деформация, определяемая от положения недеформированного тела (пружины, шнура и т.п.).

Мощность

Мощность — физическая величина, показывающая, какую работу совершает тело за единицу времени (или какую энергию вырабатывает тело за единицу времени).

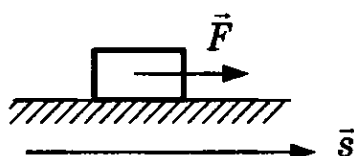
Обозначение: N (в механике) или P (в других разделах)

Основная формула	$N = \frac{A}{t}$
Единица измерения в СИ	$1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж} / 1 \text{ с}$
Дополнительная единица измерения энергии	$1 \text{ кВт} \cdot \text{ч} = 1000 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$
Мощность при равномерном прямолинейном движении	$N = \frac{A}{t} = \frac{F_m \cdot s}{t} = F_m v,$ где F_T — сила тяги, v — скорость тела
Средняя мощность	$N_{\text{ср}} = \frac{A}{t},$ где A — вся работа, t — все время
Средняя мощность силы тяги	$N_{\text{ср}} = F_T \cdot v_{\text{ср}}$
Мгновенная мощность	$N_{\text{мгн}} = F_T \cdot v_{\text{мгн}}$

Коэффициент полезного действия:

$$\eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{A_{\text{полная}}} \cdot 100 \% \text{ или } \eta = \frac{A_{\text{полезная}}}{E_{\text{затраченная}}} \cdot 100 \%$$

Работа и изменение кинетической энергии (теорема о кинетической энергии). Вывод формулы из определения механической работы:



$$A = F s \cos \alpha; \alpha = 0^\circ; \cos \alpha = 1$$

$$F = ma; s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \Delta E_k$$

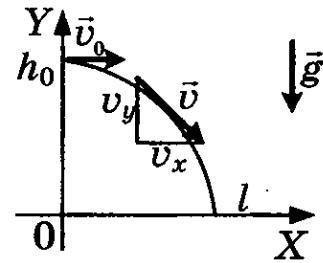
1. Свободное падение (движение по вертикали):

$$v_y = v_{0y} + g_y t .$$

2. Горизонтальный бросок:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} ,$$

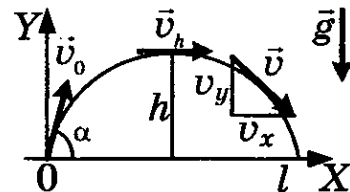
где $v_x = v_0$ и $v_y = -gt$.



3. Бросок под углом к горизонту:

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} ,$$

где $v_x = v_0 \cos \alpha = v_h$ и $v_y = v_0 \sin \alpha - gt$.



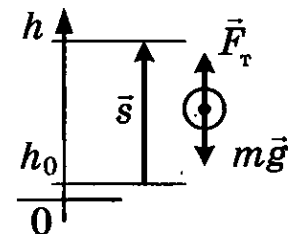
Работа и изменение потенциальной энергии тела поднятого над землей. Вывод формулы из определения механической работы:

$$A = F s \cos \alpha ,$$

$$\vec{F}_\tau \uparrow \uparrow \vec{s}; \quad \cos \alpha = 1 ,$$

$$F_\tau = mg ; \quad s = h - h_0 ,$$

$$A = mg(h - h_0) = \Delta E_p .$$



Работа и изменение потенциальной энергии упруго деформированного тела. Вывод формулы из определения механической работы:

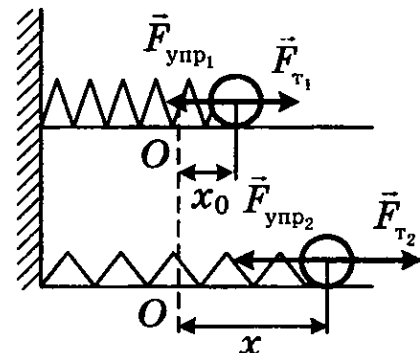
$$A = F s \cos \alpha$$

$$\vec{F}_\tau \uparrow \uparrow \vec{s}; \quad \cos \alpha = 1$$

$$F_\tau = F_{\text{упр}} = \frac{kx_0 + kx}{2}$$

$$s = x - x_0$$

$$A = \frac{kx^2}{2} - \frac{kx_0^2}{2} = \Delta E_p$$



Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия — это сумма потенциальной и кинетической энергии тела в определенный момент времени:

$$E = E_k + E_p .$$

Закон сохранения механической энергии: полная энергия замкнутой системы сохраняется.

$$E_{ko} + E_{po} = E_k + E_p.$$

Систему называют *замкнутой*, если тела, входящие в нее, взаимодействуют только друг с другом, а влиянием внешних сил можно пренебречь.

Закон сохранения механической энергии для движения в поле тяжести Земли:

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh.$$

Упругий удар (упругое столкновение движущегося тела с неподвижным телом).

Закон сохранения импульса:

$$m_1 \bar{v}_1 = m_1 \bar{v}'_1 + m_2 \bar{v}'_2.$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}.$$

Центральный удар. Если удар центральный, то направление векторов скоростей после взаимодействия лежат на той же прямой, что и до взаимодействия, поэтому закон сохранения импульса выполняется в проекциях на ось OX .

Закон сохранения импульса:

$$m_1 v_1 = m_1 v_1' + m_2 v_2'.$$

Закон сохранения энергии:

$$\frac{m_1 v_1^2}{2} = \frac{m_1 v_1'^2}{2} + \frac{m_2 v_2'^2}{2}.$$

Решив систему уравнений, получаем формулы для расчета проекций скоростей тел на ось OX после столкновения:

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1;$$

$$v_2' = \frac{2m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

Анализ полученных формул. Направление движения налетающего шара после столкновения зависит от массы шаров. Если $m_1 > m_2$, то направление сохраняется; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} v_1.$$

Если $m_1 < m_2$, то направление меняется на противоположное; модуль скорости равен

$$v_1' = \frac{m_2 - m_1}{m_1 + m_2} v_1.$$

Если $m_1 = m_2$, то налетающее тело останавливается: $v_1' = 0$.

Изменение механической энергии. Нагревание тела в процессе движения и повышение температуры окружающей среды свидетельствуют о том, что часть механической энергии переходит во внутреннюю. Внутренняя энергия — это энергия молекул тела или окружающей среды. Она складывается из кинетической энергии движущихся молекул и потенциальной энергии их взаимодействия:

$$E - E_0 = A(F_{\text{тр.}}) < 0$$

или

$$E_0 - E = Q, \quad E_{k_0} + E_{p_0} = E_k + E_p + Q,$$

$$\frac{mv_0^2}{2} + mgh_0 = \frac{mv^2}{2} + mgh + Q,$$

где Q — модуль изменения внутренней энергии, работа по преодолению сил сопротивления воздуха, модуль работы силы трения.

Изменение механической энергии внешними силами. Неупругий удар:

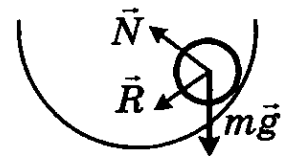
$$E - E_0 = A(F_{\text{внешн.}}) + A(F_{\text{тр.}}).$$

1.4. Статика

Статика изучает условия равновесия тел.

Виды равновесия

Устойчивое равновесие. Если тело вывести из устойчивого равновесия, то появляется сила, возвращающая его в положение равновесия. Устойчивому равновесию соответствует минимальное значение потенциальной энергии ($E_{p_{\min}}$).



Неустойчивое равновесие. Если тело вывести из неустойчивого равновесия, то возникает сила, удаляющая тело от положения равновесия. Неустойчивому равновесию соответствует максимальное значение потенциальной энергии ($E_{p_{\max}}$).

