

МАТЕМАТИКА

$$(abc\dots)^n = a^n b^n c^n \dots \quad a^n b^n c^n \dots = (abc\dots)^n \quad (a/b)^n = a^n / b^n$$

$$a^m a^n = a^{m+n} \quad \text{или} \quad a^m a^{-n} = a^{m-n}$$

$$\frac{a^m}{a^n} = a^{m-n} \quad \text{или} \quad \frac{a^m}{a^{-n}} = a^{m-(-n)} = a^{m+n}$$

$$(a^m)^n = a^{mn}$$

$$S_x = x - x_0, \quad S_y = y - y_0, \quad |\vec{S}| = \sqrt{S_x^2 + S_y^2}$$

длина окружности $l = 2\pi R$, площадь окружности $S = \pi R^2$,

объем шара $V = \frac{4}{3}\pi R^3$, объем цилиндра $V = S_{\text{осн}} h$

Теорема косинусов $C^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos \alpha$.

СРЕДНЯЯ СКОРОСТЬ

$$v_{\text{cp}} = \frac{L}{t}, \quad \text{где } L - \text{весь путь, который прошло тело, } t - \text{все время движения.}$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{L_1 + L_2 + L_3 + \dots}{t_1 + t_2 + t_3 + \dots}$$

РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$\text{Ускорение тела } \vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{t} = \frac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t} \quad \text{или} \quad a = \frac{v - v_0}{t}$$

$$v = v_0 + at$$

Зависимость координаты тела от времени при ускоренном движении

$$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Путь при равноускоренном движении рассчитывается по формулам:

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2}, \quad S = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}, \quad S = v_{\text{cp}} t = \frac{v + v_0}{2} t$$

$$v = \sqrt{v_0^2 + 2aS}$$

Средняя скорость при равноускоренном движении

$$v_{\text{cp}} = \frac{v + v_0}{2}$$

СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ ТЕЛ

Падение тела с некоторой высоты H без начальной скорости.

1. Скорость в момент падения

$$v = v_0 + at = gt \quad \text{или} \quad v = \sqrt{v_0^2 + 2aS} = \sqrt{2gH}$$

2. Пройденный телом путь (не перепутайте пройденный телом путь и высоту, с которой его бросили)

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} = \frac{gt^2}{2} \quad \text{или} \quad S = v_{\text{cp}} t = \frac{v}{2} t$$

3. Время падения (из формулы для пройденного пути) $t = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

Сообщаем телу некоторую скорость v_0 направленную вертикально вниз

1. Скорость в момент падения

$$v = v_0 + at = v_0 + gt \quad \text{или} \quad v = \sqrt{v_0^2 + 2aS} = \sqrt{v_0^2 + 2gH}$$

2. Пройденный телом путь

$$S = v_0 t + \frac{at^2}{2} = v_0 t + \frac{gt^2}{2} \quad \text{или} \quad S = v_{\text{cp}} t = \frac{v_0 + v}{2} t$$

Тело подкидывают с земли вертикально вверх с начальной скоростью v_0

1. Время подъема до максимальной высоты $t_{\text{подъема}} = \frac{v_0}{g}$

2. Максимальная высота подъема тела

$$S = H_{\text{max}} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{-v_0^2}{-2g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

$$H = v_{\text{cp}} t_{\text{подъема}} = \frac{v_0}{2} \frac{v_0}{g} = \frac{v_0^2}{2g}$$

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ БРОСОК

Время падения тела на землю находится по формуле $t_{\text{падения}} = \sqrt{\frac{2H}{g}}$.

Расстояние, которое тело сможет пролететь вдоль оси ОХ, будет равно

$$S_x = v_0 t_{\text{падения}} = v_0 \sqrt{\frac{2H}{g}}$$

В момент падения тела на землю, вертикальная составляющая скорости

будет равна $v_y = gt_{\text{падения}}$ или $v_y = \sqrt{2gH}$.

При этом скорость тела будет состоять из двух составляющих: горизонтальной v_0 , которая не менялась на протяжении всего полета, и вертикальной v_y :

$$v = \sqrt{v_0^2 + v_y^2}$$

БРОСОК ТЕЛА ПОД УГЛОМ К ГОРИЗОНТУ

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad a_x = 0, \quad v_{0y} = v_0 \sin \alpha, \quad a_y = -g$$

$$\text{Время подъема } t_{\text{подъема}} = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\text{Время полета } t = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}$$

$$\text{Дальность полета } L = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

$$\text{Максимальная высота подъема } H = \frac{v_{0y}^2}{2g} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$\text{Период } T = \frac{t}{N}, \quad \text{Частота } \nu = \frac{N}{t}$$

(в обеих формулах N – количество оборотов за время t)

Период и частота величины взаимнообратны

$$T = \frac{1}{\nu}, \quad \nu = \frac{1}{T} \Rightarrow T\nu = 1$$

$$\text{Скорость тела при вращении } v = \frac{l}{t} = \frac{2\pi R}{T} = 2\pi R\nu$$

где $l = 2\pi R$ – длина окружности или путь, пройденный телом за время равное периоду T .

$$\text{Угловая скорость } \omega = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

Связь между линейной скоростью v и угловой скоростью ω : $v = \omega R$

$$\text{Модуль центростремительного ускорения } a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R = v\omega$$

ЗАКОНЫ НЬЮТОНА.

Ускорение, приобретаемое телом в ИСО, прямо пропорционально РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ всех сил, действующих на тело, и обратно пропорци-

нально массе этого тела: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Однако при решении задач второй закон Ньютона целесообразней записывать в виде: $\vec{F} = m\vec{a}$.

Если на тело одновременно действуют несколько сил (например, \vec{F}_1 , \vec{F}_2 и \vec{F}_3) то под силой \vec{F} в формуле, выражающей второй закон Ньютона,

нужно понимать равнодействующую всех сил: $\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3$

Если равнодействующая сила $\vec{F} = 0$, то тело будет оставаться в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения (первый закон Ньютона).

$$\text{Третий закон Ньютона. } \frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1} \quad \text{или} \quad m_1 a_1 = m_2 a_2$$

СИЛА УПРУГОСТИ. ЗАКОН ГУКА

$$F_{\text{упр}} = kx$$

СИЛА ТРЕНИЯ. КОЭФФИЦИЕНТ ТРЕНИЯ

$$F_{\text{тр}} = (F_{\text{тр}})_{\text{max}} = \mu N$$

Если тело тянут с некоторой силой, направленной под углом к горизонту, то $N = mg - F \sin \alpha$,

НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ

Самое основное это проекция силы тяжести на две оси

$$\text{OX: } mgs \sin \alpha \quad \text{OY: } mgs \cos \alpha$$

Если тело движется равномерно по наклонной плоскости в отсутствии внешних сил, то коэффициент трения легко найти, зная угол наклонной плоскости $\mu = \text{tg} \alpha$.

СИСТЕМА ИЗ ДВУХ ТЕЛ. БЛОКИ

Если имеется два тела:

1. Для первого тела $F - T = m_1 a$

2. Для второго тела $T = m_2 a$

Задача про два тела на блоке
$$\begin{cases} m_1 g - T = m_1 a \\ T - m_2 g = m_2 a \end{cases}$$

ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ. СПУТНИКИ

Все тела притягиваются друг к другу с силами, прямо пропорциональными их массам и обратно пропорциональными квадрату расстояния между ними:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad F = G \frac{M}{R_3^2} m = m g_0$$

где g_0 – ускорение свободного падения у поверхности Земли:

$$g_0 = G \frac{M}{R_3^2}$$

Если же удалиться от поверхности Земли на некоторое расстояние h , то ускорение свободного падения на этой высоте станет равно

$$g = G \frac{M}{(R_3 + h)^2} \quad g = g_0 \left(\frac{R_3}{R_3 + h} \right)^2$$

Первая космическая скорость $v = \sqrt{g R_3}$.

ВЕС И НЕВЕСОМОСТЬ

При движении вниз с ускорением $P = m(g - a)$

При движении вверх с ускорением $P = m(g + a)$

Перегрузка рассчитывается по формуле $k = \frac{P}{P_0}$,

где P – вес тела, испытывающего перегрузку, P_0 – вес этого же тела в состоянии покоя.

ДИНАМИКА ВРАЩАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

При движении по выпуклому мосту $N = m(g - a_{ц})$.

При движении по вогнутому мосту $N = m(g + a_{ц})$.

В произвольной точке моста. $mg \cos \alpha - N = ma_{ц}$.

Поворот мотоцикла по горизонтальной дороге «без трения».

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{gR}$$

Поворот самолета. $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v^2}{gR}$

Поворот мотоцикла по горизонтальной дороге с трением.

$$\operatorname{tg} \alpha = \mu = \frac{v^2}{gR}$$

СТАТИКА. РАВНОДЕЙСТВУЮЩАЯ СИЛА

Если силы действуют в одном направлении и параллельны, то

$$F = F_1 + F_2.$$

Если в противоположных и параллельны, то $|F| = |F_1 - F_2|$.

Если под прямым углом друг к другу, то $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$ (по теореме Пифагора).

Если под произвольным углом, то $F^2 = F_1^2 + F_2^2 - 2F_1 F_2 \cos \alpha$ (теорема косинусов), где α — угол между силами, когда они следуют одна за другой.

МОМЕНТ СИЛЫ. ПРАВИЛО МОМЕНТОВ

Произведение модуля силы \vec{F} на плечо d называется моментом силы $M = F \cdot d$

Правило моментов: тело, имеющее неподвижную ось вращения, находится в равновесии, если алгебраическая сумма моментов всех приложенных к телу сил относительно этой оси равна нулю:

$$M_1 + M_2 + \dots = 0.$$

ДАВЛЕНИЕ. ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Давление $p = \frac{F}{S}$.

Если же сила направлена под некоторым углом α к вертикали, то

$$p = \frac{F \cos \alpha}{S}.$$

При этом сила давления находится по формуле $F = pS$

Давление столба жидкости или газа $p = \rho gh$.

Давление на боковую грань $p_{бок} = \frac{\rho gh}{2}$.

Тогда сила давления будет равна $F = p_{бок} S = \frac{\rho gh}{2} S$.

Полное давление в жидкости на глубине h можно записать в виде: $p = p_0 + \rho gh$

Если мы погружаемся в воду, то давление на некоторой глубине

$$p = p_{атм} + \rho gh.$$

СООБЩАЮЩИЕСЯ СОСУДЫ

Давления одинаковы $p_1 = p_2$. $\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2$.

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ПРЕСС.

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2} \quad \text{или} \quad F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$$

$$h_2 = h_1 \frac{S_1}{S_2} \quad F_1 h_1 = F_2 h_2.$$

КПД пресса $\eta = \frac{A_{пол}}{A_{затр}} \cdot 100 \%$.

ЗАКОН АРХИМЕДА.

Сила Архимеда $F_A = \rho g V$, где V – объем вытесненной телом жидкости, а ρV – масса вытесненной жидкости.

Вес тела погруженного в жидкость уменьшается: $P_ж = mg - F_A$.

Если тело находится на поверхности жидкости (плавает), то

$$\frac{V_{погр}}{V} = \frac{\rho_{тела}}{\rho_{жидкости}}, \quad \text{где } V_{погр} \text{ – объем погруженной части тела, } V \text{ – полный}$$

объем тела.

ИМПУЛЬС ТЕЛА. ИМПУЛЬС СИЛЫ

Импульс тела $\vec{p} = m\vec{v}$.

Импульс системы тел равен векторной сумме импульсов всех тел системы:

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \vec{p}_3 + \dots$$

Если тела движутся в одном направлении, то суммарный импульс системы

$$p = p_1 + p_2.$$

Если в противоположных, то $p = |p_1 - p_2|$.

Если под прямым углом друг к другу, то $p = \sqrt{p_1^2 + p_2^2}$ (по теореме Пифагора).

Если под произвольным углом, то $p^2 = p_1^2 + p_2^2 - 2p_1 p_2 \cos \alpha$

(теорема косинусов), где α – угол между направлениями векторов скоростей.

Изменение импульса тела находится как $\Delta \vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1$,

где \vec{p}_1 – импульс тела в начальный момент времени, \vec{p}_2 – в конечный.

Не путайте с суммарным импульсом системы тел!!!!!!!

Импульс силы $F \Delta t = m v - m v_0$,

Реактивная сила $F_p = v \frac{\Delta m}{\Delta t}$.

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА. РЕАКТИВНОЕ ДВИЖЕНИЕ

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

где $m_1 \vec{v}_1$ и $m_1 \vec{u}_1$ – импульс первого тела до и после взаимодействия,

$m_2 \vec{v}_2$ и $m_2 \vec{u}_2$ – импульс второго тела до и после взаимодействия.

Выстрел (реактивное движение) $MV - mv = 0$.

МЕХАНИЧЕСКАЯ РАБОТА И МОЩНОСТЬ

$$A = FS \cos \alpha$$

Мощность N (иногда обозначают буквой P) $N = \frac{A}{t}$.

$$N = \frac{A}{t} = \frac{FS \cos \alpha}{t}$$

Если движение равномерное, то $N = F v \cos \alpha$

Средняя мощность $\langle N \rangle = F \langle v \rangle \cos \alpha$ или $\langle N \rangle = \langle F \rangle v \cos \alpha$

Мгновенную мощность $N_{мгн} = F v_{мгн} \cos \alpha$

(мощность в данный момент времени).

$$\text{КПД } \eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} \cdot 100\% \text{ или } \eta = \frac{P_{\text{пол}}}{P_{\text{затр}}} \cdot 100\%.$$

КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ.

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

Теорема о кинетической энергии:

Работа равнодействующей силы приложенной к телу равна изменению его кинетической энергии. $A = E_{k2} - E_{k1}$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Тело подняли на некоторую высоту $E_p = mgh$.

$$\text{Пружину растянули (сжали) } E_p = \frac{kx^2}{2}$$

ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Сумма кинетической и потенциальной энергии тел, составляющих замкнутую систему и взаимодействующих между собой силами тяготения и силами упругости, остается неизменной.

$$E_{k1} + E_{p1} = E_{k2} + E_{p2}$$

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ МКТ

Количество вещества $\nu = N/N_A$

Молярная масса $M = N_A \cdot m_0$

При решении задач удобно пользоваться формулами:

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}, \quad m_0 = \frac{m}{N} = \frac{M}{N_A}$$

Концентрация $n = \frac{N}{V}$ – количество частиц в единице объема.

ОСНОВНОЕ УРАВНЕНИЕ МКТ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$p = \frac{1}{3} nm_0 v_{\text{кв}}^2, \text{ где } p \text{ – давление газа, } n \text{ – концентрация его молекул, } m_0 \text{ –}$$

масса одной молекулы, $v_{\text{кв}}$ – средняя квадратичная скорость

$$p = \frac{1}{3} nm_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{2}{3} n \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{2}{3} n E_k, \text{ где } E_k \text{ – средняя кинетическая}$$

энергия поступательного движения молекулы идеального газа.

$$p = \frac{1}{3} nm_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{Nm_0}{V} v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \frac{m}{V} v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} \rho v_{\text{кв}}^2,$$

где ρ – плотность газа.

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \text{ где } k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К – постоянная Больцмана, } T \text{ – абсо-}$$

лютная температура.

$kN_A = R$, где $R = 8,31 \text{ Дж/(моль К)}$ – универсальная газовая постоянная. Значит,

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3kN_A T}{m_0 N_A}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{\text{Три КоТа}}{\text{Мышка}}} \text{ – Три кота на мышку.}$$

$$v_{\text{кв}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} = \sqrt{\frac{\text{Три РТа}}{\text{Миска}}} \text{ – Три рта на миску.}$$

$$E_k = \frac{m_0 v_{\text{кв}}^2}{2} = \frac{3m_0 kT}{2m_0} = \frac{3}{2} kT.$$

$$p = \frac{1}{3} nm_0 v_{\text{кв}}^2 = \frac{1}{3} nm_0 \frac{3kT}{m_0} = nkT.$$

$$p = nkT = \frac{N}{V} kT. \quad pV = NkT.$$

Перевод температуры $T_K = T_C + 273,15$.

УРАВНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

$$pV = NkT = \nu N_A kT = \nu RT \text{ или } pV = \nu RT$$

Если температура газа равна $T_n = 273,15 \text{ К}$ (0°C), а давление $p_n = 1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$, то говорят, что газ находится при **НОРМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**.

Основные формы уравнения Клапейрона–Менделеева.

$$pV = \nu RT, \quad pV = NkT, \quad p = nkT,$$

$$pV = \frac{m}{M} RT, \quad pV = \frac{N}{N_A} RT, \quad p = \frac{\rho}{M} RT.$$

ИЗОПРОЦЕССЫ

Изобарный процесс ($p = \text{const}$)

$$\frac{V}{T} = \text{const} \text{ или } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \text{ или } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

Изохорный процесс ($V = \text{const}$)

$$\frac{p}{T} = \text{const} \text{ или } \frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2} \text{ или } \frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2},$$

Изотермический процесс ($T = \text{const}$)

$$pV = \text{const} \text{ или } p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ГАЗОВЫЙ ЗАКОН

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2}$$

ТЕПЛОЕМКОСТЬ ВЕЩЕСТВА

Количество теплоты Q , необходимое для нагревания 1 кг вещества на 1 К называют *удельной теплоемкостью вещества* c .

$$Q = cm(t_2 - t_1) = cm\Delta t.$$

Теплоемкость тела $C = cm$.

Количество теплоты Q отданное каким-либо источником (нагревателем) рассчитывается по формуле:

$Q = Pt$, где P – мощность источника, t – время, в течение которого источник отдавал тепло.

ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ

Количество теплоты, необходимое для превращения жидкости в пар или выделяемое паром при конденсации, называется *теплотой парообразования* $\Delta Q = r m$, где r – удельная теплота парообразования.

Количество теплоты, необходимое для плавления тела или выделяемое при кристаллизации (отвердевании), называется *теплотой плавления*: $\Delta Q = \lambda m$, где λ – удельная теплота плавления.

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива массой m , называется *теплотой сгорания топлива*: $\Delta Q = q m$, где q – удельная теплота сгорания топлива.

УРАВНЕНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА

В соответствии с законом сохранения энергии для *замкнутой системы тел*, в которой не происходит никаких превращений энергии, кроме теплообмена, количество теплоты, отдаваемое более нагретыми телами, равно количеству теплоты, получаемому более холодными. Теплообмен прекращается в состоянии термодинамического равновесия, т. е. когда температура всех тел системы становится одинаковой. Сформулируем уравнение теплового баланса: *в замкнутой системе тел алгебраическая сумма количеств теплоты, отданных и полученных всеми телами, участвующими в теплообмене, равна нулю*: $\Delta Q_1 + \Delta Q_2 + \Delta Q_3 + \dots + \Delta Q_n = 0$.

В зависимости от условий задачи каждое слагаемое уравнения может быть как положительным, так и отрицательным. Общее правило знаков следующее: *количество теплоты, ПОЛУЧЕННОЕ телом, считают положительным* ($\Delta Q > 0$), а *ОТДАННОЕ – ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ* ($\Delta Q < 0$).

РАБОТА ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Внутренняя энергия одного моля идеального одноатомного газа

$$U = \frac{3}{2} N_A kT = \frac{3}{2} RT.$$

$$\text{Работа газа } A = p\Delta V = \frac{m}{M} R\Delta T.$$

Если же давление газа меняется, то работу газа считают как **ПЛОЩАДЬ ФИГУРЫ ПОД ГРАФИКОМ p - V**

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ.

Количество теплоты, полученное системой, идет на изменение ее внутренней энергии и совершение работы над внешними телами (такая формулировка, на мой взгляд, более удобна и понятна).

$$Q = \Delta U + A.$$

ПЕРВОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ И ИЗОПРОЦЕССЫ

Внутреннюю энергию идеального одноатомного газа можно вычислить по формулам:

$$U = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} N_A kT = \frac{3}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{3}{2} pV,$$

где m – масса газа, M – молярная масса газа, N – количество частиц.

По этим формулам можно рассчитать только энергию одноатомного газа.

Если газ двухатомный, то

$$U = \frac{5}{2} NkT = \frac{5}{2} \frac{m}{M} N_A kT = \frac{5}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{5}{2} pV.$$

Энергия одноатомного газа меняется только в том случае, если меняется его

$$\text{температура: } \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T.$$

$$\text{Если процесс изобарный, то } \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} p \Delta V.$$

$$\text{Если процесс изохорный, то } \Delta U = \frac{3}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{3}{2} \Delta p V.$$

Если процесс изотермический, то энергия газа не меняется.

В ИЗОХОРНОМ ПРОЦЕССЕ ($V = \text{const}$) газ работы не совершает, $A = 0$.

Следовательно, $Q = \Delta U$

В ИЗОБАРНОМ ПРОЦЕССЕ ($p = \text{const}$) $Q = \Delta U + p \Delta V$.

В ИЗОТЕРМИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ температура газа не изменяется, следовательно, не изменяется и внутренняя энергия газа, $\Delta U = 0$. $Q = A$.

При АДИАБАТИЧЕСКОМ ПРОЦЕССЕ $Q = 0$; поэтому первый закон термодинамики принимает вид $A = -\Delta U$,

ВТОРОЕ НАЧАЛО ТЕРМОДИНАМИКИ. ЦИКЛЫ. ТЕПЛОВЫЕ МАШИНЫ

Работа A , совершаемая рабочим телом за цикл, равна полученному за цикл количеству теплоты Q . Отношение работы A к количеству теплоты Q_1 , полученному рабочим телом за цикл от нагревателя, называется коэффициентом

$$\text{полезного действия } \eta \text{ тепловой машины: } \eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1}.$$

КПД цикла Карно (T_1 - нагреватель, T_2 - холодильник)

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}.$$

СВОЙСТВА ПАРОВ. ВЛАЖНОСТЬ

Абсолютной влажностью ρ называют количество водяного пара, содержащегося в 1 м^3 воздуха (плотность водяных паров):

$$\rho = \frac{pM}{RT}$$

где p - парциальное давление водяного пара, M - молярная масса, R - универсальная газовая постоянная, T - абсолютная температура. Единица измерения абсолютной влажности в СИ $[\rho] = 1 \text{ кг/м}^3$, хотя обычно используют 1 г/м^3 .

Относительной влажностью φ называется отношение абсолютной влажности ρ к тому количеству водяного пара ρ_0 , которое необходимо для насыщения 1 м^3 воздуха при данной температуре:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0} 100\%.$$

Относительную влажность можно также определить как отношение давления водяного пара p к давлению насыщенного пара p_0 при данной температуре:

$$\varphi = \frac{p}{p_0} 100\%.$$

ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ

Коэффициент поверхностного натяжения σ - модуль силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии, ограничивающей по-

$$\text{верхность. } \sigma = \frac{F_{\text{н}}}{L}.$$

Высота поднятия (опускания) жидкости плотностью ρ в капилляре радиуса

$$r \quad h = \frac{2\sigma}{\rho g r}$$

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ ТЕЛ.

При решении задач по этой теме удобно пользоваться формулами

$$F = \sigma S = E |\varepsilon| S = E \frac{|\Delta L|}{L_0} S = k |\Delta L|,$$

Величина $\sigma = F/S$ называется механическим напряжением или просто напряжением.

$$\varepsilon = \Delta L / L_0 - \text{относительное удлинение}$$

E - модулем упругости, или модулем Юнга
 S - площадь сечения материала.

$$k = ES / L_0 - \text{жесткость образца.}$$

Запас прочности или коэффициент безопасности $n = \sigma_{\text{пр}} / \sigma_{\text{д}}$,

где $\sigma_{\text{д}}$ - допустимое максимальное напряжение, которое будет испытывать

элемент конструкции.

ТЕПЛОВОЕ РАСШИРЕНИЕ ТЕЛ

Тепловое расширение жидкостей подчиняется следующему закону:

$$V = V_0 (1 + \gamma t).$$

Здесь V_0 - объем жидкости при 0°C , V - при температуре t , γ - коэффициент объемного расширения жидкости.

Для расширения твердых тел применяются 3 формулы, описывающие изменение линейных размеров, площади и объема тела.

$$l = l_0 (1 + \alpha t), \quad S = S_0 (1 + 2\alpha t), \quad V = V_0 (1 + 3\alpha t).$$

Здесь l_0, S_0, V_0 - соответственно длина, площадь поверхности и объем тела при 0°C , α - коэффициент линейного расширения тела.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН КУЛОНА

Из закона сохранения заряда так же следует, если два тела, обладающие зарядами q_1 и q_2 (совершенно не важно какого знака заряды), привести в соприкосновение, а затем обратно раздвинуть, то заряд каждого из тел ста-

$$\text{нет равным: } q' = \frac{q_1 + q_2}{2}.$$

Заряд может передаваться от одного тела к другому только порциями, содержащими целое число элементарных зарядов. Таким образом, электрический заряд тела - дискретная величина:

$$q = \pm ne \quad (n = 0, 1, 2, \dots)$$

Закон Кулона $F = k \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$ Если же заряды находятся в каком-либо

$$\text{веществе, то: } F = k \frac{|q_1||q_2|}{\varepsilon r^2},$$

где ε - диэлектрическая проницаемость среды - физическая величина, показывающая во сколько раз сила взаимодействия зарядов в данной среде, БУДЕТ МЕНЬШЕ, чем в вакууме (то есть во сколько раз среда ослабляет взаимодействие зарядов).

НАПРЯЖЕННОСТЬ ПОЛЯ. ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦИИ.

Напряженностью электрического поля называют физическую величину, равную отношению силы, с которой поле действует на положительный пробный заряд, помещенный в данную точку пространства, к величине

$$\text{этого заряда: } \vec{E} = \vec{F} / q.$$

Напряженность электрического поля, создаваемого системой зарядов в данной точке пространства, равна векторной сумме напряженностей электрических полей, создаваемых в той же точке каждым зарядом в отдельности:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

Напряженность электростатического поля, создаваемого точечным зарядом Q на расстоянии r от него, равна по модулю:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r^2} \quad \text{или} \quad E = k \frac{Q}{r^2}.$$

РАБОТА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ. ПОТЕНЦИАЛ

Физическую величину, равную отношению потенциальной энергии электрического заряда в электростатическом поле к величине этого заряда, на-

$$\text{зывают потенциалом } \varphi \text{ электрического поля: } \varphi = \frac{W_p}{q}.$$

Потенциал φ_{∞} поля точечного заряда Q на расстоянии r от него относительно бесконечно удаленной точки вычисляется следующим образом:

$$\varphi_{\infty} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \frac{Q}{r}.$$

$$\text{Связь между напряженностью и напряжением } E = \frac{\Delta\varphi}{d} = \frac{U}{d},$$

Работа поля по перемещению заряда $A = qEd = qU$

Принцип суперпозиции для потенциалов (при этом знак потенциала поля зависит от знака заряда, создавшего поле): $\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$

ЭНЕРГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДОВ

$$W = k \frac{q_1 q_2}{r}.$$

ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ. КОНДЕНСАТОРЫ

Емкостью уединенного проводника называют отношение его заряда к по-

$$\text{тенциалу. } C = \frac{q}{\varphi}.$$

$$\text{Емкость конденсатора. } C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}.$$

Заряд конденсатора. $q = CU$.

Напряженность поля внутри конденсатора. $E = \frac{U}{d} = \frac{\sigma}{\epsilon\epsilon_0}$.

Сила притяжения пластин конденсатора. $F = \frac{qE}{2}$.

СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Параллельное соединение конденсаторов

$$U_1 = U_2 = U, \\ q_1 = C_1 U \text{ и } q_2 = C_2 U.$$

$$C = \frac{q_1 + q_2}{U} \text{ или } C = C_1 + C_2.$$

Если имеется система из n одинаковых конденсаторов емкостью C_0 соединенных параллельно, то общая емкость системы конденсаторов $C = nC_0$.
При последовательном соединении $q_1 = q_2 = q$,

$$U_1 = \frac{q}{C_1} \text{ и } U_2 = \frac{q}{C_2}.$$

$$C = \frac{q}{U_1 + U_2} \text{ или } \frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}.$$

Если имеется система из n одинаковых конденсаторов емкостью C_0 соединенных последовательно, то общая емкость системы конденсаторов $C = C_0/n$.

ЭНЕРГИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

$$W_C = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2} = \frac{qU}{2}.$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК. СИЛА ТОКА. СОПРОТИВЛЕНИЕ.

Сила тока $I = \frac{q}{t}$.

$$\text{Средняя сила тока } I_{\text{ср}} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{I_1 \cdot t_1 + I_2 \cdot t_2 + I_3 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3}.$$

Если же ток равномерно меняется с течением времени от значения I_1 до значения I_2 , то можно значение среднего тока можно найти как средне-

$$\text{арифметическое крайних значений } I_{\text{ср}} = \frac{I_1 + I_2}{2}.$$

При этом заряд прошедший по проводнику находится как

$$q = I_{\text{ср}} t = \frac{I_1 + I_2}{2} t.$$

Силу постоянного тока так же можно считать и другим способом:

$I = q_0 n S v$, где q_0 – величина заряда носителя тока (обычно это заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл), n – концентрация зарядов, N – количество зарядов в объеме $V = IS$, v – средняя скорость движения заряженных частиц, S – площадь поперечного сечения проводника.

Плотность тока – сила тока, приходящаяся на единицу поперечного сечения

$$\text{проводника: } j = \frac{I}{S}.$$

Сопротивление проводника $R = \rho \frac{l}{S}$, где l – длина проводника, S –

площадь его поперечного сечения, ρ – удельное сопротивление материала проводника.

Сопротивление проводника зависит от его температуры:

$R = R_0(1 + \alpha t)$, где R_0 – сопротивление проводника при 0°C , t – температура, выраженная в градусах Цельсия, α – температурный коэффициент сопротивления.

ЗАКОН ОМА. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ

$$I = \frac{U}{R}.$$

Закономерности последовательного соединения.

$$I_1 = I_2 = I, \\ U_1 = IR_1, \quad U_2 = IR_2, \\ U = U_1 + U_2 = I(R_1 + R_2) = IR, \\ R = R_1 + R_2.$$

Если в цепь последовательно включено n ОДИНАКОВЫХ сопротивлений R , то общее сопротивление R_0 находится по формуле:

$$R_0 = n \cdot R.$$

Закономерности параллельного соединения.

$$U_1 = U_2 = U. \quad I = I_1 + I_2.$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U}{R_2}, \quad I = \frac{U}{R}, \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \text{ или } R = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Если в цепь параллельно включено n ОДИНАКОВЫХ сопротивлений R , то

$$\text{общее сопротивление } R_0 \text{ находится по формуле: } R_0 = \frac{R}{n}.$$

При решении задач удобно пользоваться следующими соотношениями:

$$\text{для последовательного соединения } I_1 = I_2 \Rightarrow \frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2};$$

$$\text{для параллельного соединения } U_1 = U_2 \Rightarrow I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Вольтметр $U = U_B \left(1 + \frac{R_{\text{Д}}}{R_B}\right)$. Величина $1 + \frac{R_{\text{Д}}}{R_B}$ называется увеличением цены деления вольтметра.

Амперметр $I = I_A \left(1 + \frac{R_A}{R_{\text{Ш}}}\right)$. Величину $1 + \frac{R_A}{R_{\text{Ш}}}$ называют увеличением цены деления амперметра.

ЭДС. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$. Сопротивление r – внутреннее (собственное) сопротивление

источника тока (зависит от внутреннего строения источника). Сопротивление R – сопротивление нагрузки (внешнее сопротивление цепи). Если переписать формулу в несколько ином виде, то

$$\mathcal{E} = IR + Ir = U_R + U_r,$$

где U_R – падение напряжения во внешней цепи (напряжение на источнике), U_r – падение напряжения в источнике. ЭДС И ВНУТРЕННЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ИСТОЧНИКА НЕ МЕНЯЮТСЯ, ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ РАЗНЫХ НАГРУЗОК. ЭТО НАДО УЧИТЫВАТЬ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ.

Ток короткого замыкания $I_{\text{кз}} = \frac{\mathcal{E}}{r}$.

НЕСКОЛЬКО ИСТОЧНИКОВ ЭДС В ЦЕПИ

Если в цепи присутствует несколько ЭДС подключенных последовательно:

- $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2, \quad r = r_1 + r_2$ (при правильном подключении источников).
- $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2, \quad r = r_1 + r_2$ (при неправильном подключении источников).

При параллельном подключении имеет смысл соединять источники только с одинаковой ЭДС, иначе источники будут разряжаться друг на друга. Таким образом суммарное ЭДС будет таким же, как и ЭДС каждого источника, то есть при параллельном соединении мы не получим батарею с большим ЭДС. При этом уменьшается внутреннее сопротивление батареи источников

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2}.$$

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ТОКА. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

$$A = IU \Delta t = \frac{U^2}{R} \Delta t = I^2 R \Delta t$$

Работа A электрического тока I , протекающего по неподвижному проводнику с сопротивлением R , преобразуется в тепло Q , выделяющееся на проводнике. $Q = A = I^2 R \Delta t$.

$$\text{Мощность электрического тока } P = \frac{A}{\Delta t} = IU = \frac{U^2}{R} = I^2 R.$$

Работа электрического тока так же может выражаться через мощность, то есть $A = Pt$.

При последовательном соединении резисторов общая мощность рассчитывается по формуле: $P = P_1 + P_2$.

При параллельном соединении резисторов общая мощность рассчитывается

$$\text{по формуле: } \frac{1}{P} = \frac{1}{P_1} + \frac{1}{P_2}.$$

$$\text{Полная мощность источника } P_{\text{ист}} = \mathcal{E}I = \frac{\mathcal{E}^2}{R + r}.$$

Во внешней цепи выделяется мощность

$$P = I^2 R = I \varepsilon - r I^2 = \varepsilon^2 \frac{R}{(R+r)^2}.$$

$$\text{Отношение } \eta = \frac{P}{P_{\text{ист}}}, \text{ равное } \eta = \frac{P}{P_{\text{ист}}} = 1 - \frac{r}{\varepsilon} I = \frac{R}{R+r}, \text{ назы-}$$

вается коэффициентом полезного действия источника.

$$\text{Максимальная мощность во внешней цепи } P_{\text{max}} = \frac{\varepsilon^2}{4r},$$

ЭЛЕКТРОЛИЗ

Масса m вещества, выделившегося на электроде, прямо пропорциональна заряду Q , прошедшему через электролит: $m = kQ = kIt$.

Величину k называют электрохимическим эквивалентом.

$$k = \frac{m_0}{q_0} = \frac{m_0 N_A}{ne N_A} = \frac{1}{F} \frac{M}{n}. \quad m = \frac{1}{F} \frac{M}{n} It.$$

$$\eta = \frac{m_{\text{практическая}}}{m_{\text{теоретическая}}} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{практическая}}}{kI \Delta t} \cdot 100 \% = \frac{m_{\text{практическая}}}{kq} \cdot 100 \%$$

МАГНИТНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ТОКОВ. СИЛА АМПЕРА

Если в магнитное поле с индукцией B поместить проводник длиной Δl с током I , то на него будет действовать сила $F = IB \Delta l \sin \alpha$.

Для определения направления силы Ампера обычно используют **правило ЛЕВОЙ РУКИ**: если расположить левую руку так, чтобы линии индукции входили в ладонь, а вытянутые пальцы были направлены вдоль тока, то отведенный большой палец укажет направление силы, действующей на проводник (см. рисунок).

Опыты показали, что модуль силы, действующей на отрезок длиной Δl каждого из проводников, прямо пропорционален силам тока I_1 и I_2 в проводниках, длине отрезка Δl и обратно пропорционален расстоянию R между

ними: $F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$ $k = \mu_0 / 2\pi$, где μ_0 – постоянная величина, которую

называют магнитной постоянной. $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Н/А}^2 \approx 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Н/А}^2$.

$$F = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

СИЛА ЛОРЕНЦА

$F_L = qvB \sin \alpha$. Угол α в этом выражении равен углу между скоростью и вектором магнитной индукции. Направление силы Лоренца, действующей на ПОЛОЖИТЕЛЬНО заряженную частицу, так же, как и направление силы Ампера, может быть найдено по правилу левой руки или по правилу буравчика (как и сила Ампера).

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ И МАГНИТНОМ ПОЛЯХ

Радиус окружности равен $R = \frac{mv}{qB}$.

Период обращения равен $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$.

Угловая скорость равна $\omega = \frac{v}{R} = v \frac{qB}{mv} = \frac{qB}{m}$

Пусть скорость частицы направлена под углом α к направлению вектора индукции магнитного поля (см. следующий рисунок). Тогда перпендикулярная составляющая скорости будет равна $v_{\perp} = v \sin \alpha$.

Радиус окружности $R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$.

Период обращения будет вычисляться по формуле $T = \frac{2\pi m}{qB}$.

Обратите внимание, что период обращения частицы не изменился! Шаг спирали p зависит от продольной составляющей скорости и периода

$$p = T v_{\parallel} = T v \cos \alpha = \frac{2\pi m}{qB} v \cos \alpha.$$

МАГНИТНЫЙ ПОТОК. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ.

Магнитным потоком Φ через площадь S контура называют величину $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$, где B – модуль вектора магнитной индукции, α – угол

между вектором \vec{B} и нормалью (перпендикуляром) \vec{n} к плоскости контура.

$$\varepsilon_{\text{инд}} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}.$$

1. Меняется магнитное поле. Тогда $\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = S \left| \frac{\Delta B}{\Delta t} \right|$.

2. Меняется площадь контура. Тогда $\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = B \left| \frac{\Delta S}{\Delta t} \right|$.

3. Меняется ориентация рамки относительно поля. Тогда

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right| = \frac{|\Phi_2 - \Phi_1|}{\Delta t}, \text{ где } \Phi_1 \text{ и } \Phi_2 \text{ магнитные потоки в начальном}$$

и конечном положении рамки.

При равномерном вращении рамки угол между нормалью к плоскости контура и вектором магнитной индукции меняется по закону $\alpha = \omega t$, где ω – угловая скорость вращения контура. Зависимость магнитного потока от времени принимает вид $\varepsilon = -\dot{\Phi}(t) = BS\omega \sin \omega t$. $\varepsilon_{\text{max}} = \omega \Phi_{\text{max}} = \omega BS$.

ДВИЖЕНИЕ ПРОВОДНИКА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ.

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \frac{A}{e} = vBl \sin \alpha.$$

ИНДУКТИВНОСТЬ. САМОИНДУКЦИЯ. ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Собственный магнитный поток Φ , пронизывающий контур или катушку с током, пропорционален силе тока I : $\Phi = LI$.

Коэффициент пропорциональности L в этой формуле называется коэффициентом самоиндукции или индуктивностью катушки.

ЭДС самоиндукции, возникающая в катушке с постоянным значением индуктивности, согласно формуле Фарадея равна

$$\varepsilon_{\text{инд}} = \varepsilon_L = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}.$$

Энергия W_M магнитного поля катушки с индуктивностью L , создаваемого

$$\text{током } I, \text{ равна } W_M = \frac{\Phi I}{2} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}.$$

ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Простейшим видом колебательного процесса являются простые гармонические колебания, которые описываются уравнением

$$x = A \cos(\omega t + \varphi_0) \text{ или } x = A \sin(\omega t + \varphi_0).$$

Здесь x – смещение тела от положения равновесия в момент времени t , A – амплитуда колебаний, то есть максимальное смещение от положения равновесия, ω – циклическая или круговая частота колебаний ($\omega = 2\pi/T$), t – время.

Минимальный интервал времени, через который происходит повторение движения тела, называется периодом колебаний T . Если же количество

колебаний N , а их время t , то период находится так: $T = \frac{t}{N}$.

Физическая величина, обратная периоду колебаний, называется частотой

$$\text{колебаний: } \nu = \frac{N}{t} = \frac{1}{T}.$$

Частота колебаний ν показывает, сколько колебаний совершается за 1 с. Единица частоты – герц (Гц). Частота колебаний ν связана с циклической

частотой ω и периодом колебаний T соотношениями: $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$.

$$v = x'(t) = -A\omega \sin(\omega t + \varphi_0).$$

$$v_{\text{max}} = \omega A$$

$$a = v'(t) = x''(t) = -A\omega^2 \cos(\omega t + \varphi_0).$$

$$a_{\text{max}} = A\omega^2.$$

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МАЯТНИК

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l} \Rightarrow \omega_0 = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}.$$

ПРУЖИННЫЙ МАЯТНИК

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}. \quad T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

ПРЕВРАЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ ПРИ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЯХ

Для груза на пружине в любой момент времени:

$$E = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + \frac{kx^2}{2}.$$

Максимальные значения энергий:

$$E_{k \text{ max}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}, \quad E_{p \text{ max}} = \frac{kA^2}{2}.$$

Для малых колебаний математического маятника:

$$E = E_k + E_p = \frac{mv^2}{2} + mgh = \frac{mv^2}{2} + \frac{mgx^2}{2l}.$$

Максимальные значения энергий:

$$E_{k \max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}, \quad E_{p \max} = mgh_{\max} = \frac{mgA^2}{2l}.$$

Здесь h_m – максимальная высота подъема маятника в поле тяготения Земли, A и v_{\max} – максимальные значения отклонения маятника от положения равновесия (амплитуда) и его скорости.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ

Длиной волны λ называют наименьшее расстояние между двумя точками на оси Ox , колеблющимися в одинаковых фазах. Расстояние, равное длине волны λ , волна пробегает за период T , следовательно, $\lambda = vT$, где v – скорость распространения волны.

При переходе волны из одной среды в другую длина волны и скорость ее распространения меняются. Неизменными остаются только частота и период волны. Поэтому при решении задач надо использовать следующее соотношение:

$$T_1 = T_2 \Rightarrow \frac{\lambda_1}{v_1} = \frac{\lambda_2}{v_2}.$$

Так же надо понимать, что по определению волна проходит расстояние равное λ за время равное T , следовательно, расстояние равное $\lambda/2$ волна пройдет за время равное $T/2$ и т.д.

Кроме этого, можно использовать еще и то, что λ – расстояние между точками волн, разность фаз которых 2π . Следовательно, можно использовать пропорцию:

$$\lambda - 2\pi \\ \Delta l - \Delta \varphi.$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ КОНТУР

Если потерь в контуре нет (то есть сопротивление $R = 0$), то энергия сохраняется и в любой момент времени она равна:

$$W = \frac{CU^2}{2} + \frac{LI^2}{2} = \frac{CU_{\max}^2}{2} = \frac{LI_{\max}^2}{2},$$

Так как процесс повторяется, то он должен характеризоваться периодом. Период данных колебаний находится по формуле Томпсона:

$$T = 2\pi\sqrt{LC} \Rightarrow \omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. ТРАНСФОРМАТОР

$$\Phi = BS \cos \alpha, \quad \alpha = 2\pi nt = \omega t,$$

где ω – угловая скорость вращения рамки.

$$\varepsilon(t) = -\dot{\Phi}(t) = BS\omega \sin \omega t, \quad \varepsilon = \varepsilon_0 \sin \omega t,$$

где $\varepsilon_0 = BS\omega$ – амплитудное (максимальное) значение ЭДС.

Для переменного тока действующее значение силы тока

$$I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}.$$

Аналогично можно ввести действующее (эффективное) значение и для

$$\text{напряжения } U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}.$$

Таким образом, выражения для мощности постоянного тока остаются справедливыми и для переменного тока, если использовать в них действующие значения силы тока и напряжения:

$$P = U_d I_d = I_d^2 R = \frac{U_d^2}{R}.$$

$$\text{Трансформатор. } \frac{U_1}{U_2} = \frac{n_1}{n_2}.$$

Коэффициент $K = n_1 / n_2$ есть коэффициент трансформации. При $K > 1$ трансформатор называется понижающим, при $K < 1$ – повышающим (не перепутайте!).

Если пренебречь потерями энергии, то мощность P_1 , потребляемая идеальным трансформатором от источника переменного тока, равна мощности P_2 , передаваемой нагрузке. $I_1 U_1 = I_2 U_2$.

$$\text{Отсюда следует, что } K = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1}.$$

то есть токи в обмотках обратно пропорциональны числу витков.

$$\text{Если же трансформатор не идеальный, то его КПД равен } \eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1}.$$

ПОКАЗАТЕЛЬ ПРЕЛОМЛЕНИЯ. ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ. ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

ЗАКОН ПРЕЛОМЛЕНИЯ СВЕТА: падающий и преломленный лучи, а также перпендикуляр к границе раздела двух сред, восстановленный в точке падения луча, лежат в одной плоскости. Отношение синуса угла падения α к синусу угла преломления β есть величина, постоянная для двух данных

$$\text{сред: } \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n.$$

Закон преломления был экспериментально установлен голландским ученым

В. Снеллиусом (1621 г.). Постоянную величину $n = \frac{n_2}{n_1}$ называют относи-

тельным показателем преломления второй среды относительно первой, где n_1 – абсолютный показатель преломления первой среды, n_2 – абсолютный показатель преломления второй среды. Показатель преломления среды относительно вакуума называют абсолютным показателем преломления.

При переходе света из оптически более плотной среды в оптически менее плотную $n_2 < n_1$ (например, из стекла в воздух) можно наблюдать явление полного внутреннего отражения, то есть исчезновение преломленного луча.

Это явление наблюдается при углах падения, превышающих некоторый критический угол $\alpha_{\text{кр}}$, который называется предельным углом полного

внутреннего отражения (см. рисунок на следующей странице). Для угла падения $\alpha = \alpha_{\text{кр}}$ $\sin \alpha_{\text{кр}} = 1/n$.

ФОРМУЛА ТОНКОЙ ЛИНЗЫ. ОПТИЧЕСКАЯ СИЛА.

Положение изображения можно также рассчитать с помощью формулы тонкой линзы. Если расстояние от предмета до линзы обозначить через d , а

расстояние от линзы до изображения через f , то формулу тонкой линзы

$$\text{можно записать в виде: } \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = \frac{1}{F} = D$$

$$\text{Увеличение тонкой линзы: } \Gamma = \frac{h'}{h} = \frac{f}{d}.$$

СВЕТ КАК ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА. СКОРОСТЬ СВЕТА

Скорость c распространения электромагнитных волн в вакууме является одной из фундаментальных физических постоянных. Если электромагнитная волна распространяется в какой-либо среде, то скорость ее распространения уменьшается в n раз $v = c/n$, где n – показатель преломления среды – физическая величина, показывающая во сколько раз скорость света в данной среде меньше чем в вакууме. При переходе электромагнитной волны из вакуума в некоторую среду меняется длина волны $\lambda_{\text{среды}} = \lambda_{\text{вакуум}} / n$.

Напомним, что длина волны это расстояние, которое проходит волна за время равное периоду колебаний точек волны $\lambda = vT = \frac{v}{\nu}$, где ν – скорость

распространения волны, T – период колебаний точек волны, ν – частота точек волны.

Частота волны (как и период) остаются неизменными при переходе волны из среды 1 в среду 2. Поэтому при решении задач удобно пользоваться

$$\text{соотношением } \nu_1 = \nu_2 \Rightarrow \frac{v_1}{\lambda_1} = \frac{v_2}{\lambda_2}.$$

Оптическая длина пути. Она равна произведению геометрической длины пути на показатель преломления среды $d = d_{\text{opt}}$.

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ

Интерференционный максимум (светлая полоса) достигается в тех точках пространства, в которых $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$ ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$).

Интерференционный минимум (темная полоса) достигается при $\Delta = (2m + 1) \frac{\lambda}{2}$.

ДИФРАКЦИЯ. ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА

Условие наблюдения максимума $\Delta = d \sin \theta_m = m\lambda$.
Здесь d – период решетки (ширина щели плюс ширина промежутка между щелями см. рис., или 1 метр деленный на количество штрихов), m – целое число, которое называется порядком дифракционного максимума ($m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$). В тех точках экрана, для которых это условие выполнено, располагаются так называемые главные максимумы дифракционной картины.

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

1. Релятивистское сокращение длины. $L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$,
2. Релятивистское удлинение времени события. $\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.
3. Релятивистский закон сложения скоростей.
Закон сложения скоростей в механике Ньютона противоречит постулатам СТО и заменяется новым релятивистским законом сложения скоростей:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}, \text{ где } v_1 \text{ – скорость тела относительно подвижной первой}$$

инерциальной системы отсчета, v_2 – скорость первой инерциальной системы отсчета относительно второй инерциальной системы отсчета, v – скорость тела относительно второй инерциальной системы отсчета. Если два тела движутся навстречу друг другу, то их скорость сближения:

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}, \text{ где } v_1 \text{ и } v_2 - \text{ скорости движения тел относительно неподвижной системы отсчета.}$$

Если же тела движутся в одном направлении, то их относительная скорость:

$$v = \frac{v_1 - v_2}{1 - \frac{v_1 v_2}{c^2}}.$$

4. Релятивистское увеличение массы. $m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$.

СВЯЗЬ ЭНЕРГИИ И МАССЫ ТЕЛА

$$E_0 = m_0 c^2.$$

Любое изменение энергии тела означает изменение массы тела и наоборот. $\Delta E = \Delta m c^2$, где ΔE – изменение энергии тела, Δm – соответствующее изменение массы. Полная энергия тела:

$$E = m c^2, \text{ где } m - \text{ масса тела.}$$

Полная энергия тела E пропорциональна релятивистской массе и зависит от скорости движущегося тела.

$$E = E_0 + \Delta E; m = m_0 + \Delta m; m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

ФОТОН И ЕГО СВОЙСТВА

Энергия фотона равна $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = mc^2 = pc$

где p – импульс фотона, m – его масса, ν – частота фотона, λ – длина волны фотона, c – скорость света, h – постоянная Планка ($h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Джс). Фотон движется в вакууме со скоростью света, равной 300 000 км/с. Масса фотона равна $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$.

Фотон обладает импульсом $p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c}$.

ФОТОЭФФЕКТ И ЕГО ЗАКОНЫ

Работа выхода $A = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\text{кр}}}$.

Уравнения Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A + \left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} = \left(\frac{mv^2}{2}\right)_{\max} + eU_3,$$

ПОСТУЛАТЫ БОРА.

ВТОРОЙ ПОСТУЛАТ БОРА (правило частот): при переходе атома из одного стационарного состояния с энергией E_n в другое стационарное состояние с энергией E_m излучается или поглощается квант, энергия которого равна разности энергий стационарных состояний: $h\nu_{nm} = E_n - E_m$, где h – постоянная Планка. Отсюда можно выразить частоту излучения: $\nu_{nm} = \frac{E_n - E_m}{h}$.

Не лишним будет помнить, что на первом уровне энергия электрона равна – 13,6 эВ.

Серия Лаймана $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{1^2}$.

Серия Бальмера $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{2^2}$.

Серия Пашена $h\nu = \frac{E_1}{n^2} - \frac{E_1}{3^2}$.

АТОМНОЕ ЯДРО. ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Общее число нуклонов (то есть протонов и нейтронов) называют массовым числом A : $A = Z + N$.

Ядра химических элементов обозначают символом ${}_Z^A X$, где X – химический символ элемента. Как определять число протонов и нейтронов. На примере урана ${}_{92}^{238} U$ – число протонов $N_p = Z = 92$, число нейтронов $N_n = A - Z = 238 - 92 = 146$.

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ. ДЕФЕКТ МАСС

Разность масс $\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_x$ называется дефектом массы. По дефекту массы можно определить с помощью формулы Эйнштейна $E = mc^2$ энергию, выделяющуюся при образовании данного ядра, то есть энергию связи ядра $E_{\text{св}}$: $E_{\text{св}} = \Delta M c^2 = (Zm_p + Nm_n - M_x) c^2$.

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ.

При ядерных реакциях выполняется несколько законов сохранения: импульса, энергии, момента импульса, заряда. В дополнение к этим классическим законам сохранения при ядерных реакциях выполняется закон сохранения так называемого барионного заряда (то есть числа нуклонов – протонов и нейтронов). Например, имеем реакцию вида ${}_a^A X + {}_b^B Y \rightarrow {}_c^C Z + {}_d^D W$.

Сразу можем записать, что $a + b = c + d$ и $A + B = C + D$.

Это значит, что общее число нуклонов до и после реакции остается неизменным.

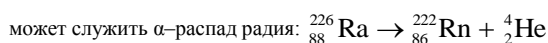
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫХОД ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

Ядерные реакции сопровождаются энергетическими превращениями. Энергетическим выходом ядерной реакции называется величина $Q = (M_A + M_B - M_C - M_D) c^2 = \Delta M c^2$.

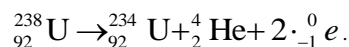
где M_A и M_B – массы исходных продуктов, M_C и M_D – массы конечных продуктов реакции. Величина ΔM называется дефектом масс. Ядерные реакции могут протекать с выделением ($Q > 0$) или с поглощением энергии ($Q < 0$). Во втором случае первоначальная кинетическая энергия исходных продуктов должна превышать величину $|Q|$, которая называется порогом реакции. Для того чтобы ядерная реакция имела положительный энергетический выход, удельная энергия связи нуклонов в ядрах исходных продуктов должна быть меньше удельной энергии связи нуклонов в ядрах конечных продуктов. Это означает, что величина ΔM должна быть положительной.

РАДИОАКТИВНОСТЬ. ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА.

Альфа-распадом называется самопроизвольное превращение атомного ядра с числом протонов Z и нейтронов N в другое (дочернее) ядро, содержащее число протонов $Z - 2$ и нейтронов $N - 2$, нуклонов- $A - 4$. При этом испускается α -частица – ядро атома гелия ${}_2^4 He$. Примером такого процесса



При бета-распаде из ядра вылетает электрон (${}_{-1}^0 e$). Например



В отличие от α - и β -радиоактивности γ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при α -, так и при β -распаде дочернее ядро может оказаться в некотором возбужденном состоянии и иметь избыток энергии. Переход ядра из возбужденного состояния в основное сопровождается испусканием одного или нескольких γ -квантов, энергия которых может достигать нескольких МэВ.

Закон радиоактивного распада

$$N(t) = N_0 \cdot 2^{-t/T}.$$

АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

КПД $\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{затр}}} 100 \%$.

Затраченная работа (энергия) будет равна $A_{\text{затр}} = N\Delta E$, где N – количество распавшихся радиоактивных ядер, ΔE – энергия, выделявшаяся при каждом распаде. Количество распавшихся ядер можно найти из соотношения (вспоминайте молекулярную физику) $\frac{m}{M} = \frac{N}{N_A}$,

где m – масса всех распавшихся ядер, M – молярная масса радиоактивного вещества, N_A – число Авогадро. Полезную работу станции можно найти из соотношения $A_n = P_n t$, где P_n – полезная мощность станции, t – время работы станции.