

## 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

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

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

### РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ

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

$$v = v_0 + at$$

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:

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

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

Средняя скорость при равноускоренном движении

$$v_{\text{ср}} = \frac{v + v_0}{2}$$

### 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)

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

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

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

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

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

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

### 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  $\omega$ :  $v = \omega R$

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

### 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 отсутствие 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  $N = m(g - a_{\perp})$ .

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

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

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  $\alpha$  — 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  $\alpha$  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  $p_{\text{бок}} = \frac{\rho gh}{2}$ .

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

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

$$p = p_{\text{атм}} + \rho gh.$$

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

### ЗАКОН АРХИМЕДА.

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

Вес тела погруженного в жидкость уменьшается:  $P_{\text{ж}} = mg - F_A$ .

Если тело находится на поверхности жидкости (плавает), то

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

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  $\alpha$  – 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  $N = Fv \cos \alpha$

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

Мгновенную мощность  $N_{\text{мгн}} = Fv_{\text{мгн}} \cos \alpha$

(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  $E_p = mgh$ .

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  $\rho$  – 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  $R = 8,31$  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  $T_n = 273,15$  К (0 °С), а давление  $p_n = 1$  атм =  $1,013 \cdot 10^5$  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*.

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

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  $\lambda$  – 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 ИЗОХОРОМНОМ 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  $\rho$  называют количество водяного пара, содержащегося в  $1 \text{ м}^3$  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  $1 \text{ г/м}^3$ .

Относительной влажностью  $\varphi$  называется отношение абсолютной влажности  $\rho$  к тому количеству водяного пара  $\rho_0$ , которое необходимо для насыщения  $1 \text{ м}^3$  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  $\sigma$  - модуль силы поверхностного натяжения, действующей на единицу длины линии, ограничивающей по-

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

Высота поднятия (опускания) жидкости плотностью  $\rho$  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  $0^\circ \text{C}$ ,  $V$  - при температуре  $t$ ,  $\gamma$  - 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  $0^\circ \text{C}$ ,  $\alpha$  - 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  $\varepsilon$  - 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  $\varphi_{\infty}$  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,  $\rho$  – удельное сопротивление материала проводника.

Сопротивление проводника зависит от его температуры:

$R = R_0(1 + \alpha t)$ , где  $R_0$  – сопротивление проводника при  $0^\circ\text{C}$ ,  $t$  – температура, выраженная в градусах Цельсия,  $\alpha$  – 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

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

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.

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

### 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 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

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

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

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  $\Delta l$  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  $\Delta l$  каждого из проводников, прямо пропорционален силам тока  $I_1$  и  $I_2$  в проводниках, длине отрезка  $\Delta l$  и обратно пропорционален расстоянию  $R$  между

ними:  $F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$   $k = \mu_0 / 2\pi$ , где  $\mu_0$  – 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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $\Phi$  через площадь  $S$  контура называют величину  $\Phi = B \cdot S \cdot \cos \alpha$ , где  $B$  – модуль вектора магнитной индукции,  $\alpha$  – 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  $\omega$  – 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  $\Phi$ , 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,  $\omega$  – 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  $\nu$  показывает, сколько колебаний совершается за 1 с. Единица частоты – герц (Гц). Частота колебаний  $\nu$  связана с циклической

частотой  $\omega$  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  $\lambda$  называют наименьшее расстояние между двумя точками на оси  $Ox$ , колеблющимися в одинаковых фазах. Расстояние, равное длине волны  $\lambda$ , 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  $\lambda$  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  $\lambda$  – расстояние между точками волн, разность фаз которых  $2\pi$ . Следовательно, можно использовать пропорцию:

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

### 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  $\omega$  – 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  $\alpha$  к синусу угла преломления  $\beta$  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  $d$  от 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  $\nu$  – скорость

распространения волны,  $T$  – период колебаний точек волны,  $\nu$  – 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

$$\text{пространства, в которых } \Delta = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots).$$

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

$$1. \text{ Релятивистское сокращение длины. } L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}},$$

$$2. \text{ Релятивистское удлинение времени события. } \tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

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  $\Delta E$  – изменение энергии тела,  $\Delta m$  – 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,  $\nu$  – частота фотона,  $\lambda$  – 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.

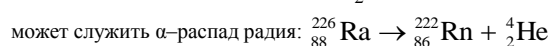
### ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ВЫХОД ЯДЕРНОЙ РЕАКЦИИ

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

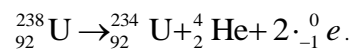
где  $M_A$  и  $M_B$  – массы исходных продуктов,  $M_C$  и  $M_D$  – массы конечных продуктов реакции. Величина  $\Delta M$  называется дефектом масс. Ядерные реакции могут протекать с выделением ( $Q > 0$ ) или с поглощением энергии ( $Q < 0$ ). Во втором случае первоначальная кинетическая энергия 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  $\Delta M$  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  $\alpha$ -частица – ядро атома гелия  ${}_2^4 He$ . Примером такого процесса



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



В отличие от  $\alpha$ - и  $\beta$ -радиоактивности  $\gamma$ -радиоактивность ядер не связана с изменением внутренней структуры ядра и не сопровождается изменением зарядового или массового чисел. Как при  $\alpha$ -, так и при  $\beta$ -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  $\gamma$ -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,  $\Delta E$  – 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.