



## Некоторые десятичные приставки к названиям единиц

Наименование	тера	гига	мега	кило	деци	санти
Приставка	Т	Г	М	к	д	с
Множитель	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-1}$	$10^{-2}$

Наименование	милли	микро	нано	пико	фемто	атто
Приставка	м	мк	н	п	ф	а
Множитель	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$

# 1. КИНЕМАТИКА

## Кинематика

- Мгновенная скорость

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt},$$

векторная величина, равная пределу отношения перемещения тела  $\Delta \vec{r}$  к промежутку времени  $\Delta t$ , за который это перемещение произошло.

- Средняя скорость

$$v_{\text{ср}} = \frac{S}{t} = \frac{S_1 + S_2 + \dots + S_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

скалярная величина, равная отношению пути  $S$  к промежутку времени  $t$ , затраченному на его прохождение.

- Величина (модуль) скорости

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

где  $v_x$  и  $v_y$  – проекции скорости  $\vec{v}$  на оси  $ox$  и  $oy$ .

- Ускорение тела

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt},$$

векторная величина, равная пределу отношения изменения скорости тела  $\Delta \vec{v}$  к промежутку времени  $\Delta t$ , за который это изменение скорости произошло.

- Кинематические уравнения:

$$x = x_0 + v_{ox}t + \frac{a_x t^2}{2}, \quad y = y_0 + v_{oy}t + \frac{a_y t^2}{2},$$

где  $x, y$  – текущие координаты,  $x_0, y_0$  – начальные координаты,  $v_{ox}, v_{oy}$  – проекции начальной скорости  $\vec{v}_0$  на оси  $ox$  и  $oy$ ,  $v_x, v_y$  – проекции скорости  $\vec{v}$  на оси  $ox$  и  $oy$ ,  $a_x, a_y$  – проекции ускорения  $\vec{a}$  на оси  $ox$  и  $oy$ ,  $t$  – время.

- Прямолинейное равномерное движение тела ( $\vec{v} = \text{const}, \vec{a} = 0$ )

$$x = x_0 + v_x t, \quad y = y_0 + v_y t,$$

где  $v_x$  и  $v_y$  – проекции скорости  $\vec{v}$  на оси  $ox$  и  $oy$ ,  $t$  – время движения тела.

### Прямолинейное равноускоренное и равнозамедленное движение ( $\vec{a} = \text{const}$ ).

- Скорость тела в момент времени  $t$ :

$$v = v_0 \pm at,$$

где  $v_0$  – начальная скорость тела,  $a$  – ускорение тела,  $t$  – время движения тела.

- Пройденный телом путь:

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

где  $v_0$  – начальная скорость тела,  $v$  – скорость тела в момент времени  $t$ ,  $v_{\text{cp}} = (v_0 + v)/2$  – средняя скорость равноускоренного движения тела за время  $t$ ; знак "+" относится к равноускоренному движению а знак "-" к равнозамедленному движению.

### Движение тел в поле силы тяжести

- Свободное падение тела ( $v_0 = 0$ ):

$$v = gt, \quad h = \frac{gt^2}{2}, \quad h = \frac{v^2}{2g},$$

где  $g$  – ускорение свободного падения тела ( $g = 9,8 \text{ м/с}^2$ ),  $v$  – скорость тела,  $h$  – изменение высоты,  $t$  – время падения тела.

- Тело, брошенное вертикально вверх с начальной скоростью  $v_0$ :

$$v = v_0 - gt, \quad h = v_0 t - \frac{gt^2}{2}, \quad h_{\text{max}} = \frac{v_0^2}{2g} = \frac{gt_1^2}{2},$$

где  $v$  и  $h$  – скорость и высота подъема тела в момент времени  $t$ ,  $t_1 = v_0/g$  – время подъема тела на максимальную высоту  $h_{\text{max}}$ .

- Тело, брошенное горизонтально с начальной скоростью  $v_0$ :

$$v_x = v_0, \quad v_y = gt, \quad v = \sqrt{v_0^2 + (gt)^2}, \quad S = v_0 t, \quad h = \frac{gt^2}{2},$$

где  $v_x$  и  $v_y$  – проекции скорости  $\vec{v}$  на оси  $ox$  и  $oy$  в момент времени  $t$ ,  $v$  – скорость тела,  $S$  – дальность полета тела по горизонтали,  $h$  – изменение высоты,  $t$  – время движения тела.

- Тело, брошенное с поверхности Земли с начальной скоростью  $v_0$  под углом  $\alpha$  к горизонту ( $x_0 = 0$ ,  $y_0 = 0$  – начальные координаты тела):

$$v_x = v_0 \cos \alpha, \quad v_y = v_0 \sin \alpha - gt,$$

$$x = v_0 t \cdot \cos \alpha, \quad y = v_0 t \cdot \sin \alpha - \frac{gt^2}{2},$$

$$h_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \alpha}{2g}, \quad S_{\max} = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}, \quad \tau = \frac{2v_0 \cdot \sin \alpha}{g},$$

где  $v_x$  и  $v_y$  – проекции скорости  $\vec{v}$  на оси  $ox$  и  $oy$  в момент времени  $t$ ,  $x$ ,  $y$  – текущие координаты тела,  $\tau$  – время полета тела,  $h_{\max}$  – максимальная высота подъема тела,  $S_{\max}$  – максимальная дальность полета тела по горизонтали.

- Относительная скорость движения двух тел

$$\vec{v}_{12} = \vec{v}_1 - \vec{v}_2,$$

равна разности скоростей этих тел  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$ , определенных в одной и той же системе отсчета (например, в системе отсчета, связанной с Землей)

- Модуль относительной скорости:

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 - 2v_1v_2 \cdot \cos \alpha},$$

где  $\alpha$  – угол между векторами скоростей  $\vec{v}_1$  и  $\vec{v}_2$  тел.

- Частные случаи определения относительной скорости:

а) при движении тел в одном направлении ( $\alpha = 0^\circ$ )

$$v_{12} = v_1 - v_2;$$

б) при встречном движении тел ( $\alpha = 180^\circ$ )

$$v_{12} = v_1 + v_2;$$

в) при взаимно перпендикулярном движении тел ( $\alpha = 90^\circ$ )

$$v_{12} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2}.$$

### Равномерное движение тела по окружности

- Частота  $n$  и период  $T$  вращения тела:

$$n = \frac{N}{t}, \quad T = \frac{1}{n},$$

где  $N$  – число оборотов, совершенное за время  $t$ .

- Угловая скорость движущегося по окружности тела:

$$\omega = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}, \quad \omega = \frac{2\pi}{T},$$

где  $\Delta\varphi$  – угол поворота радиус-вектора, проведенного из центра окружности к центру тела, за время  $\Delta t$ .

- Линейная скорость движения тела по окружности радиуса  $R$ :

$$v = \frac{2\pi R}{T}, \quad v = 2\pi Rn, \quad v = \omega \cdot R.$$

- Центробежное ускорение:

$$a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R.$$

## 2. ДИНАМИКА И ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ В МЕХАНИКЕ

- Равнодействующая сил  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ , действующих на материальную точку:

$$\vec{F}_{\text{равн}} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n.$$

- II закон Ньютона:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m},$$

где  $\vec{a}$  – ускорение тела,  $\vec{F}$  – сила, действующая на тело массой  $m$ .

- Сила трения скольжения:

$$F_{\text{тр}} = \mu \cdot N,$$

где  $\mu$  – коэффициент трения,  $N$  – модуль силы реакции опоры.

- Закон Гука для продольного растяжения (сжатия) стержня:

$$\frac{F}{S} = E \frac{\Delta \ell}{\ell},$$

где  $F$  – растягивающая (сжимающая) сила,  $E$  – модуль Юнга для данного тела,  $S$  – площадь поперечного сечения стержня,  $\Delta \ell$  – абсолютное удлинение (сжатие) стержня,  $\ell$  – длина стержня до деформации.

- Закон Гука:

$$F_{\text{упр}x} = -k \cdot x,$$

где  $F_{\text{упр}x}$  – проекция силы упругости пружины на ось  $x$ ,  $k$  – жесткость пружины,  $x$  – деформация пружины.

- Закон всемирного тяготения:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2},$$

где  $F$  – сила гравитационного взаимодействия двух материальных точек,  $m_1, m_2$  – массы материальных точек,  $r$  – расстояние между материальными точками,  $G$  – гравитационная постоянная ( $G \approx 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ ).

- Ускорение свободного падения на поверхности планеты:

$$g = G \frac{M}{R^2},$$

и на высоте  $h$  над поверхностью планеты

$$g_h = G \frac{M}{(R+h)^2},$$

где  $M$  – масса планеты,  $R$  – радиус планеты.

- Первая космическая скорость тела для планеты массой  $M$  и радиуса  $R$ :

$$v_1 = \sqrt{\frac{GM}{R}} = \sqrt{gR}.$$

- Вторая космическая скорость тела для планеты массой  $M$  и радиуса  $R$ :

$$v_2 = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{2gR}.$$

- Импульс тела (количество движения):

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

где  $m$  – масса тела,  $\vec{v}$  – скорость движения тела.

- Изменение импульса тела:

$$\Delta\vec{p} = \vec{p}_2 - \vec{p}_1.$$

- Импульс силы:

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

где  $m\Delta\vec{v}$  – изменение импульса тела.

- Закон сохранения импульса:

$$m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{u}_1 + m_2\vec{u}_2 \quad \text{или} \quad \sum m_i\vec{v}_i = \text{const},$$

где  $m_1\vec{v}_1, m_2\vec{v}_2$  – импульсы тел до взаимодействия,  $m_1\vec{u}_1, m_2\vec{u}_2$  – импульсы тел после взаимодействия.

- Механическая работа:

$$A = F \cdot S \cdot \cos\alpha,$$

где  $F$  – постоянная сила,  $S$  – перемещение тела,  $\alpha$  – угол между векторами силы и перемещения.

- Средняя мощность:

$$P = \frac{W}{t}, \quad P = \frac{A}{t}, \quad P = Fv,$$

где  $W$  – энергия, затраченная за время  $t$ ,  $A$  – работа, совершенная за время  $t$ ,  $F$  – постоянная сила,  $v$  – скорость.

- Работа силы тяжести:

$$A = mg \cdot (h_1 - h_2),$$

где  $h_1, h_2$  – начальная и конечная высота тела массой  $m$  относительно начала отсчета.

- Кинетическая энергия тела:

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

где  $v$  – скорость тела массой  $m$ .

- Потенциальная энергия тела массой  $m$ , поднятого над Землей на высоту  $h$ :

$$W_p = mgh.$$

- Полная механическая энергия тела:

$$W = W_k + W_p.$$

- Потенциальная энергия упруго деформированной пружины:

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

- Работа сил упругости:  $A = \frac{kx_1^2}{2} - \frac{kx_2^2}{2},$

где  $k$  – жесткость пружины,  $x_1, x_2$  – начальная и конечная длина пружины.

- Коэффициент полезного действия (КПД) механизма:

$$\eta = \frac{A_n}{A} \cdot 100\%,$$

где  $A_n$  – полезная работа,  $A$  – затраченная работа.

- Теорема об изменении кинетической энергии (работа равнодействующей силы равна изменению кинетической энергии тела):

$$\sum A_i = \Delta W_k = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}.$$

- Закон сохранения механической энергии:

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2, \quad \frac{mv_1^2}{2} + \frac{kx_1^2}{2} = \frac{mv_2^2}{2} + \frac{kx_2^2}{2}.$$

- Момент силы (вращающий момент):

$$M = F \cdot d,$$

где  $d$  – плечо силы  $F$  относительно оси вращения.

- Условия равновесия тел:

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0, \quad \sum_{i=1}^n M_i = 0,$$

где  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$  – силы, действующие на материальную точку,  $\sum_{i=1}^n M_i$  – алгебраическая сумма моментов сил относительно оси вращения тела.

- Условие равновесия тела с закрепленной осью вращения:

$$F_1 \cdot d_1 = F_2 \cdot d_2,$$

где  $M_1 = F_1 \cdot d_1 > 0$  – вращение против часовой стрелки,

$M_2 = F_2 \cdot d_2 < 0$  – вращение по часовой стрелке.

- Координата центра масс системы материальных точек:

$$x_{\text{цм}} = \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots}{m_1 + m_2 + \dots},$$

где  $x_1, x_2, \dots$  – координаты материальных точек массой  $m_1, m_2, \dots$ , составляющих систему.

### 3. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ГИДРОСТАТИКА

#### Молекулярная физика и термодинамика. Гидростатика

- Абсолютная температура (по шкале Кельвина):

$$T = t + 273,15,$$

где  $t$  – температура по шкале Цельсия ( $^{\circ}\text{C}$ ).

- Плотность однородного тела:

$$\rho = m/V,$$

где  $m$  – масса тела,  $V$  – объем тела.

- Количество вещества:

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

где  $m$  – масса вещества,  $M$  – молярная масса,  $N$  – число молекул (атомов),  $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$  – число Авогадро.

- Концентрация молекул (атомов):

$$n = \frac{N}{V},$$

где  $V$  – объем газа.

• Основное уравнение молекулярно-кинетической теории (устанавливает связь между микроскопическими и макроскопическими параметрами газа):

$$p = \frac{1}{3} m_0 n \overline{v^2}, \quad \text{или} \quad p = \frac{2}{3} n \overline{E_k},$$

где  $p$  – давление газа,  $m_0$  – масса молекулы,  $n$  – концентрация молекул,  $\overline{v^2}$  и  $\overline{E_k}$  – средний квадрат скорости и средняя кинетическая энергия молекул.

- Давление газа:

$$p = nkT,$$

где  $k = R/N_A = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ Дж/К}$  – постоянная Больцмана,  $R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,31 \text{ Дж/(К}\cdot\text{моль)}$ .

- Средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул идеального газа:

$$W_k = \frac{m_0 \overline{v^2}}{2} = \frac{3}{2} kT .$$

- Уравнение Клапейрона-Менделеева (уравнение состояния идеального газа):

$$pV = \frac{m}{M} RT = \nu RT .$$

- Закон Бойля-Мариотта (изотермический процесс, при  $m = \text{const}$ ;  $T = \text{const}$ ):

$$pV = \text{const} .$$

- Закон Шарля (изохорный процесс, при  $m = \text{const}$ ;  $V = \text{const}$ ):

$$p/T = \text{const} .$$

- Закон Гей-Люссака (изобарный процесс, при  $m = \text{const}$ ;  $p = \text{const}$ ):

$$V/T = \text{const} .$$

- Закон Дальтона (давление смеси газов):

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_n ,$$

где  $p_1, p_2, \dots, p_n$  – парциальное давление каждого газа в смеси газов.

- Внутренняя энергия газа при температуре  $T$ :

$$U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} RT = \frac{i}{2} pV ,$$

где  $i$  – число степеней свободы,  $i = 3$  для одноатомного газа,  $i = 5$  для двухатомного газа.

- Изменение внутренней энергии газа при изменении его температуры на  $\Delta T$ :

$$\Delta U = \frac{i}{2} \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{i}{2} p_2 V_2 - p_1 V_1 .$$

- Работа газа при изменении объема на  $\Delta V$  или температуры на  $\Delta T$  при  $m$  и  $p = \text{const}$ :

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

- Первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + A, \quad \Delta U = A_{\text{вс}} + Q,$$

где  $Q$  – количество теплоты, сообщенное системе (газу),  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы (газа),  $A$  – работа системы (газа),  $A_{\text{вс}}$  – работа внешних сил над системой (газом).

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

$$A = 0, \quad Q = \Delta U.$$

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

$$\Delta U = 0, \quad Q = A.$$



- Адиабатный процесс ( $Q = 0$ ):

$$A = -\Delta U.$$

- Коэффициент полезного действия (КПД) тепловой машины:

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{Q_1} = \frac{Q_{\text{п}}}{Q_1}, \quad \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1},$$

где  $A_{\text{п}}$  – полезная работа, совершаемая тепловой машиной,  $Q_{\text{п}}$  – полезно использованное количество теплоты,  $Q_1$  – количество теплоты, полученное от нагревателя,  $Q_2$  – количество теплоты, отданное холодильнику.

- КПД идеальной тепловой машины:

$$\eta_{\text{max}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где  $T_1, T_2$  – температуры нагревателя и холодильника.

- Количество теплоты, идущее на нагревание тела или выделяемое при его охлаждении:

$$Q = cm \cdot (T_2 - T_1),$$

где  $c$  – удельная теплоемкость тела,  $m$  – масса тела,  $T_2, T_1$  – конечная и начальная температуры тела.

- Количество теплоты, идущее на плавление тела:

$$Q_{\text{пл}} = \lambda \cdot m,$$

где  $\lambda$  – удельная теплота плавления.

- Количество теплоты, идущее на парообразование:

$$Q_{\text{пар}} = r \cdot m,$$

где  $r$  – удельная теплота парообразования вещества.

- Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива:

$$Q_{\text{сгор}} = q \cdot m,$$

где  $q$  – удельная теплота сгорания топлива,  $m$  – масса сгоревшего топлива.

- Изменение линейных размеров тела при изменении его температуры:

$$l = l_0(1 + \alpha \cdot \Delta T),$$

где  $l, l_0$  – линейные размеры тела при температуре  $T$  и  $T_0 = 273$  К соответственно,  $\alpha$  – температурный коэффициент линейного расширения тела,  $\Delta T = T - T_0$ .

- Абсолютная влажность (плотность водяного пара):

$$\rho = \frac{m}{V},$$

где  $m$  – масса водяного пара в объеме  $V$ .

- Относительная влажность воздуха:

$$\varphi = \frac{p}{p_{\text{н}}} \cdot 100\% = \frac{P}{P_{\text{н}}} \cdot 100\%,$$

где  $\rho, \rho_{\text{н}}$  – абсолютная влажность ненасыщенного и насыщенного водяного пара,  $p, p_{\text{н}}$  – парциальное давление ненасыщенного и насыщенного водяного пара, соответственно.

- Сила Архимеда:

$$F_A = \rho g V_{\text{п}},$$

где  $\rho$  – плотность жидкости (газа),  $g$  – ускорение свободного падения,  $V_{\text{п}}$  – объем тела, погруженного в жидкость (газ).

- Давление: 
$$p = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – сила, действующая со стороны тела на площадь  $S$  в направлении к нормали к ней.

- Гидростатическое давление жидкости:

$$p_{\text{г}} = \rho g h,$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $h$  – высота столба жидкости (глубина).

- Давление жидкости на глубине  $h$  сосуда (водоема):

$$p = p_0 + \rho g h,$$

где  $p_0$  – атмосферное давление ( $p_0 = 1 \cdot 10^5$  Па).

- Закон сообщающихся сосудов (при отсутствии капиллярных явлений): однородная жидкость устанавливается в сообщающихся сосудах на одном уровне (высоте),  $h_1 = h_2$ ; высоты столбов  $h_1$  и  $h_2$  уравновешенных разнородных жидкостей, находящихся в сообщающихся сосудах, обратно пропорциональны плотностям жидкостей  $\rho_1$  и  $\rho_2$ :

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} \quad \text{или} \quad \rho_1 \cdot g h_1 = \rho_2 \cdot g h_2.$$

- Гидравлический пресс:

$$\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2},$$

где  $F_1$  – сила, действующая на большой поршень площадью  $S_1$ ,  
 $F_2$  – сила, действующая на малый поршень площадью  $S_2$ .

## 4. ЭЛЕКТРОСТАТИКА

- Заряд  $q$  любого тела равен целому числу  $N$  элементарных зарядов  $|e|$ .

$$q = N \cdot |e|,$$

где  $|e| = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – величина элементарного заряда.

- Закон сохранения заряда. В изолированной системе заряд сохраняется:

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}.$$

- Закон Кулона:

$$F = \frac{|q_1||q_2|}{4\pi\epsilon_0 \cdot \epsilon r^2} = k \frac{|q_1||q_2|}{\epsilon r^2},$$

где  $F$  – модуль силы взаимодействия двух точечных зарядов в среде с диэлектрической проницаемостью  $\epsilon$  среды,  $|q_1|, |q_2|$  – абсолютные величины электрических зарядов,  $r$  – расстояние между зарядами,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная,  $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$  м/Ф.

- Диэлектрическая проницаемость среды ( $\epsilon > 1$ ):

$$\epsilon = \frac{F_0}{F} = \frac{E_0}{E},$$

где  $F_0, F$  – силы взаимодействия зарядов в вакууме и в среде, соответственно,  $E_0, E$  – напряженность электрического поля в вакууме и в среде.

- Напряженность электрического поля:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0},$$

где  $\vec{F}$  – сила, действующая на положительный пробный заряд  $q_0$ .

- Напряженность электрического поля созданного точечным зарядом  $q$  на расстоянии  $r$  от него:

$$E = \frac{|q|}{4\pi\epsilon_0\epsilon r^2} = k \frac{|q|}{\epsilon r^2}.$$

- Принцип суперпозиции:

$$\vec{E} = \sum \vec{E}_i,$$

где  $\vec{E}$  – напряженность результирующего электрического поля,  $\vec{E}_i$  – напряженность поля  $i$  – го заряда.

- Величина напряженности поля в точке А, создаваемая зарядами  $q_1$  и  $q_2$ :

$$E_A = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha},$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – величина напряженности электрического поля, создаваемая точечными зарядами  $q_1$  и  $q_2$  в точке А,  $\alpha$  – угол между векторами  $\vec{E}_1$  и  $\vec{E}_2$ .

- Поверхностная плотность равномерно распределенного заряда:

$$\sigma = q/S,$$

где  $S$  – площадь поверхности с зарядом  $q$ .

- Напряженность поля, создаваемого равномерно заряженной бесконечной

плоскостью:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon}.$$

- Напряженность поля в плоском конденсаторе:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon}.$$

- Потенциал электрического поля:

$$\varphi = W/q_0,$$

где  $W$  – потенциальная энергия заряда  $q_0$ , находящегося в данной точке поля.

- Потенциал поля, созданного точечным зарядом  $q$  в некоторой точке среды с диэлектрической проницаемостью  $\varepsilon$ :

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 \cdot \varepsilon r} = k \frac{q}{\varepsilon r},$$

где  $r$  – расстояние от точки до заряда  $q$ .

- Принцип суперпозиции для потенциала:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n = \sum_{i=1}^n \varphi_i,$$

где  $\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n$  – потенциалы, создаваемые зарядами  $q_1, q_2, \dots, q_n$  в некоторой точке электрического поля,  $\varphi$  – результирующий потенциал.

- Напряженность  $E$  и потенциал  $\varphi$  поля, создаваемого равномерно заряженной сферической поверхностью радиусом  $R$  на расстоянии  $r$  от центра сферы:

$$\text{а) внутри сферы } (r < R): \quad E = 0, \quad \varphi = k \frac{Q}{\varepsilon R};$$

$$\text{б) на поверхности сферы } (r = R): \quad E = k \frac{|Q|}{\varepsilon R^2}, \quad \varphi = k \frac{Q}{\varepsilon R};$$

$$\text{в) вне сферы } (r > R): \quad E = k \frac{|Q|}{\varepsilon r^2}, \quad \varphi = k \frac{Q}{\varepsilon r},$$

где  $Q$  – общий заряд сферической поверхности.

Напряженность поля вне равномерно заряженной сферической поверхности совпадает с напряженностью поля точечного заряда, равного заряду сферы  $Q$  и помещенного в его центре.

- Работа по перемещению заряда  $q$  между двумя точками 1 и 2 с потенциалами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ :

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = qU,$$

где  $U = (\varphi_1 - \varphi_2)$  – разность потенциалов (напряжение) между точками 1 и 2.

- Модуль напряженности однородного ( $\vec{E} = \text{const}$ ) электрического поля:

$$E = \frac{U}{d} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

где  $U$  – напряжение между точками 1 и 2 с потенциалами  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ,  $d$  – расстояния между точками 1 и 2.

- Изменение кинетической энергии заряженной частицы в электрическом поле:

$$\Delta W_k = |q| U = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

где  $q$  и  $m$  – заряд и масса частицы,  $U$  – ускоряющее (тормозящее) напряжение между точками 1 и 2,  $v_1, v_2$  – скорости заряженной частицы в точках 1 и 2, соответственно.

- Электроемкость уединенного проводника:  $C = q/\phi$ , где  $q$  и  $\phi$  – заряд и потенциал проводника.

- Электроемкость конденсатора:

$$C = q/U,$$

где  $q$  – заряд пластины конденсатора,  $U$  – напряжение между пластинами конденсатора.

- Емкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d},$$

где  $S$  – площадь пластины конденсатора,  $d$  – расстояние между пластинами,  $\epsilon_0$  – электрическая постоянная,  $\epsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды.

- Емкость шарового проводника:

$$C = 4\pi\epsilon_0\epsilon R,$$

где  $R$  – радиус шара.

- Емкость батареи  $n$  параллельно соединенных конденсаторов:

$$C_{\text{пар}} = \sum_{i=1}^n C_i,$$

где  $C_i$  – емкость отдельного конденсатора.

Если  $C_1 = C_2 = \dots = C$ , то  $C_{\text{пар}} = n \cdot C$ .

- Емкость батареи  $n$  последовательно соединенных конденсаторов:

$$\frac{1}{C_{\text{посл}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i}.$$

Если  $C_1 = C_2 = \dots = C$ , то  $C_{\text{посл}} = C/n$ .

- Энергия электростатического поля конденсатора:

$$W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C},$$

где  $q$  – заряд на пластине конденсатора,  $C$  – емкость конденсатора,  $U$  – напряжение между пластинами конденсатора.

- Объемная плотность энергии электростатического поля (энергия электростатического поля  $W$  в единице объема  $V$ ):

$$w = \frac{W}{V} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E^2}{2},$$

где  $E$  – напряженность электрического поля.

## 5. ПОСТОЯННЫЙ ТОК. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

### Законы постоянного тока

- Сила электрического тока:

$$I = \frac{dq}{dt},$$

где  $dq$  – величина заряда, прошедшего через поперечное сечение проводника за время  $dt$ .

- Сила постоянного электрического тока:

$$I = \frac{q}{t},$$

где  $q$  – заряд, протекший через поперечное сечение проводника за время  $t$ .

- Плотность постоянного тока:

$$j = \frac{I}{S}, \quad j = qn\upsilon,$$

где  $S$  – площадь поперечного сечения проводника,  $q$  – заряд носителя заряда,  $n$  – концентрация носителей заряда,  $\upsilon$  – скорость направленного движения носителей заряда.

- Электрическое сопротивление проводника длиной  $\ell$  с постоянной площадью поперечного сечения  $S$ :  $R = \rho \frac{\ell}{S}$ ,

где  $\rho$  – удельное сопротивление проводника.

- Сопротивление проводника при температуре  $t$ :

$$R_t = R_0(1 + \alpha t),$$

где  $R_0$  – сопротивление проводника при  $0$  °С,  $\alpha$  – температурный коэффициент сопротивления.

- Удельное сопротивление проводника при температуре  $t$ :

$$\rho_t = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где  $\rho_0$  – удельное сопротивление проводника при  $0$  °С.

- Общее сопротивление при последовательном соединении проводников:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

где  $R_1, R_2, \dots, R_n$  – сопротивления отдельных проводников.

- Общее сопротивление при параллельном соединении проводников:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

- Сопротивление шунта:  $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n-1},$

где  $R_A$  – сопротивление амперметра,  $n$  – число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерения амперметра.

- Дополнительное сопротивление:

$$R_{\text{д}} = R_V(n-1),$$

где  $R_V$  – сопротивление вольтметра,  $n$  – число, показывающее, во сколько раз расширяются пределы измерения вольтметра.

- Закон Ома для однородного участка цепи:

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

где  $I$  – сила тока,  $U$  – напряжение на участке цепи,  $R$  – сопротивление участка цепи.

- Закон Ома для замкнутой цепи:

$$I = \frac{E}{R+r},$$

где  $I$  – сила тока в цепи,  $E$  – ЭДС источника,  $R$  – сопротивление внешней цепи,  $r$  – внутреннее сопротивление источника тока.

- При последовательном соединении  $n$  источников с одинаковыми ЭДС  $E$  и внутренними сопротивлениями  $r$  сила тока в цепи:

$$I = \frac{nE}{R+nr}.$$

- При параллельном соединении  $n$  источников с одинаковыми ЭДС  $E$  и внутренними сопротивлениями  $r$  сила тока в цепи:

$$I = \frac{E}{R+r/n}.$$

- Работа постоянного электрического тока:

$$A = qU = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t,$$

где  $q$  – заряд, протекший через поперечное сечение проводника сопротивлением  $R$ .

- Мощность постоянного тока:

$$P = \frac{A}{t} = \frac{qU}{t} = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}.$$

- Закон Джоуля-Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

где  $Q$  – количество теплоты, выделяемое в проводнике сопротивлением  $R$  с током силой  $I$  за время  $t$ .

- КПД источника тока:  $\eta = \frac{I^2 R}{EI} = \frac{IR}{E}$ .

- Первое правило Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, сходящихся в

узле:

$$\sum_{i=1}^n I_i = 0,$$

где  $n$  – число токов, сходящихся в узле.

- Второе правило Кирхгофа: В замкнутом контуре алгебраическая сумма напряжений на всех участках контура равна алгебраической сумме электродвижущих сил:

$$\sum_{i=1}^n I_i R_i = \sum_{i=1}^n E_i.$$

- Закон Фарадея для электролиза:

$$m = kq = kIt,$$

где  $m$  – масса вещества, выделившегося на электроде,  $q$  – заряд, прошедший через электролит,  $k$  – электрохимический эквивалент вещества,  $I$  – сила тока,  $t$  – время протекания тока через электролит.

- Электрохимический эквивалент вещества:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n},$$

где  $F = 96500$  Кл/моль – постоянная (число) Фарадея,  $\mu$  – молярная масса,  $n$  – валентность,  $\mu/n$  – химический эквивалент.

- Объединенный закон Фарадея:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{\mu}{n} \cdot It.$$

### Магнитное поле. Электромагнитная индукция

- Модуль магнитной индукции:

$$B = \frac{M_{\text{макс}}}{P_m},$$

где  $M_{\text{макс}}$  – максимальный вращающий момент, действующий на рамку с магнитным моментом

$$P_m = IS,$$

где  $S$  – площадь рамки,  $I$  – сила тока в рамке.



- Вращающий момент, действующий на рамку, находящуюся в магнитном поле с индукцией  $B$ :

$$M = IBS \sin \alpha ,$$

где  $S$  – площадь рамки,  $I$  – сила тока в рамке,  $\alpha$  – угол между нормалью  $\vec{n}$  к ее поверхности и направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ .

- Закон Ампера:  $F = IB\ell \sin \alpha ,$

где  $F$  – модуль силы, действующей на помещенный в магнитное поле проводник длиной  $\ell$  с током силой  $I$ ,  $B$  – модуль вектора магнитной индукции,  $\alpha$  – угол между направлением тока и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$ .

- Правило левой руки: если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная к проводнику составляющая вектора магнитной индукции входила в ладонь, четыре вытянутых пальца были направлены по току, то отогнутый на  $90^\circ$  большой палец укажет направление силы Ампера.

- Принцип суперпозиции магнитных полей:

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \dots + \vec{B}_n .$$

- Поток магнитной индукции (магнитный поток) через плоскую поверхность площадью  $S$ :

$$\Phi = BS \cos \alpha ,$$

где  $B$  – модуль вектора магнитной индукции,  $\alpha$  – угол между нормалью  $\vec{n}$  к её поверхности и направлением вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ .

- Сила Лоренца:

$$F_{\text{л}} = qvB \sin \alpha ,$$

где  $q$  – модуль заряда частицы,  $v$  – её скорость,  $B$  – модуль вектора магнитной индукции, где  $\alpha$  – угол между направлением скорости частицы  $\vec{v}$  и вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ .

- Закон электромагнитной индукции:

$$E_i = - \frac{d\Phi}{dt} ,$$

где  $E_i$  – ЭДС индукции, возникающей в замкнутом контуре, если поверхность контура пронизывается переменным магнитным потоком,  $d\Phi/dt$  – скорость изменения магнитного потока.

Знак “ – ” отражает правило Ленца: индукционный ток имеет такое направление, что созданное им магнитное поле, противодействует изменению магнитного потока, вызвавшему этот индукционный ток.

- ЭДС индукции в проводнике длиной  $\ell$ , движущемся в постоянном во времени магнитном поле со скоростью  $\vec{v}$ :

$$E_i = B\ell v \sin \alpha ,$$

где  $\alpha$  – угол между направлением скорости частицы  $\vec{v}$  и вектора магнитной индукции  $\vec{B}$ .

- Магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, возникающий при протекании по этому контуру тока  $I$ :

$$\Phi = LI,$$

где  $L$  – индуктивность контура.

- Потокосцепление катушки индуктивностью  $L$ , содержащую  $N$  витков:

$$\Psi = N\Phi = LI,$$

где  $\Phi$  – магнитный поток через один виток.

- ЭДС самоиндукции:  $E_{si} = -L \frac{dI}{dt}$ ,

где  $dI/dt$  – скорость изменения тока в контуре.

- Энергия магнитного поля тока силой  $I$ , проходящего по проводнику индуктивностью  $L$ :

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

## 6. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК. КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

### Механические и звуковые колебания и волны

- Уравнение гармонического колебания:

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

где  $x$  – смещение материальной точки от положения равновесия,  $A$  – амплитуда колебания,  $\omega$  – циклическая (круговая) частота колебания,  $(\omega t + \alpha)$  – фаза колебания в момент времени  $t$ ,  $\alpha$  – начальная фаза колебания (при  $t = 0$ );  $A, \omega, \alpha = \text{const}$ .

- Скорость гармонического колебания:  $v = \frac{dx}{dt}$ .
- Если  $x = A \sin(\omega t + \alpha)$ , то

$$v = A\omega \cos(\omega t + \alpha) = A\omega \sin\left(\omega t + \alpha + \frac{\pi}{2}\right).$$

- Ускорение гармонического колебания:  $a = \frac{dv}{dt}$ .

$$a = -A\omega^2 \sin(\omega t + \alpha) = A\omega^2 \sin \omega t + \alpha + \pi.$$

- Круговая частота:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu,$$

где  $T$  – период колебания,  $\nu$  – частота колебания.

- Сила, вызывающая гармонические колебания:

$$F = -kx,$$

где  $k = m\omega^2$  – коэффициент квазиупругой силы,  $m$  – масса тела.

Знак “–” отражает тот факт, что сила направлена к положению равновесия.

- Полная механическая энергия материальной точки, совершающей гармонические колебания:

$$E = E_k + E_p = \frac{mv_m^2}{2} = \frac{kA^2}{2} = \text{const},$$

где  $E_k = \frac{mv^2}{2}$  и  $E_p = \frac{kA^2}{2}$  – соответственно, кинетическая и потенциальная энергия;  $v_m$  – амплитуда скорости гармонического колебания,  $m$  – масса точки.

- Период колебания математического маятника:

а) в инерциальной системе отсчета:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}},$$

где  $\ell$  – длина нити,  $g$  – ускорение свободного падения;

б) в неинерциальной системе отсчета:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g \pm a}},$$

где “+”, если система движется с ускорением  $\vec{a}$ , направленным вверх, и “–”, если система движется с ускорением  $\vec{a}$ , направленным вниз.

- Период колебания пружинного маятника:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}},$$

где  $m$  – масса груза, прикрепленного к пружине,  $k$  – жесткость пружины.

- Уравнение гармонической линейно-поляризованной волны, распространяющейся в положительном направлении оси  $x$ :

$$y = A \cos \omega \left( t - \frac{x}{v} \right), \quad \text{или} \quad y = A \sin \omega \left( t - \frac{x}{v} \right),$$

где  $y$  – смещение от положения равновесия точки с координатой  $x$  в момент времени  $t$ .

- Частота собственных колебаний струны:

$$v_n = \frac{v}{2\ell} n \quad (n = 1, 2, 3, \dots),$$

где  $v$  – скорость распространения волны,  $\ell$  – длина струны.

- Связь между длиной волны  $\lambda$ , скоростью распространения волны  $v$  и периодом  $T$  (или частотой  $\nu$ ):

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu.$$

- Интенсивность упругой волны:

$$I = \frac{1}{S} \frac{\Delta W}{\Delta t} = \frac{DA^2\omega^2}{2},$$

где  $\Delta W$  – средняя энергия, переносимая упругой волной через поверхность площадью  $S$  за время  $\Delta t$ ,  $D$  – плотность среды.

### Электромагнитные колебания и волны. Переменный ток

- Период свободных электромагнитных колебаний в колебательном контуре (формула Томсона):

$$T = 2\pi\sqrt{LC},$$

где  $C$  – емкость конденсатора,  $L$  – индуктивность катушки.

- Мгновенные значения ЭДС, напряжения и силы тока:

$$E = E_m \sin \omega t, \quad u = U_m \sin \omega t, \quad i = I_m \sin \omega t,$$

где  $E_m, U_m, I_m$  – амплитуды ЭДС, напряжения и силы тока.

- Реактивное индуктивное сопротивление катушки индуктивностью  $L$ :

$$X_L = \omega L.$$

- Реактивное емкостное сопротивление конденсатора емкостью  $C$ :

$$X_C = \frac{1}{\omega C}.$$

- Полное сопротивление электрической цепи переменному току:

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}.$$

- Закон Ома для цепи переменного (гармонического) тока:

$$I_m = \frac{U_m}{Z} = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2}}.$$

- Действующие значения силы тока, напряжения и ЭДС переменного тока:

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, \quad E = \frac{E_m}{\sqrt{2}}.$$

- Количество теплоты, выделяющееся в резисторе с активным сопротивлением  $R$  при протекании по нему переменного тока в течение времени  $t$ :

$$Q = \frac{I_m^2 R t}{2} = \frac{U_m^2 t}{2R}.$$

- Коэффициент трансформации (на холостом ходе):

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2},$$

где  $N_1, N_2$  – число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора,  $U_1, U_2$  – напряжение на клеммах первичной и вторичной обмоток.

- Коэффициент трансформации (в режиме нагрузки):

$$k = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2 + I_2 r_2},$$

где  $I_2 r_2$  – падение напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

- КПД трансформатора:

$$\eta = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1},$$

где  $I_1, I_2$  – сила тока в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

- Связь между длиной электромагнитной волны  $\lambda$  в вакууме, скоростью электромагнитной волны  $c$  в вакууме и периодом  $T$  (или частотой  $\nu$ ):

$$c = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu.$$

Скорость распространения электромагнитных волн в вакууме:  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

- Объемная плотность энергии электромагнитной волны, распространяющаяся в вакууме:

$$w_{\text{эм}} = W/V = \epsilon_0 E_m^2,$$

где  $W$  – энергия электромагнитного поля, сосредоточенного в объеме  $V$ ,  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная,  $E_m$  – амплитуда напряжения электромагнитного поля электромагнитной волны.

- Поток энергии электромагнитной волны – энергия электромагнитного излучения, проходящего в единицу времени (мощность  $P_{\text{эм}}$ ) сквозь поверхность площадью  $S$ :

$$\Phi_W = P_{\text{эм}} = \Delta W / \Delta t.$$

- Плотность потока энергии электромагнитной волны – мощность электромагнитного излучения, проходящего сквозь единицу площади поверхности, расположенной перпендикулярно направлению распространения волны:

$$\frac{\Phi_W}{S} = \frac{P_{\text{эм}}}{S} = \frac{1}{S} \frac{\Delta W}{\Delta t}.$$

- Интенсивность электромагнитной волны – среднее значение плотности потока энергии электромагнитной волны:

$$I = \frac{P_{\text{эм}}}{S} = w_{\text{эм}} c = c \epsilon_0 \overline{E^2}.$$

- Интенсивность излучения точечного источника убывает обратно пропорционально квадрату расстояния от источника:  $I \sim 1/r^2$  и прямо пропорциональна четвертой степени частоты колебаний:  $I \sim \nu^4$ .

-

# ОПТИКА. СВЕТОВЫЕ КВАНТЫ

## Геометрическая оптика

- Абсолютный показатель преломления среды:

$$n = \frac{c}{v},$$

где  $c$  и  $v$  – скорость света соответственно в вакууме и в среде.

- Закон отражения света:

$$\alpha = \gamma,$$

$\alpha$  – угол падения,  $\gamma$  – угол отражения.

- Закон преломления света:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где  $\alpha$  – угол падения,  $\beta$  – угол преломления,  $n_1$ ,  $n_2$  – абсолютные показатели преломления первой и второй сред соответственно,  $n_{21}$  – показатель преломления второй среды относительно первой (относительный показатель преломления).

- В случае полного внутреннего отражения света:

$$\sin \alpha_o = \frac{n_2}{n_1} = n_{21},$$

где  $\alpha_o$  – предельный угол полного внутреннего отражения,  $n_1$  и  $n_2$  – абсолютные показатели преломления сред ( $n_2 \approx 1$  – для воздуха).

- Формула тонкой линзы:

$$\pm \frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f},$$

где  $F$  – фокусное расстояние линзы,  $d$  – расстояние от предмета до линзы,  $f$  – расстояние от изображения до линзы (знак “+” перед  $1/F$  соответствует собирающей линзе, знак “–” соответствует рассеивающей линзе, знак “+” перед  $1/f$  соответствует действительному изображению, знак “–” соответствует мнимому изображению).

- Оптическая сила тонкой линзы:

$$D = \frac{1}{F} = \left( \frac{n_{\text{л}}}{n_{\text{ср}}} - 1 \right) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right),$$

где  $F$  – фокусное расстояние линзы,  $n_{\text{л}}$  – абсолютный показатель преломления вещества линзы,  $n_{\text{ср}}$  – абсолютный показатель преломления окружающей среды (одинаковый с обеих сторон линзы),  $R_1$  и  $R_2$  – радиусы кривизны поверхностей линзы (радиусы выпуклых поверхностей берутся со знаком “+”, вогнутых – со знаком “–”).

- Оптическая сила системы близко расположенных тонких линз с оптическими силами  $D_1$  и  $D_2$ :

$$D = D_1 + D_2.$$

- Увеличение линзы:

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d},$$

где  $h$  – высота предмета,  $H$  – высота изображения,  $d$  – расстояние от предмета до линзы,  $f$  – расстояние от изображения до линзы.

- Увеличение лупы с фокусным расстоянием  $F$ :

$$\Gamma = d_n / F,$$

где  $d_n = 0,25$  м – расстояние наилучшего зрения.

### Волновые свойства света

- Оптическая длина пути световой волны:

$$L = n \cdot \ell,$$

где  $n$  – показатель преломления среды,  $\ell$  – геометрическая длина пути световой волны.

- Оптическая разность хода двух световых волн:

$$\Delta = L_2 - L_1.$$

• Условие усиления света длиной волны  $\lambda$  при интерференции (условие интерференционных максимумов):

$$\Delta = k\lambda, \quad \text{где } k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

• Условие ослабления света длиной волны  $\lambda$  при интерференции (условие интерференционных минимумов):

$$\Delta = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}, \quad \text{где } k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

• Условие главных максимумов интенсивности света при дифракции на дифракционной решетке:

$$d \cdot \sin \varphi = k\lambda, \quad \text{где } k = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Здесь  $d = \ell/N$  – период решетки,  $\ell$  – длина дифракционной решетки,  $N$  – число щелей на длине  $\ell$ ,  $\varphi$  – угол дифракции (угол между нормалью к поверхности решетки и направлением на соответствующий дифракционный максимум интенсивности света),  $k$  – номер спектра (дифракционного максимума),  $\lambda$  – длина световой волны.

### Квантовые свойства света

- Скорость света в вакууме:

$$c = \lambda \cdot \nu,$$

где  $\lambda$  – длина световой волны,  $\nu$  – частота световой волны,  $c = 3 \cdot 10^8$  м/с.

- Энергия кванта света (фотона):

$$\varepsilon = h\nu = h \frac{c}{\lambda},$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.

- Импульс фотона:

$$p = m_{\phi}c = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda},$$

где  $m_{\phi}$  – масса фотона.

- Формула Эйнштейна для фотоэффекта ( $v_m \ll c$ , нерелятивистский случай):

$$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{mv_m^2}{2} = A_{\text{в}} + eU_3,$$

где  $\nu$  – частота световой волны,  $A_{\text{в}}$  – работа выхода электрона из металла,  $m$  – масса электрона,  $v_m$  – максимальная скорость фотоэлектрона,  $mv_m^2/2$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона,  $e$  – заряд электрона,  $U_3$  – задерживающее напряжение.

- Красная граница фотоэффекта для вещества с работой выхода электрона  $A_{\text{в}}$ :

$$\nu_{\text{кр}} = \frac{A_{\text{в}}}{h} \quad \text{или} \quad \lambda_{\text{кр}} = \frac{hc}{A_{\text{в}}},$$

где  $\nu_{\text{кр}}$  и  $\lambda_{\text{кр}}$  – минимальная частота и соответственно максимальная длина световой волны, способной вызвать фотоэффект.

- Объемная плотность энергии монохроматического излучения:

$$w = \frac{N h \nu}{V},$$

где  $N$  – число фотонов с энергией  $h\nu$ , содержащихся в объеме  $V$ .

- Интенсивность излучения (энергия фотонов, падающих в единицу времени на единицу поверхности  $S$ ):

$$I_e = w c = \frac{N h \nu}{S t}.$$

- Давление света при его нормальном падении на поверхность:

$$p = w(1 + \rho) \quad \text{или} \quad p = \frac{I_e}{c}(1 + \rho),$$

где  $\rho$  – коэффициент отражения света (в случае зеркальной поверхности  $\rho = 1$ , в случае черной поверхности  $\rho = 0$ ),  $w$  – объемная плотность энергии излучения,  $I_e$  – интенсивность излучения,  $c$  – скорость света в вакууме.



## Волны де Бройля

- Со всякой частицей, имеющей массу  $m_0$ , которая движется со скоростью  $v$ , связано распространение волны де Бройля. Длина волны де Бройля:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m_0 v},$$

где  $h$  – постоянная Планка,  $p = m_0 v$  – импульс частицы массой  $m_0$ , движущейся со скоростью  $v \ll c$ , где  $c$  – скорость света в вакууме.

## 8. СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ. ФИЗИКА АТОМА И АТОМНОГО ЯДРА

### Элементы теории относительности

- Релятивистская зависимость массы от скорости:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

где  $m$  – релятивистская масса тела,  $m_0$  – масса покоя тела,  $v$  – скорость движения тела,  $c$  – скорость света в вакууме.

- Релятивистский импульс тела:

$$p = mv = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}.$$

- Релятивистское замедление хода часов:

$$t = \frac{\tau}{\sqrt{1 - v^2/c^2}},$$

где  $\tau$  – время, измеренное наблюдателем, движущимся вместе с часами (собственное время),  $t$  – время, измеренное наблюдателем, в неподвижной системе отсчета.

- Релятивистское сокращение длины:

$$l = l_0 \sqrt{1 - v^2/c^2},$$

где  $l_0$  – длина тела, измеренная в системе отсчета, относительно которой тело покоится (собственная длина),  $l$  – длина тела, измеренная в системе отсчета, относительно которой тело движется со скоростью  $v$ .

- Релятивистский закон сложения скоростей:

$$u_2 = \frac{u_1 + v}{1 + u_1 v/c^2},$$

где  $u_2$  и  $u_1$  – скорости тела соответственно в неподвижной системе отсчета и в движущейся относительно нее со скоростью  $v$ .

- Взаимосвязь массы и энергии:

$$W = mc^2,$$

где  $W$  – полная энергия тела,  $m$  – масса тела,  $c$  – скорость света в вакууме.

- Энергия покоя тела:

$$W_0 = m_0c^2,$$

где  $m_0$  – масса покоя тела.

- Изменение массы тела  $\Delta m$  при изменении полной энергии ( $\Delta W$ ) этого тела:

$$\Delta W = \Delta m \cdot c^2.$$

- Кинетическая энергия релятивистской частицы:

$$W_{\text{кин}} = W - W_0, \quad W_{\text{кин}} = mc^2 - m_0c^2,$$

где  $W$  – полная энергия тела,  $W_0$  – энергия покоя тела.

### Атом водорода по теории Бора

- **Первый постулат Бора** (постулат стационарных состояний): в атоме существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния, в которых атом не излучает энергию.

В стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, имеет дискретные (квантованные) значения момента импульса.

- Для атома водорода:

$$m_e v r_n = n \hbar,$$

где  $m_e$  – масса электрона,  $v$  – скорость электрона на  $n$ -ой стационарной орбите радиуса  $r_n$ ,  $n$  – главное квантовое число ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ),  $h$  – постоянная Планка,  $\hbar = h/2\pi$ .

- Радиус  $n$ -ой стационарной орбиты атома водорода:

$$r_n = \frac{\hbar^2}{km_e e^2} n^2, \quad r_n = r_1 \cdot n^2, \quad \text{где} \quad r_1 = \frac{\hbar^2}{km_e e^2},$$

где  $m_e$ ,  $e$  – масса и заряд электрона, соответственно,  $r_1$  – радиус первой стационарной орбиты (первый борковский радиус,  $r_1 = 0,53 \cdot 10^{-10}$  м),  $k = 1/4\pi\epsilon_0 = 9 \cdot 10^9$  м/Ф.

- Энергия  $E_n$  электрона на  $n$ -ой стационарной орбите атома водорода:

$$E_n = E_1 \cdot \frac{1}{n^2}, \quad \text{где} \quad E_1 = -\frac{k^2 m_e e^4}{2\hbar^2}.$$

Здесь  $E_1$  – энергия основного состояния атома ( $n = 1$ ),  $E_1 = -13,6$  эВ.

- **Второй постулат Бора** (правило частот): при переходе электрона с одной стационарной орбиты на другую излучается (поглощается) фотон с энергией, равной разности энергий соответствующих стационарных состояний:

$$h\nu = E_n - E_m,$$

где  $h\nu$  – энергия фотона, излучаемая или поглощаемая атомом,  $E_n, E_m$  – энергии стационарных состояний атома до и после излучения (поглощения). При  $n > m$  – излучение кванта света, а при  $n < m$  – поглощение кванта света.

- Формула Бальмера (для видимой области спектра):

$$\frac{1}{\lambda} = R' \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad \nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $\lambda$  и  $\nu$  – соответственно длина волны и частота спектральной линии в спектре атома водорода ( $n = 3, 4, 5 \dots$ ),  $R'$  и  $R$  – постоянная Ридберга ( $R' = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$ ,  $R = R' \cdot c = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$ ),  $c$  – скорость света в вакууме.

### Атомное ядро

- Символическая запись ядра:



где  $X$  – химический элемент,  $A = Z + N$  – массовое число, число нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре,  $Z$  – атомный номер элемента в таблице Менделеева (число протонов в ядре, число электронов в оболочке атома),  $N$  – число нейтронов в ядре.

- Энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2,$$

где  $\Delta m$  – дефект массы ядра,  $c$  – скорость света в вакууме.

- Дефект массы ядра:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + N \cdot m_n - M_{\text{я}},$$

где  $m_p$  – масса покоя протона,  $m_n$  – масса покоя нейтрона,  $M_{\text{я}}$  – масса ядра.

- Удельная энергия связи ядра:

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{св}}}{A},$$

где  $A$  – число нуклонов (общее число протонов и нейтронов) в ядре.

- Закон радиоактивного распада:

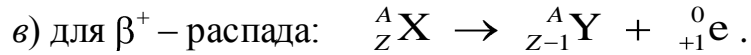
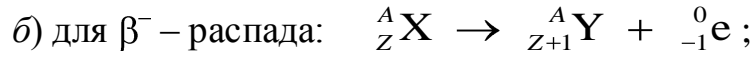
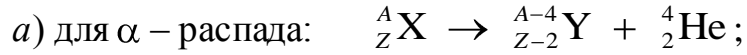
$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}, \quad N = N_0 \cdot e^{-\lambda t} = N_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где  $N$  – число нераспавшихся ядер в момент времени  $t$ ,  $N_0$  – первоначальное число ядер (число ядер при  $t = 0$ ),  $T_{1/2}$  – период полураспада,  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада,  $T_{1/2} = \ln 2 / \lambda$ ,  $\tau = 1 / \lambda$  – среднее время жизни радиоактивного ядра.

- Число  $\Delta N$  ядер, распавшихся за время  $t$ :

$$\Delta N = N_0 - N, \quad \Delta N = N_0 \cdot \left( 1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}} \right), \quad \Delta N = N_0 \cdot (1 - e^{-\lambda t}).$$

- Правила смещения при радиоактивном распаде:



Здесь  $\text{Y}$ ,  ${}^4_2\text{He}$ ,  ${}^0_{-1}\text{e}$ ,  ${}^0_{+1}\text{e}$  – ядро, возникшее в процессе радиоактивного распада,  $\alpha$  – частица, электрон и позитрон соответственно.

- Энергия (тепловой эффект) ядерной реакции:

$$Q = [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)] \cdot c^2,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы покоя ядра мишени и бомбардирующей частицы,  $(m_3 + m_4)$  – сумма масс покоя ядер продуктов реакции,  $c$  – скорость света в вакууме.

Если  $(m_1 + m_2) > (m_3 + m_4)$ , то энергия освобождается, энергетический эффект положителен, реакция экзотермическая.

Если  $(m_1 + m_2) < (m_3 + m_4)$ , то энергия поглощается, энергетический эффект отрицателен, реакция эндотермическая.

- Энергия ядерной реакции может быть записана также в виде:

$$Q = (E_1 + E_2) - (E_3 + E_4),$$

где  $E_1$  и  $E_2$  – энергии покоя ядра мишени и бомбардирующей частицы,  $E_3$  и  $E_4$  – энергии покоя ядра и частицы – продуктов реакции.