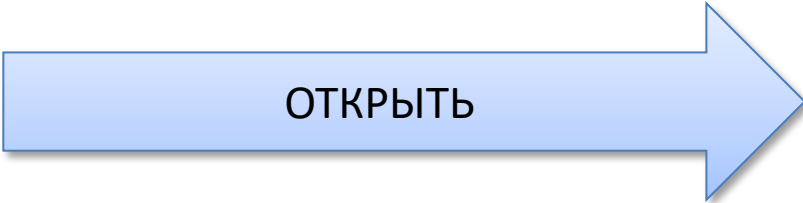


ИНТЕЛЛЕКТ-КАРТА ПО ФИЗИКЕ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ К ОГЭ И ЕГЭ

ВЕРСИЯ К2

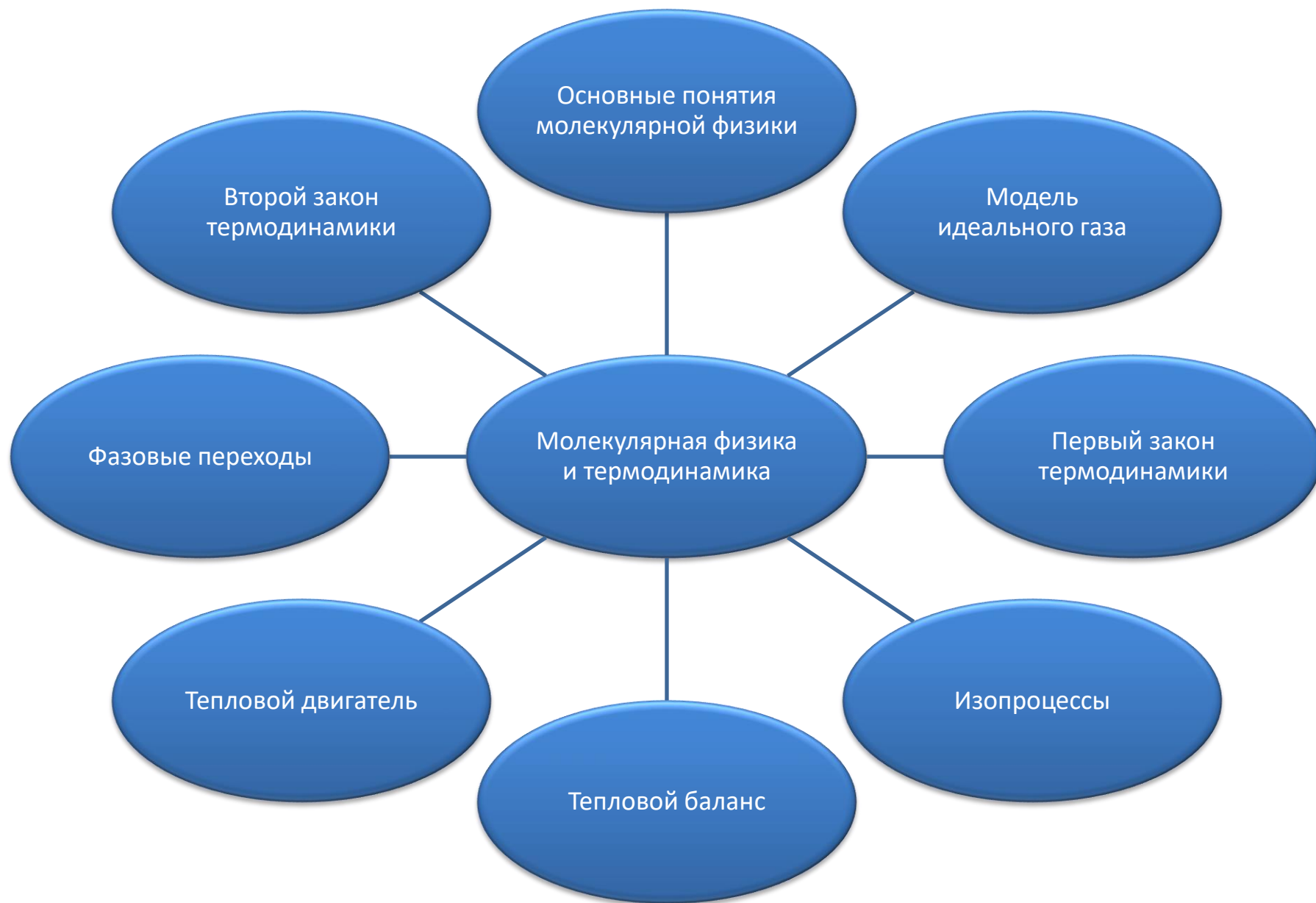
<http://www.workingmemory.ru/>



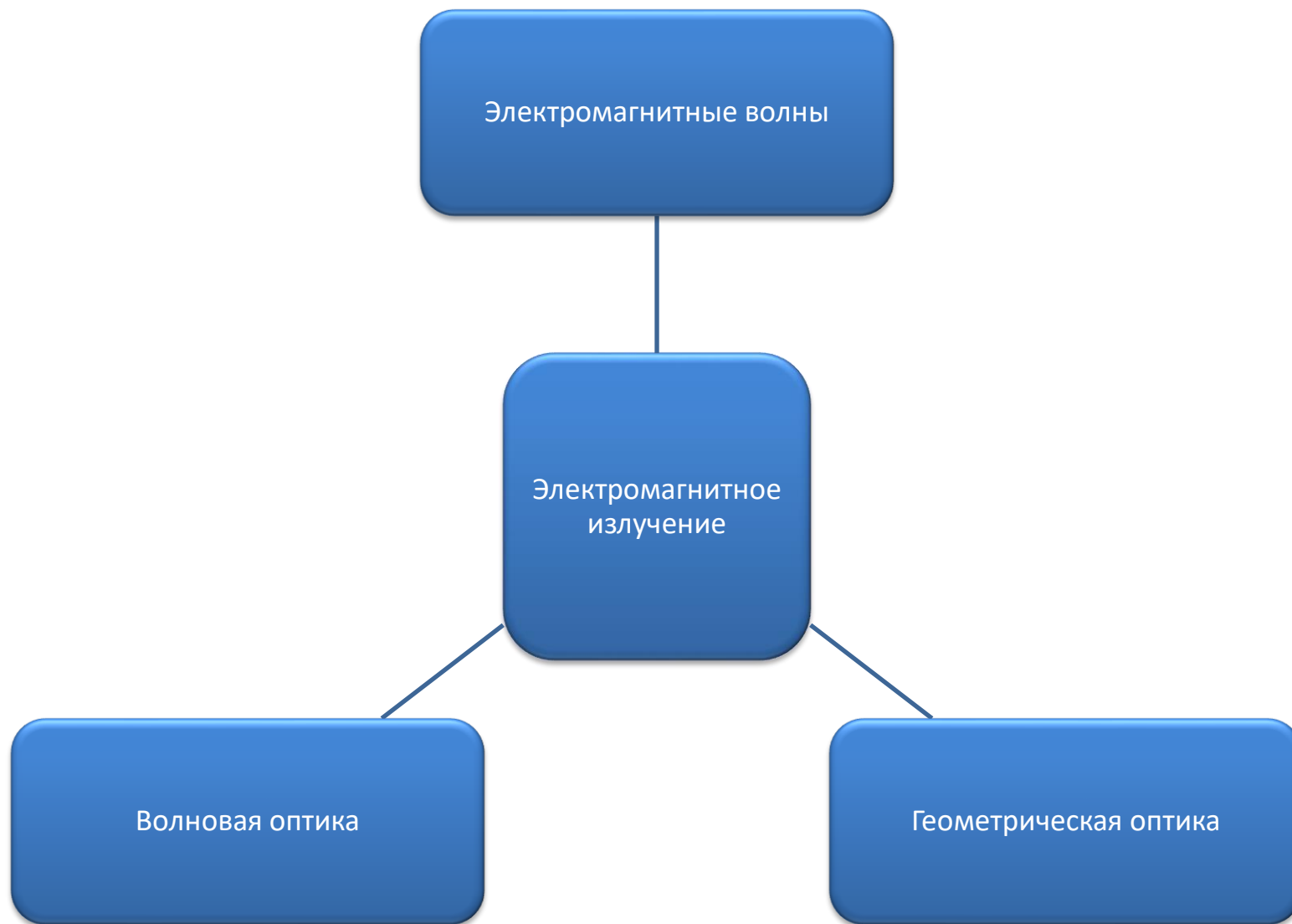
ОТКРЫТЬ

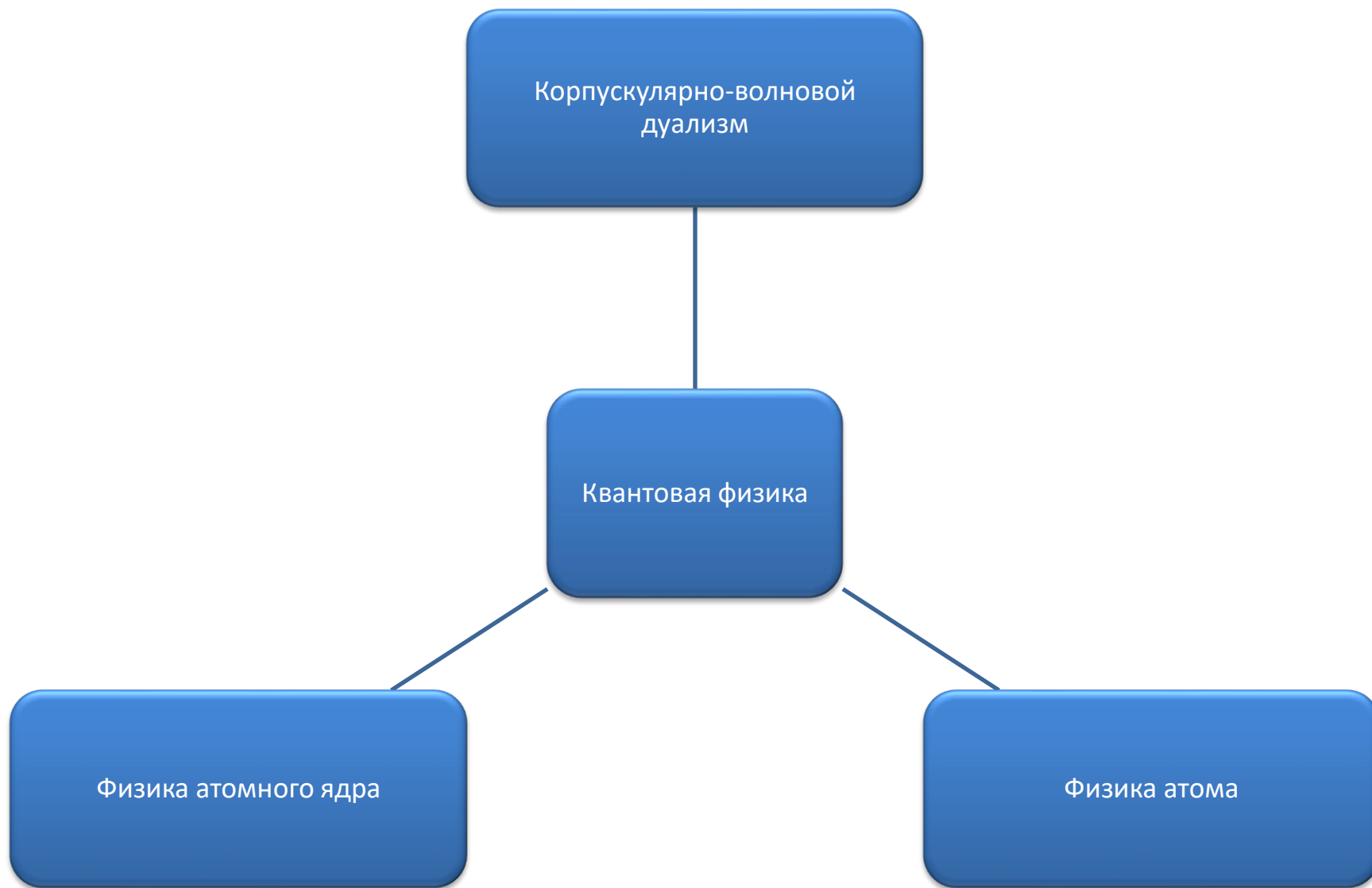














ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Траектория – кривая, вдоль которой движется материальная точка.

Путь – длина траектории.

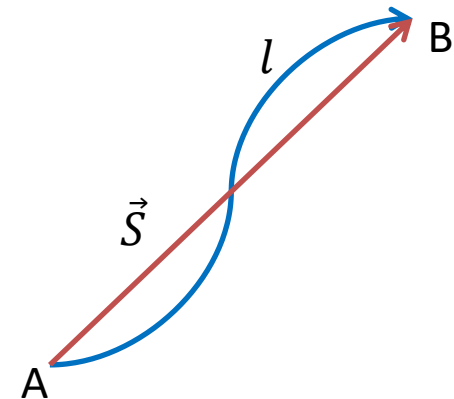
Перемещение – вектор, соединяющий начальную и конечную точки траектории.

$$v_{\text{ср}} = \frac{l}{t} \quad \text{– средняя скорость по пути}$$

$$\vec{v}_{\text{ср}} = \frac{\vec{S}}{t} \quad \text{– средняя скорость по перемещению}$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{S}}{dt} \quad \text{– мгновенная скорость}$$

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} \quad \text{– ускорение}$$



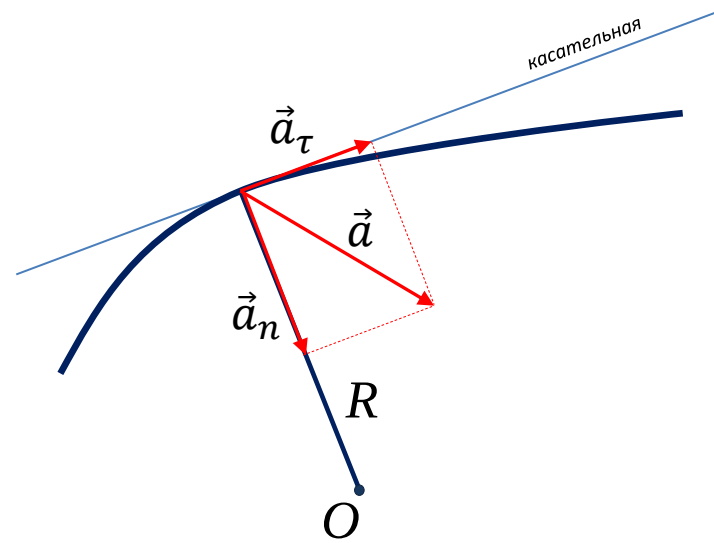
УСКОРЕНИЕ

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

$$a = \sqrt{a_n^2 + a_\tau^2}$$

$$a_\tau = \frac{dv}{dt}$$

$$a_n = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$



РАВНОМЕРНОЕ ДВИЖЕНИЕ ВДОЛЬ ПРЯМОЙ

$$\vec{a} = 0$$

$$\vec{v} = \text{const}$$

$$x(t) = x_0 + v_0 t$$

$$v = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

$$S = v \cdot t$$

РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ ВДОЛЬ ПРЯМОЙ

$$\vec{a} = \text{const}$$

$$\begin{cases} v(t) = v_0 + at \\ x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2} \end{cases}$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$\Delta t = t_2 - t_1 = \frac{v_2 - v_1}{a}$$

$$v_{\text{cp}} = \frac{S}{t} = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

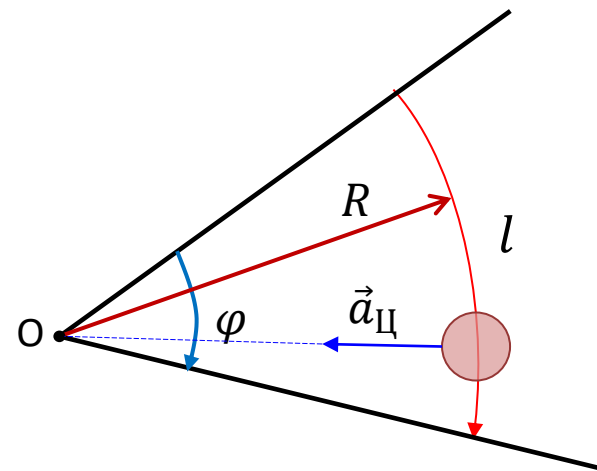
$$S = v_{\text{cp}} \cdot \Delta t = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2a}$$

ВРАЩАТЕЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$\varphi = \frac{l}{R} \quad - \text{угол в радианах}$$

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{R} \quad - \text{угловая скорость [с}^{-1}\text{]}$$

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{a_{\tau}}{R} \quad - \text{угловое ускорение [с}^{-2}\text{]}$$



Уравнение движения:

$$\begin{cases} \omega = \omega_0 + \varepsilon t \\ \varphi = \varphi_0 + \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2} \end{cases}$$

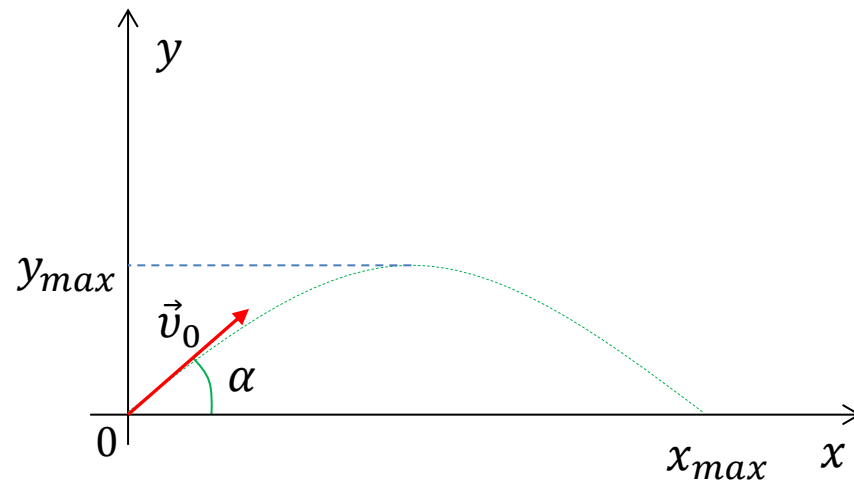
$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad - \text{период обращения}$$

$$\nu = \frac{1}{T} \quad - \text{частота обращения (Гц)}$$

Центростремительное (нормальное) ускорение: $a_{\text{ц}} = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$

БАЛЛИСТИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ

$$\begin{cases} v_x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \\ x(t) = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t \\ v_y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha - gt \\ y(t) = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

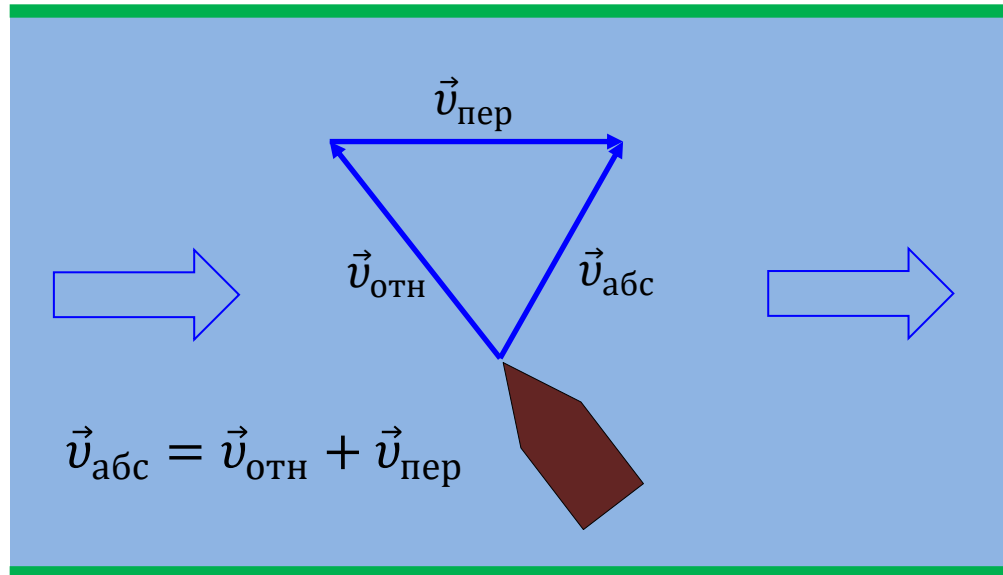


$$v_y = 0 \Rightarrow t_{ymax} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}, y_{max} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

$$y(t) = 0 \Rightarrow t_{xmax} = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g}, x_{max} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

ЗАКОН СЛОЖЕНИЯ СКОРОСТЕЙ (в классической механике Ньютона)

Абсолютная скорость
(скорость лодки
относительно берега)
равна сумме
относительной скорости
(скорости лодки
относительно воды) и
переносной скорости
(скорости воды
относительно берега).



Скорость второго тела равна скорости второго тела относительно первого плюс скорость первого:

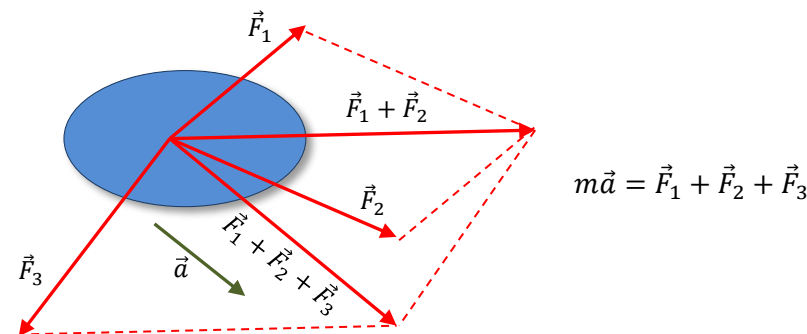
$$\vec{v}_2 = \vec{v}_{21} + \vec{v}_1$$



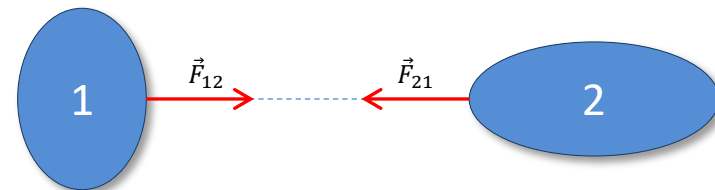
ЗАКОНЫ НЬЮТОНА

Первый закон Ньютона. Существуют такие системы отсчёта, называемые инерциальными, относительно которых тело находится в состоянии покоя или равномерного прямолинейного движения, если векторная сумма сил, действующих на него, равна нулю.

Второй закон Ньютона. Произведение массы тела на его ускорение равно векторной сумме всех действующих на него сил: $m\vec{a} = \sum \vec{F}$.



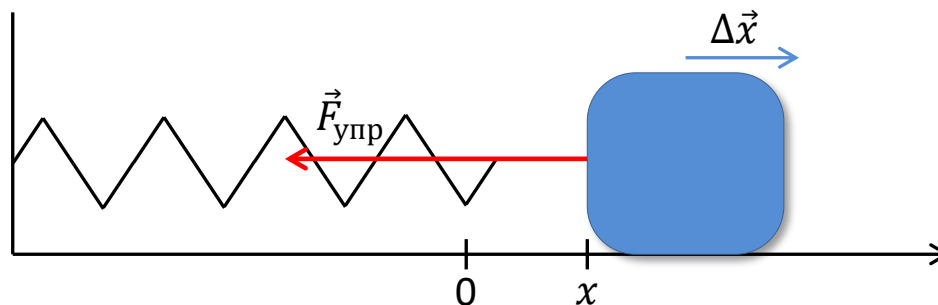
Третий закон Ньютона. Два тела действуют друг на друга силами, равными по величине, но направленными в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей точки приложения этих сил: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$.



СИЛА УПРУГОСТИ

Сила упругости — сила, возникающая при деформации тела и направленная противоположно направлению смещения частиц при деформации.

Закон Гука. Модуль силы упругости $F_{\text{упр}}$, возникающей при деформации тела, пропорционален его удлинению Δx :



$$\vec{F}_{\text{упр}} = -k\Delta\vec{x}$$

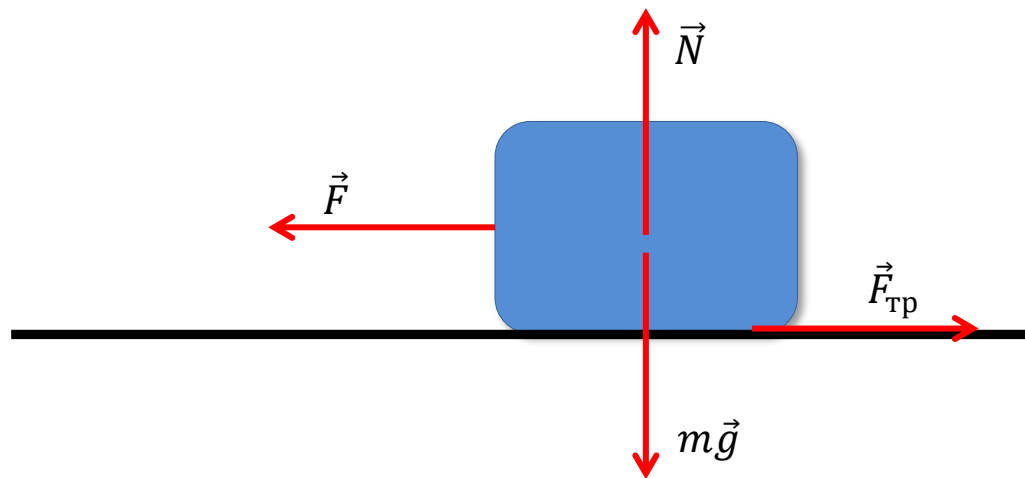
$$F_{\text{упр}} = k\Delta x$$

k — жесткость [Н/м]

Потенциальная энергия упругой деформации $E_p = \frac{k \cdot \Delta x^2}{2}$

СИЛА ТРЕНИЯ

Сила трения — сила, возникающая при соприкосновении поверхностей тел, препятствующая их относительному перемещению, направленная вдоль поверхности соприкосновения.

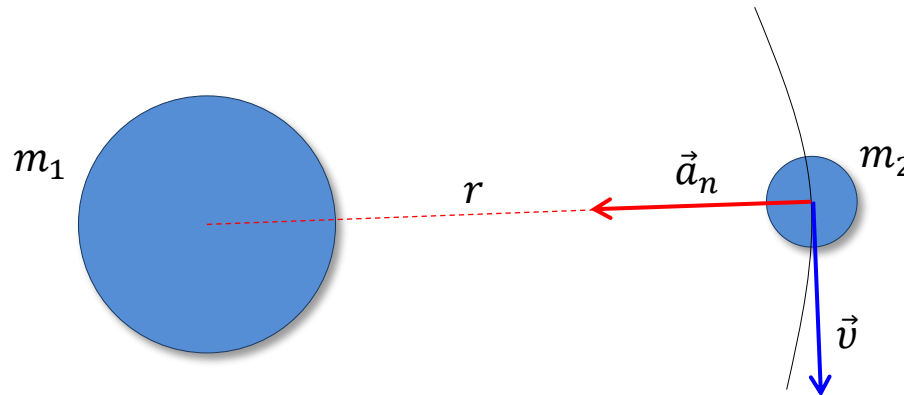


Сила трения покоя $\vec{F}_{\text{тр}} = -\vec{F}$, $F_{\text{тр}} \leq \mu N$, где μ — коэффициент трения

Сила трения скольжения $F_{\text{тр}} = \mu N$, где μ — коэффициент трения

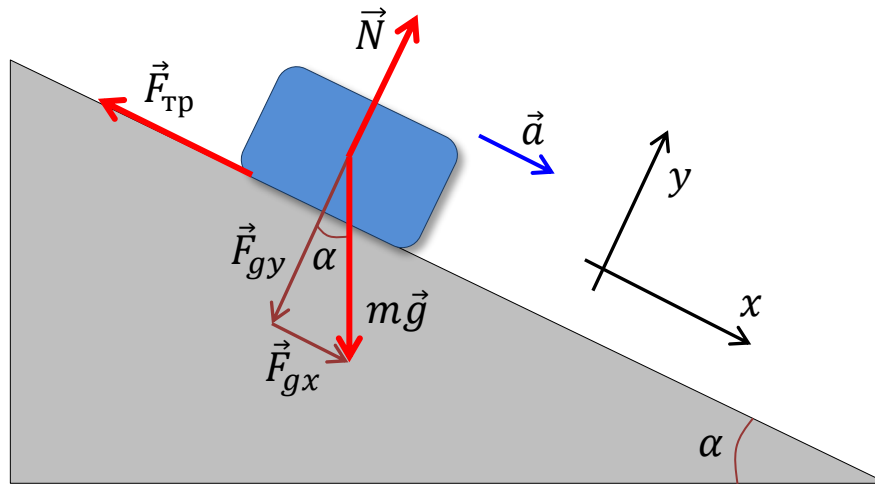
ЗАКОН ВСЕМИРНОГО ТЯГОТЕНИЯ

Между любыми двумя материальными точками действует сила взаимного притяжения, пропорциональная произведению масс этих точек и обратно пропорциональная квадрату расстояния между ними: $F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$, где $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2 / \text{кг}^2$ – гравитационная постоянная, r – расстояние между материальными точками или центрами сферически симметричных шаров.



$$\vec{F}_g = m_2 \vec{a}_n, a_n = \frac{v^2}{r} \Rightarrow G \frac{m_1 m_2}{r^2} = m_2 \frac{v^2}{r} \Rightarrow v = \sqrt{G \frac{m_1}{r}} - \text{первая космическая скорость}$$

ДВИЖЕНИЕ ПО НАКЛОННОЙ ПЛОСКОСТИ



$$m\vec{g} = \vec{F}_{gx} + \vec{F}_{gy}$$

$$F_{gx} = mg \sin \alpha$$

$$F_{gy} = -mg \cos \alpha$$

$$\vec{F}_{\text{тр}} + \vec{N} + m\vec{g} = m\vec{a}$$

$$Ox: -F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha = ma$$

$$Oy: N - mg \cos \alpha = 0$$

Движение, если $\tan \alpha \geq \mu$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = N\mu = mg\mu \cos \alpha$$

$$a = \frac{-F_{\text{тр}} + mg \sin \alpha}{m} = g(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)$$

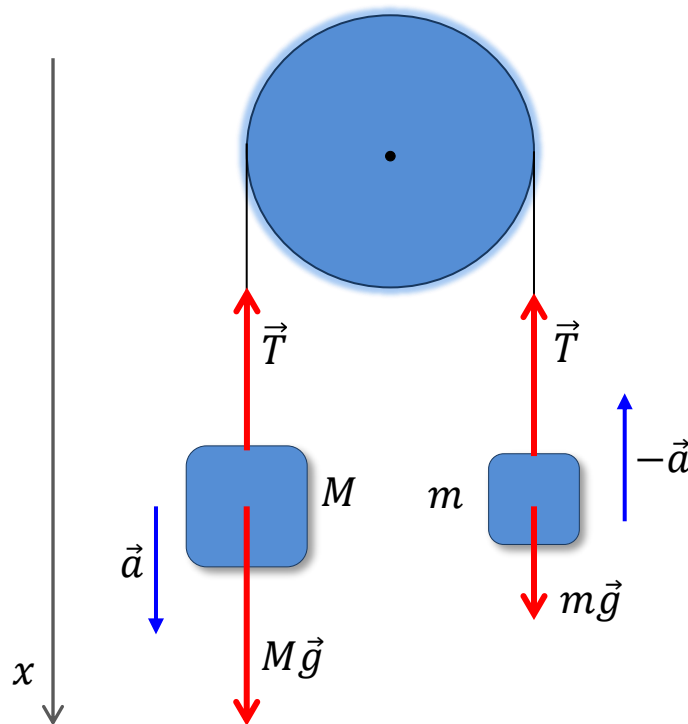
Покой, если $\tan \alpha < \mu$

$$N = mg \cos \alpha$$

$$F_{\text{тр}} = mg \sin \alpha$$

$$a = 0$$

ДВИЖЕНИЕ СВЯЗАННЫХ ТЕЛ



$$\begin{cases} \vec{T} + M\vec{g} = M\vec{a} \\ \vec{T} + m\vec{g} = -m\vec{a} \end{cases}$$

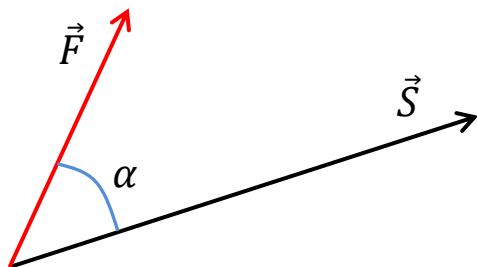
В проекциях на ось x :

$$\begin{cases} -T + Mg = Ma \\ -T + mg = -ma \end{cases}$$

$$\begin{cases} a = g \frac{M - m}{M + m} \\ T = \frac{2Mmg}{M + m} \end{cases}$$



РАБОТА И КИНЕТИЧЕСКАЯ ЭНЕРГИЯ



$$A = \vec{F} \cdot \vec{S} = F \cdot S \cdot \cos \alpha$$

В общем случае

$$A = \int_{(1)}^{(2)} \vec{F} d\vec{S}$$

Кинетическая энергия материальной точки или поступательно движущегося тела: $E = \frac{mv^2}{2}$.

Теорема о кинетической энергии

$$F = ma = m \frac{v_2 - v_1}{\Delta t} \Rightarrow F \left(\frac{v_2 + v_1}{2} \right) \Delta t = m \left(\frac{v_2 + v_1}{2} \right) (v_2 - v_1) \Rightarrow A = F \cdot S = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2}$$

Приращение кинетической энергии тела равно совершенной над ним работе.

$$\frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = A$$

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

Потенциальная энергия – скалярная физическая величина, характеризующая определенный вид взаимодействия в механической системе (гравитационного, электромагнитного).

Работа равна убыли потенциальной энергии: $A = E_{p1} - E_{p2}$.

Потенциальная энергия силы тяжести вблизи поверхности земли: $E_p = mgh$, где

m – масса тела,

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения,

h – высота тела относительно произвольно выбранного начала отсчета.

Работа силы тяжести: $A = mgh_1 - mgh_2$

Потенциальная энергия силы упругости сжатой пружины $E_p = \frac{kx^2}{2}$, где

k – жесткость пружины,

x – деформация пружины (отклонение от положения равновесия).

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

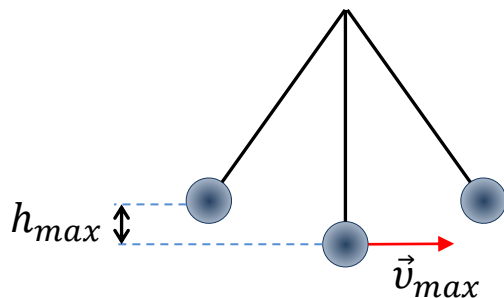
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Механическая энергия системы – это сумма кинетической и потенциальной энергии всех ее частей: $E_M = E_k + E_p$.

Суммарная работа в изолированной системе, в которой действуют только консервативные силы, равна, с одной стороны, приращению кинетической энергии, с другой стороны, убыли потенциальной энергии:

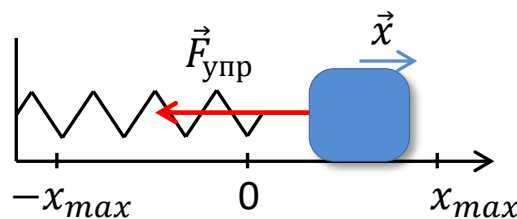
$$A = E_{k2} - E_{k1} = E_{p1} - E_{p2} \Rightarrow E_{k2} + E_{p2} = E_{k1} + E_{p1} = E_M = \text{const}$$

Таким образом, в изолированной системе, в которой действуют только консервативные силы, суммарная механическая энергия сохраняется.



$$E_M = mgh_1 + \frac{mv_1^2}{2} = mgh_2 + \frac{mv_2^2}{2} = \text{const}$$

$$E_M = mgh_{\text{max}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$



$$E_M = \frac{kx_1^2}{2} + \frac{mv_1^2}{2} = \frac{kx_2^2}{2} + \frac{mv_2^2}{2} = \text{const}$$

$$E_M = \frac{kx_{\text{max}}^2}{2} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$$

ИМПУЛЬС ТЕЛА И ИМПУЛЬС СИЛЫ

Импульс тела – векторная величина, равная произведению массы тела на скорость:

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

Импульс силы – произведение силы на время действия: $\vec{F}\Delta t$.

Изменение импульса тела равно импульсу силы: $\Delta\vec{p} = \vec{F}\Delta t$

$$\Delta\vec{p} = m\Delta\vec{v} = m\frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}\Delta t = \vec{F}\Delta t$$

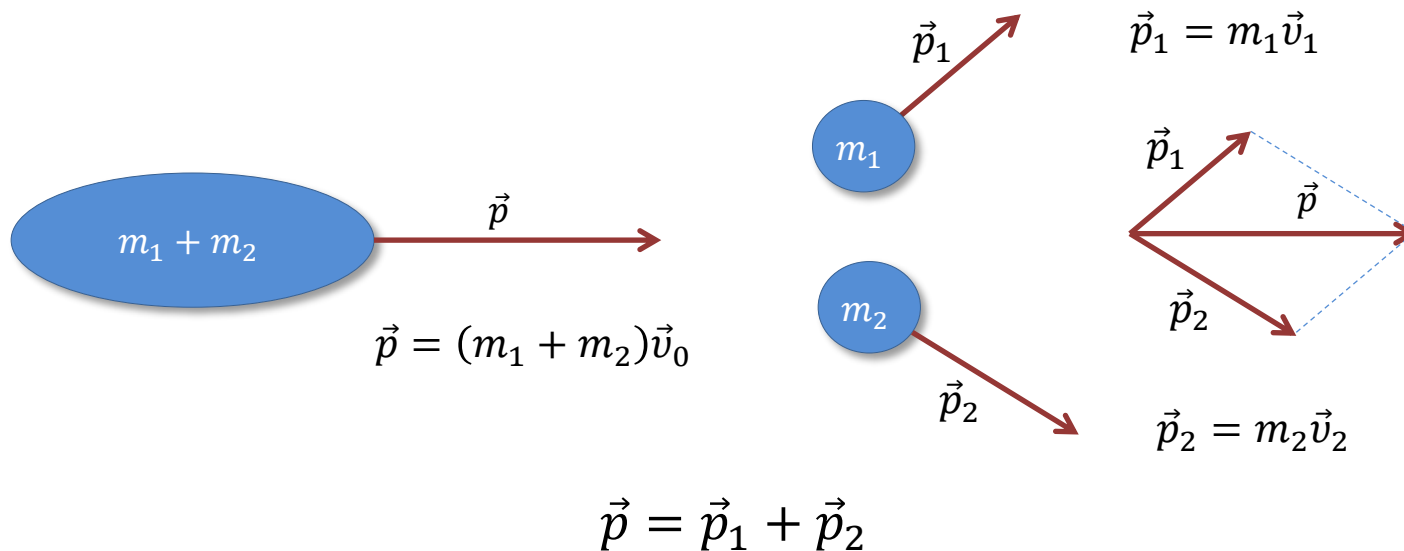
ЗАКОН СОХРАНЕНИЯ ИМПУЛЬСА

Если векторная сумма сил, действующих на систему, равна нулю, то импульс сохраняется.

Если сумма проекций сил, действующих на систему, равна нулю, то проекция импульса сохраняется.

$$\sum \vec{F} = 0 \Rightarrow \sum \vec{p} = \text{const}$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow \sum p_x = \text{const}$$



УПРУГИЕ И НЕУПРУГИЕ СТОЛКНОВЕНИЯ

При абсолютно упругом столкновении сохраняется импульс и кинетическая энергия:

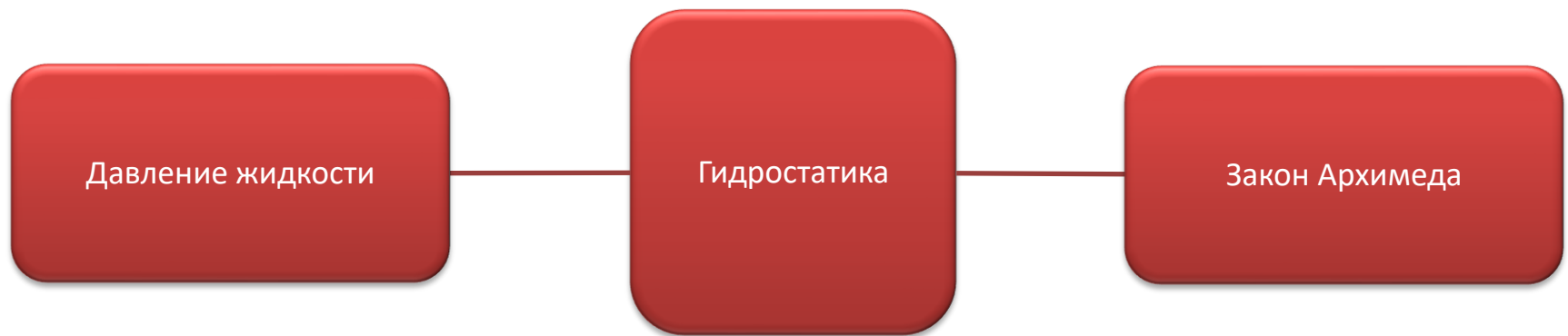


$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{u}_1 + m_2 \vec{u}_2 \\ \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} = \frac{m_1 u_1^2}{2} + \frac{m_2 u_2^2}{2} \end{cases}$$

При абсолютно неупругом столкновении сохраняется только импульс. Кинетическая энергия частично переходит в тепло:



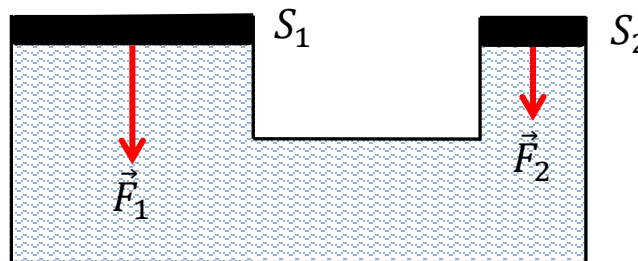
$$\begin{cases} m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \vec{u} \\ Q = \frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2} - \frac{(m_1 + m_2) u^2}{2} \end{cases}$$



ДАВЛЕНИЕ ЖИДКОСТИ

Давление жидкости – это сила, действующая на единицу площади поверхности со стороны жидкости: $p = \frac{F}{S}$. Единица давления – Паскаль. $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$.

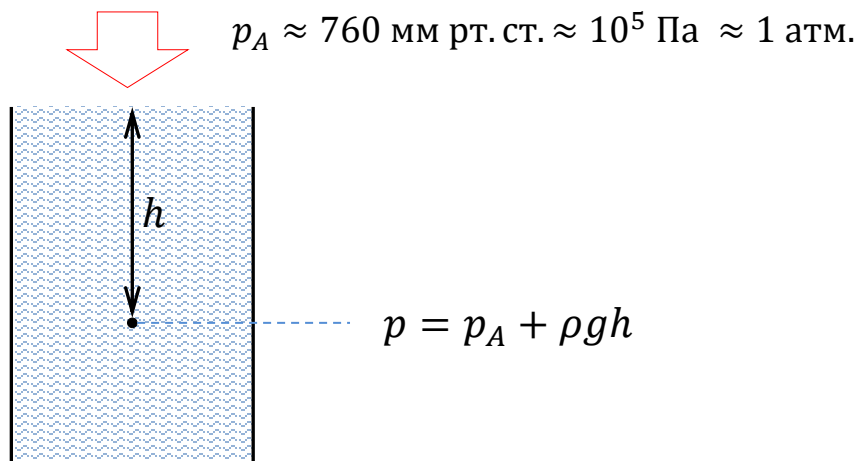
Закон Паскаля: давление, создаваемое поверхностными силами, передается без изменения в каждую точку жидкости.



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

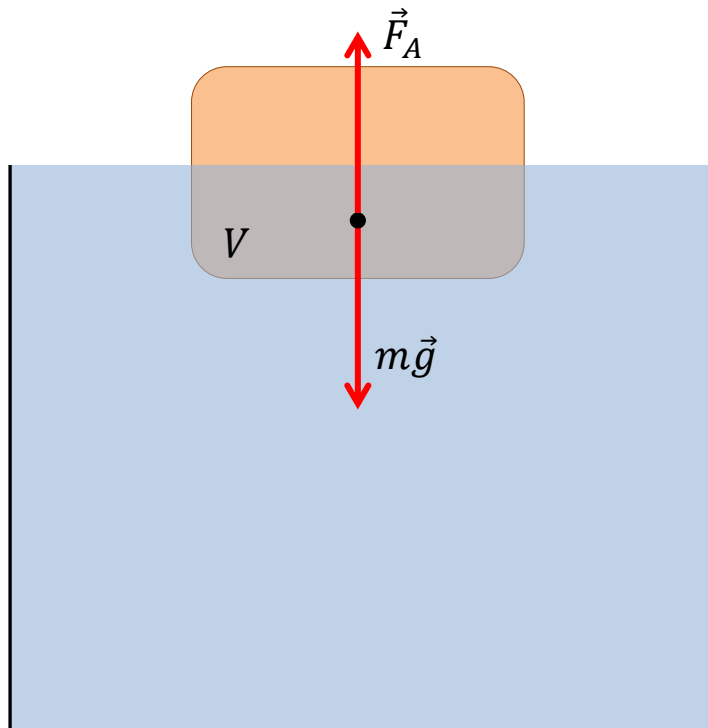
$$S_1 \Delta h_1 = S_2 \Delta h_2$$

Давление, вызванное силой тяжести, действующей на жидкость, называют гидростатическим давлением: $p = \rho g h$, где ρ – плотность жидкости, g – ускорение свободного падения, h – глубина.



ЗАКОН АРХИМЕДА

На всякое тело, погруженное в жидкость, действует со стороны этой жидкости выталкивающая сила, равная по модулю весу вытесненной телом жидкости, направленная по вертикали вверх и приложенная к центру тяжести вытесненного объема.



$$F_A = \rho g V$$

ρ – плотность жидкости,
 V – объем вытесненной жидкости,
 g – ускорение свободного падения.

$$F_A = mg \text{ – условие равновесия}$$

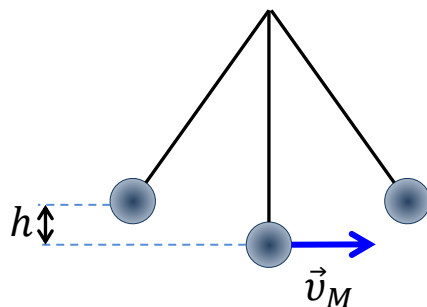


ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Гармонические колебания — это колебания, при которых физическая величина меняется во времени по синусоидальному закону: $x(t) = A \cos(\omega t + \varphi)$ или $x(t) = A \sin(\omega t + \varphi)$, где $x(t)$ — значение колеблющейся величины в момент времени t , A — амплитуда, ω — круговая частота [с^{-1}], φ — начальная фаза колебаний, $(\omega t + \varphi)$ — фаза колебаний.

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \text{ — период колебаний [с]} \quad f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \text{ — частота [Гц]}$$

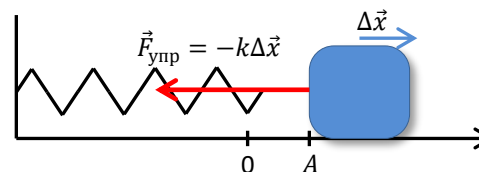
Математический маятник



$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$E_M = mgh = \frac{mv_M^2}{2} = \text{const}$$

Пружинный маятник



$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}; \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

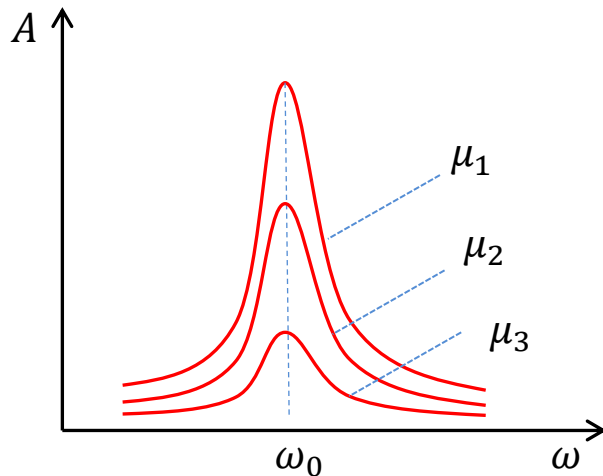
$$E_M = \frac{kA^2}{2} = \frac{mv_A^2}{2} = \text{const}$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ И РЕЗОНАНС

Вынужденные колебания – колебания, совершаемые телом под действием внешней периодически изменяющейся силы.

- Внешняя периодически изменяющаяся сила называется вынуждающей силой.
- Частота установившихся вынужденных колебаний равна частоте вынуждающей силы.
- Вынужденные колебания — незатухающие.

Явление резонанса заключается в том, что амплитуда установившихся вынужденных колебаний достигает наибольшего значения, когда частота вынуждающей силы равна собственной частоте колебательной системы.



ω – частота вынуждающей силы

ω_0 – собственная частота колебаний системы

A – амплитуда установившихся вынужденных колебаний

μ_1, μ_2, μ_3 – коэффициенты трения.

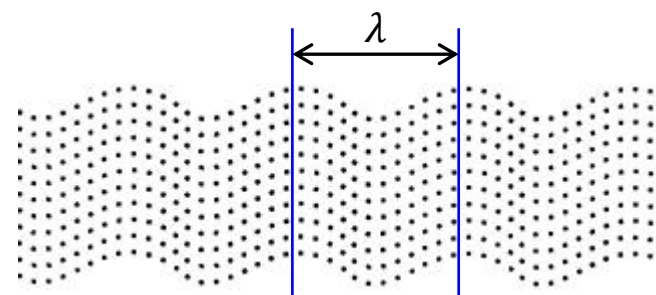
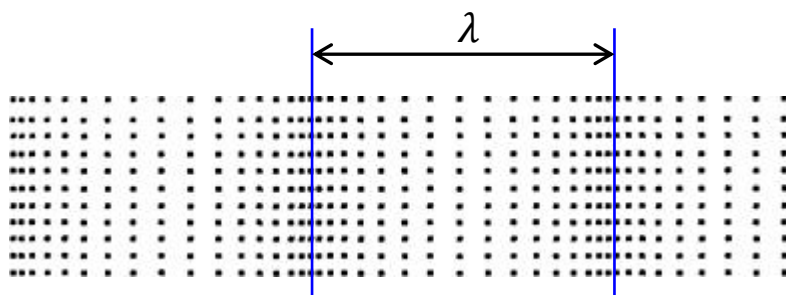
$$\mu_3 > \mu_2 > \mu_1$$

УПРУГИЕ ВОЛНЫ И ЗВУК

Упругие волны — это возмущения (отклонения частиц от положений равновесия), распространяющиеся в твердой, жидкой и газообразной средах.

- Волны, в которых колебания происходят вдоль направления распространения, называются продольными.
- Волны, в которых колебания происходят перпендикулярно направлению распространения, называются поперечными.

Длина волны – расстояние, на которое распространяется волна за время, равное периоду колебаний.



$\lambda = vT$ – длина волны [м], v – скорость волны [м/с], T – период колебаний в волне [с],

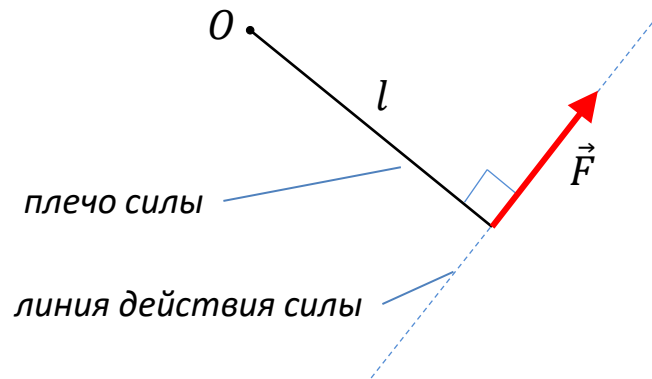
$\nu = \frac{1}{T}$ – частота волны [Гц].

Звук – упругие волны, воспринимаемые человеческим ухом, в диапазоне примерно от 16 Гц до 20 кГц. Волны, с частотой менее 16 Гц, называют инфразвуком, более 20 кГц – ультразвуком

УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ТВЕРДОГО ТЕЛА

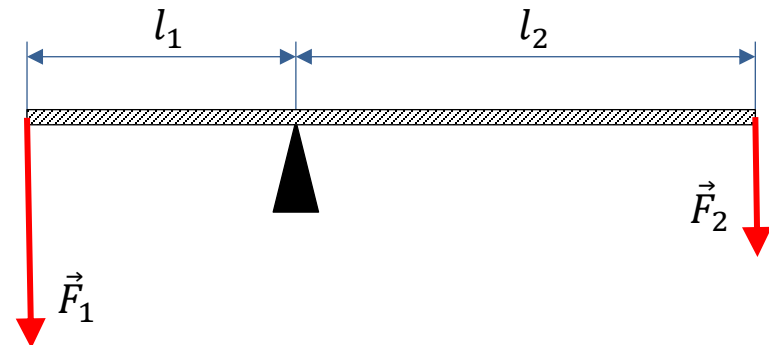
1. Векторная сумма сил, действующих на тело, равна нулю: $\sum \vec{F} = 0$.
2. Сумма моментов всех сил относительно любой точки равна нулю: $\sum M = 0$.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОМЕНТА СИЛЫ



$$M = F \cdot l$$

УСЛОВИЕ РАВНОВЕСИЯ РЫЧАГА



$$F_1 \cdot l_1 = F_2 \cdot l_2$$



ПОСТУЛАТЫ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Первый постулат (Принцип относительности Эйнштейна)

В любой инерциальной системе любые физические явления при их тождественной постановке происходят одинаково; все законы природы и уравнения, их описывающие, инвариантны (неизменны) при переходе от одной инерциальной системы отсчета к другой.

Второй постулат (Принцип инвариантности скорости света)

Скорость света в вакууме является величиной постоянной и одинаковой во всех инерциальных системах отсчета, она не зависит от движения источника света и наблюдателя.

ОТНОСИТЕЛЬНОСТЬ ВРЕМЕНИ И РАССТОЯНИЙ

Собственное время τ_0 – это время, отсчитываемое по часам, движущимся вместе с телом.

Промежуток времени по часам, относительно которых тело движется:

$$\tau = \frac{\tau_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Собственная длина стержня l_0 – это длина покоящегося стержня.
Длина движущегося стержня:

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

ВЗАИМОСВЯЗЬ МАССЫ, ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА

Масса покоя m_0 — это масса покоящегося тела.

Масса движущегося со скоростью v тела $m = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

Энергия покоя $E_0 = m_0 c^2$.

Полная энергия движущегося тела $E = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

Кинетическая энергия $E_k = E - E_0 = mc^2 - m_0 c^2 = \left(\frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}} - 1 \right) m_0 c^2$

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

Связь энергии и импульса $E^2 = m_0^2 c^4 + p^2 c^2$.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ФИЗИКИ

Постоянная Авогадро $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$ – число атомов в 12 граммах изотопа углерода-12.

Один моль — такое количество вещества, в котором число частиц (атомов или молекул) равно постоянной Авогадро.

Давление $p = \frac{F}{S} \text{ [Па]}$ – сила, действующая на единицу площади поверхности.

Абсолютная температура $T \text{ [K]} = t[^\circ\text{C}] + 273 \text{ [K]}$.

МОДЕЛЬ ИДЕАЛЬНОГО ГАЗА

Основное уравнение молекулярно-кинетической теории идеального газа	$p = \frac{2}{3} n \varepsilon_{kp} = \frac{1}{3} n m v^2$
Уравнение Менделеева – Клапейрона	$\frac{pV}{T} = R \nu$
Зависимость давления газа от температуры и концентрации	$p = nkT$
Средняя кинетическая энергия поступательного движения одной частицы газа (атома или молекулы)	$\varepsilon_{kp} = \frac{3}{2} kT$
Средняя кинетическая энергия поступательного и вращательного движения одной частицы газа (атома или молекулы)	$\varepsilon_k = \frac{i}{2} kT$
Внутренняя энергия идеального газа (сумма кинетических энергий всех его частиц)	$U = \frac{i}{2} T R \nu = \frac{i}{2} P V$

p – давление [Па]; n – концентрация [$1/\text{м}^3$]; V – объем [м^3]; T – абсолютная температура [К];

$\nu = \frac{m}{M}$ – количество газа [моль], где m – масса газа, M – его молярная масса;

U – внутренняя энергия идеального газа;

$\varepsilon_{kp} = \frac{mv^2}{2}$ – средняя кинетическая энергия поступательного движения частиц газа [Дж];

ε_k – средняя кинетическая энергия поступательного и вращательного движения частиц газа [Дж];

$R = 8,31$ Дж/(моль · К) – универсальная газовая постоянная;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К – постоянная Больцмана;

i – число степеней свободы частиц газа:

для одноатомных $i = 3$, для двухатомных $i = 5$, для трех- и более атомных $i = 6$.

ПЕРВЫЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

Количество теплоты, подведенное к системе, идет на изменение ее внутренней энергии и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = \Delta U + A$$

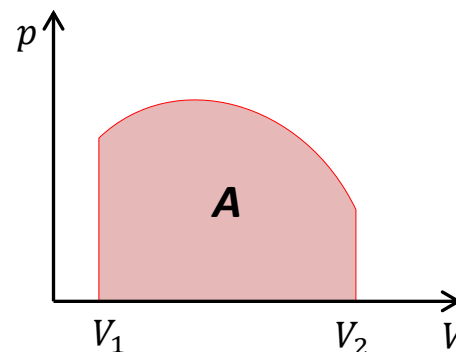
Изменение внутренней энергии газа

$$\Delta U = \frac{i}{2} R \nu \Delta T = \frac{i}{2} \Delta(PV) = \begin{cases} \frac{i}{2} p \Delta V, \text{ если } p = \text{const} \\ \frac{i}{2} V \Delta p, \text{ если } V = \text{const} \end{cases}$$

Работа газа

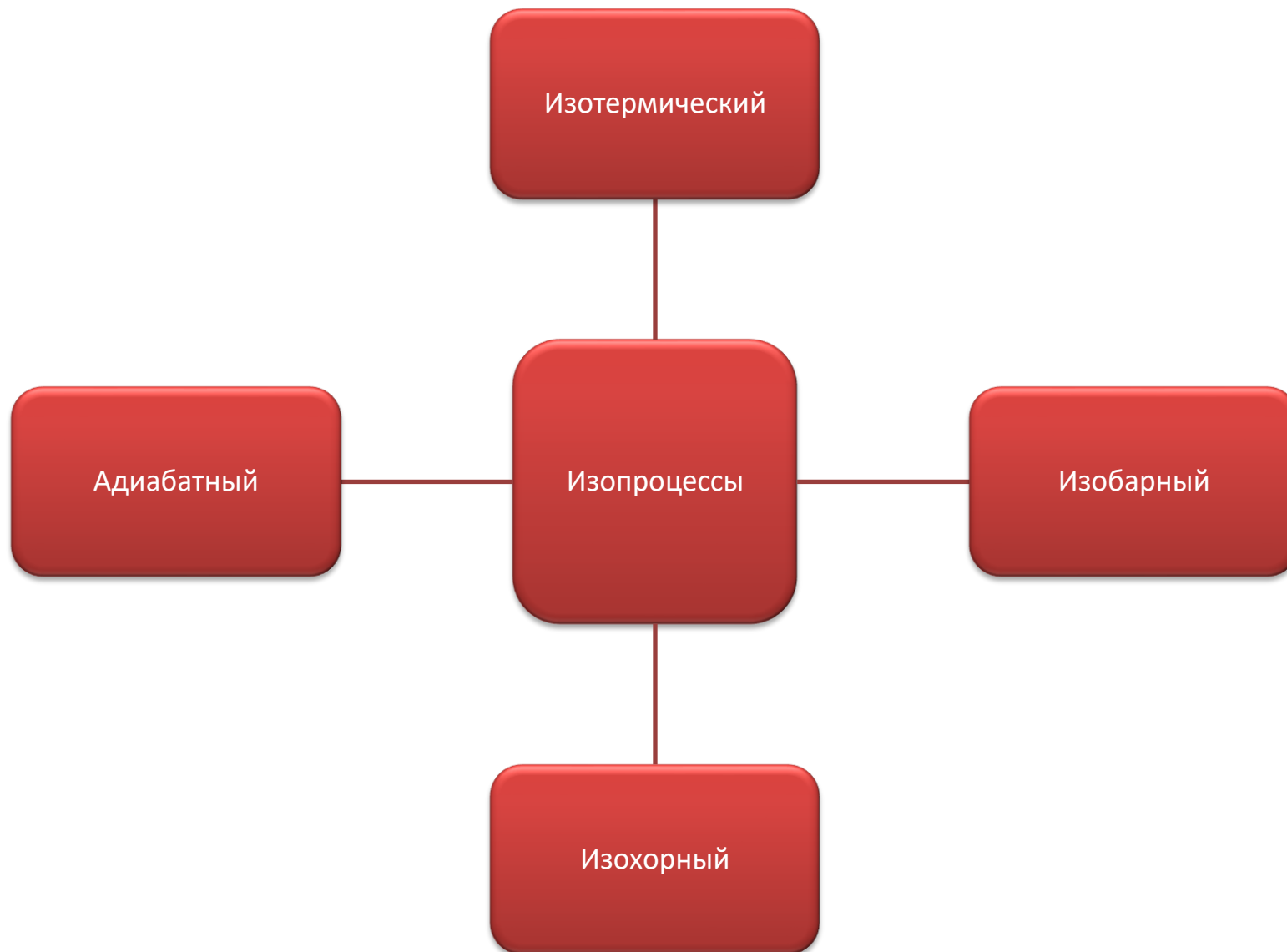
В общем случае $A = \int_{V_1}^{V_2} p dV$

Для изобарного процесса ($p = \text{const}$) $A = p \Delta V$



Работа газа положительна, работа над газом отрицательна, если газ расширяется

Работа газа отрицательна, работа над газом положительна, если газ сжимается



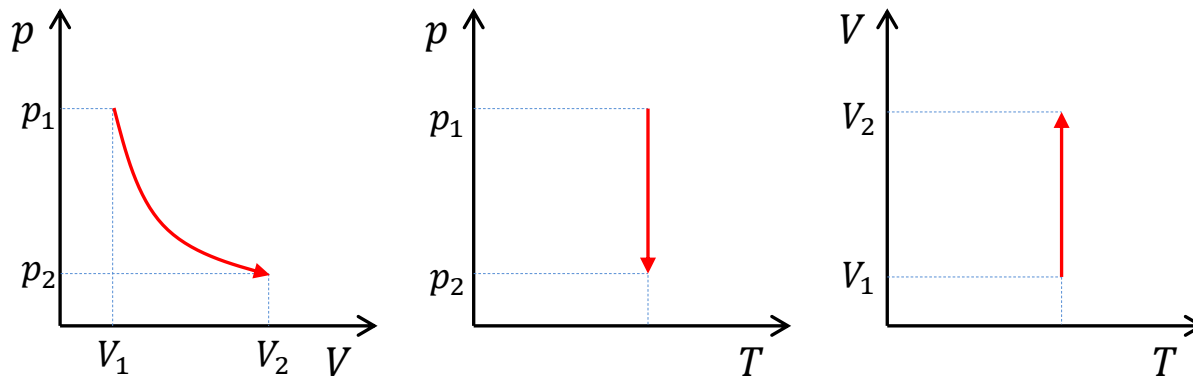
ИЗОТЕРМИЧЕСКИЙ ПРОЦЕСС

$$T = \text{const}$$

Закон Бойля—Мариотта: $p_1 V_1 = p_2 V_2$

$$\Delta U = 0 \quad A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V} dV = \nu RT \cdot \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \cdot \ln \frac{p_1}{p_2}$$

$$Q = A$$



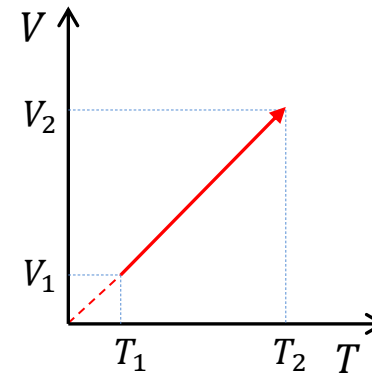
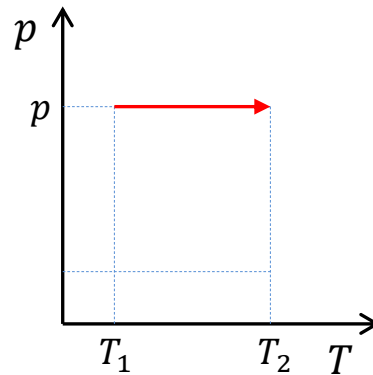
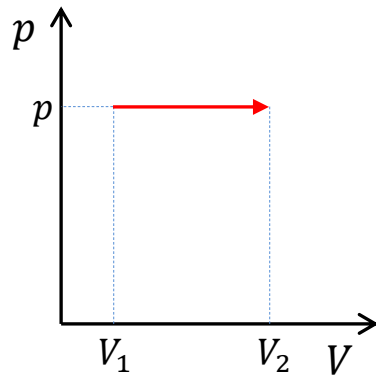
ИЗОБАРНЫЙ ПРОЦЕСС

$$p = \text{const}$$

$$\text{Закон Гей-Люссака: } \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} R \nu \Delta T = \frac{i}{2} p \Delta V \qquad A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = p \Delta V = R \nu \Delta T$$

$$Q = \Delta U + A = \frac{i+2}{2} p \Delta V = \frac{i+2}{2} R \nu \Delta T$$



ИЗОХОРНЫЙ ПРОЦЕСС

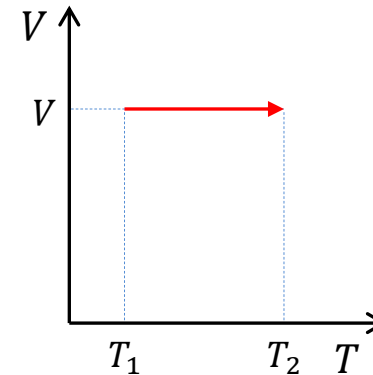
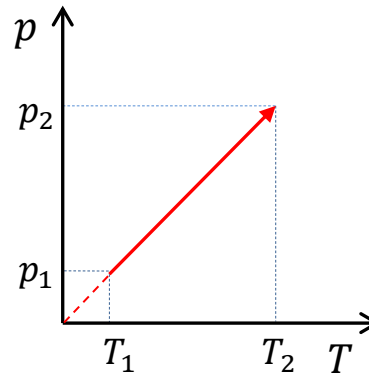
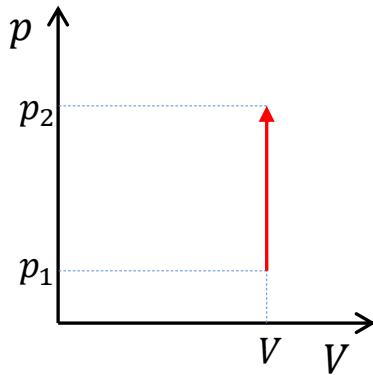
$$V = \text{const}$$

Закон Шарля: $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$

$$\Delta U = \frac{i}{2} R \nu \Delta T = \frac{i}{2} V \Delta p$$

$$A = \int_{V_1}^{V_2} p dV = 0$$

$$Q = \Delta U = \frac{i}{2} V \Delta p = \frac{i}{2} R \nu \Delta T$$

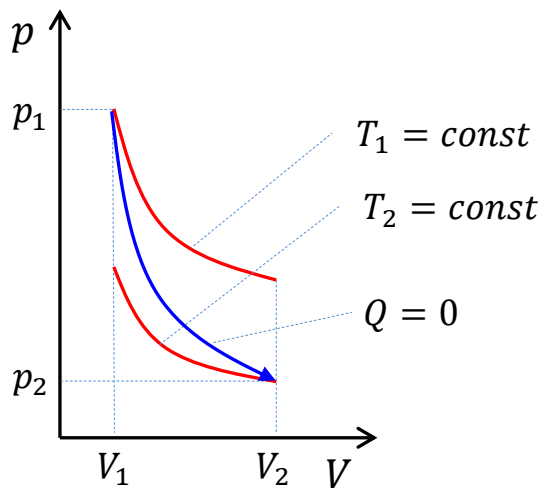


АДИАБАТНЫЙ ПРОЦЕСС

Адиабатный процесс — термодинамический процесс в теплоизолированной системе ($Q = 0$).

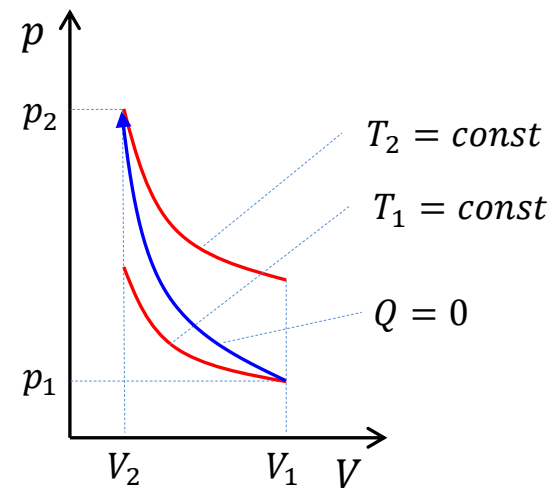
$$\Delta U + A = 0 \Rightarrow A = -\Delta U$$

Адиабатное расширение газа



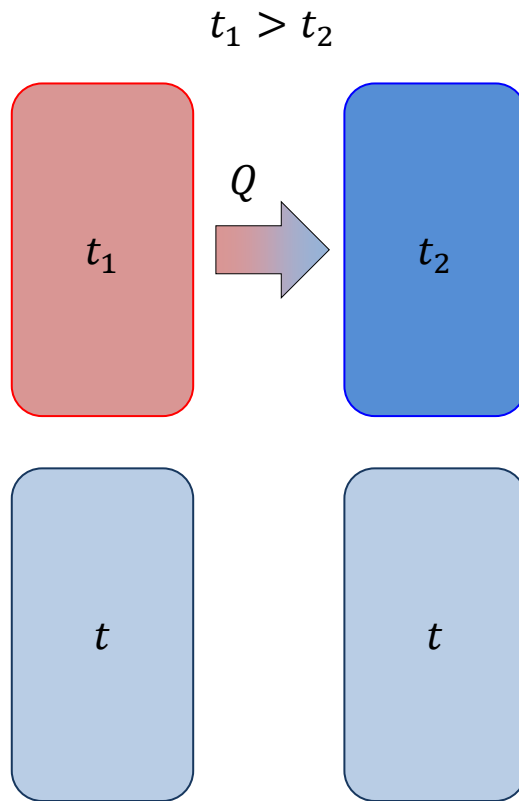
$$A = -\Delta U = -\frac{i}{2} R \nu \Delta T$$

Адиабатное сжатие газа



$$\Delta U = -A = \frac{i}{2} R \nu \Delta T$$

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС



m_1 – масса первого тела;
 c_1 – его удельная теплоемкость;
 t_1 – начальная температура.

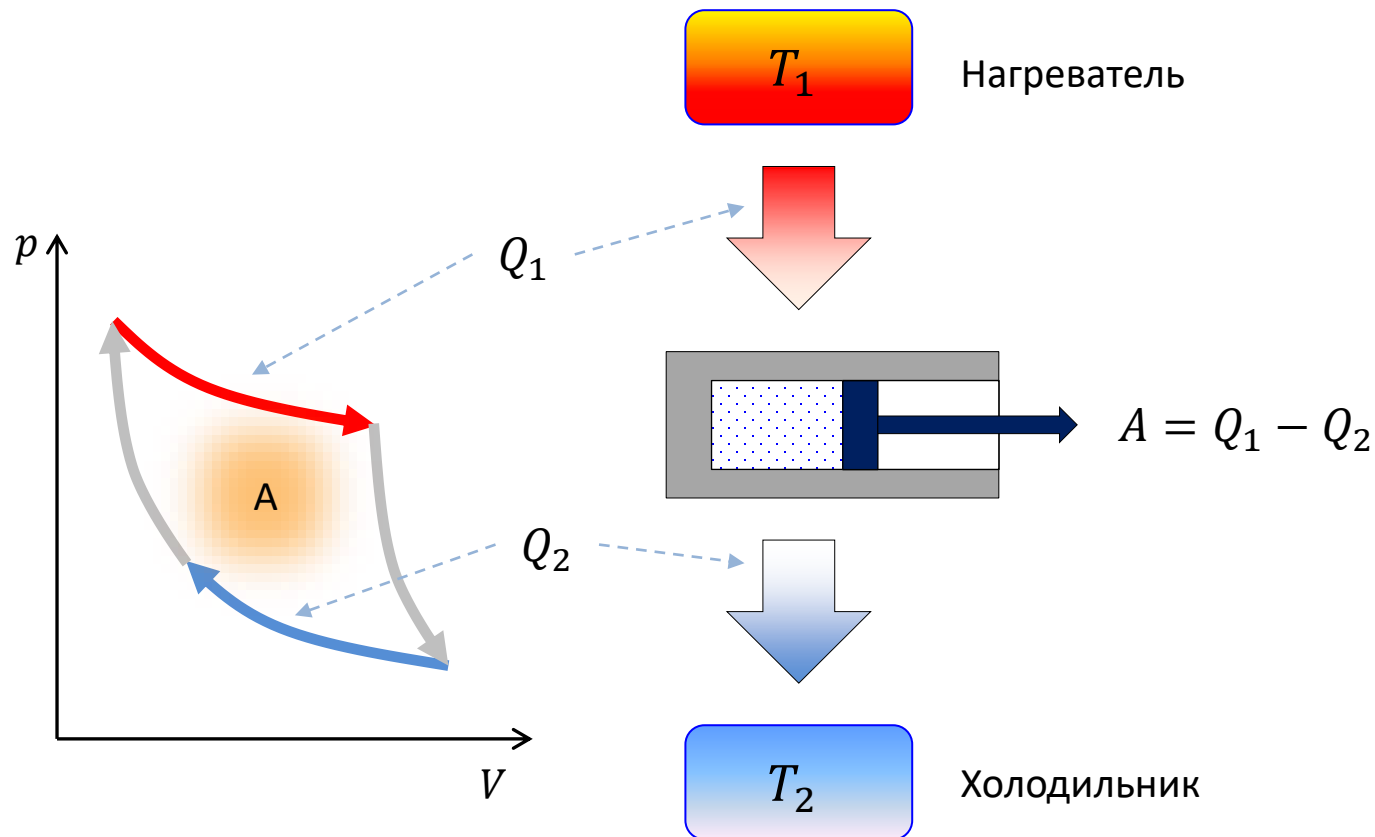
m_2 – масса второго тела;
 c_2 – его удельная теплоемкость;
 t_2 – начальная температура.

t – установившаяся температура в системе.

$$Q = m_1 c_1 (t_1 - t) = m_2 c_2 (t - t_2)$$

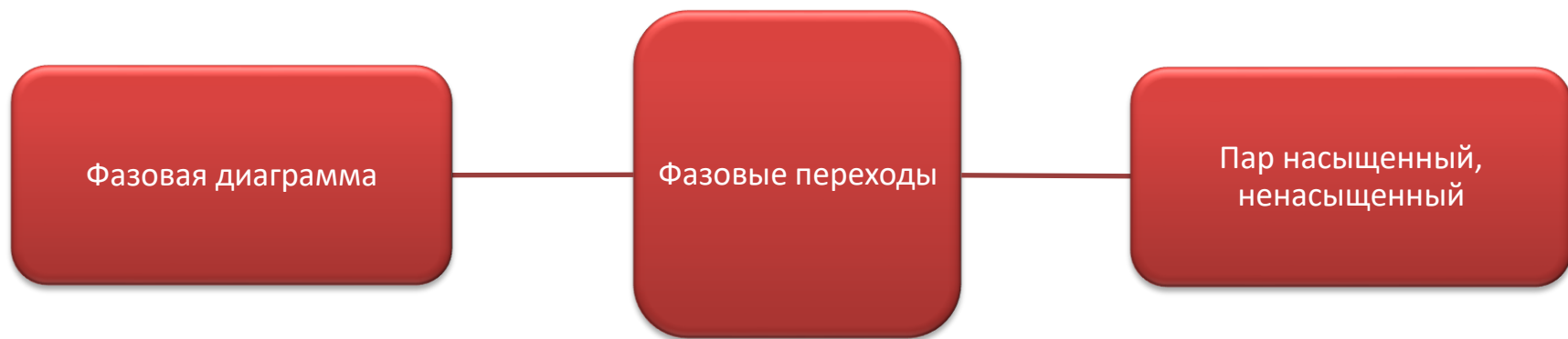
$$t = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2}{m_1 c_1 + m_2 c_2}$$

ТЕПЛОВОЙ ДВИГАТЕЛЬ

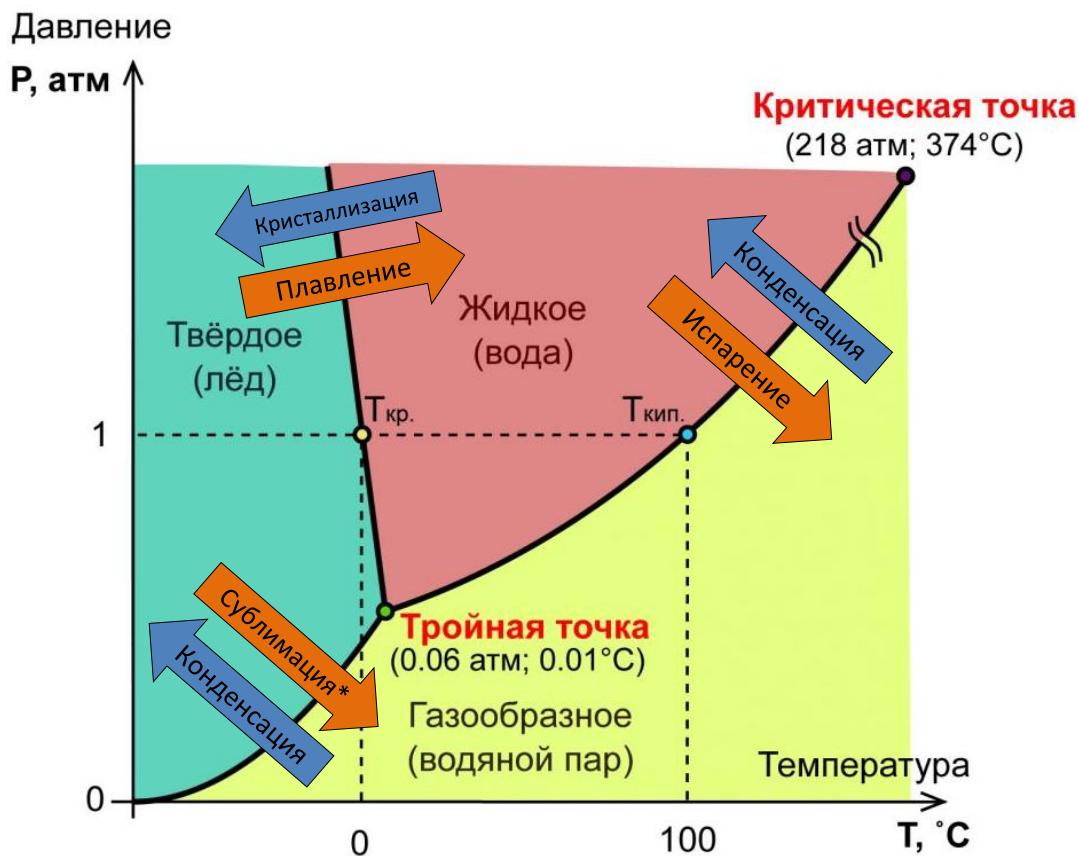


$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

$$T = t[^\circ\text{C}] + 273[\text{K}]$$



ФАЗОВАЯ ДИАГРАММА ВОДЫ



$$Q = \lambda m$$

λ – удельная теплота фазового перехода

вода отдает тепло вода получает тепло

*возгонка (синоним)

ПАР НАСЫЩЕННЫЙ, НЕНАСЫЩЕННЫЙ

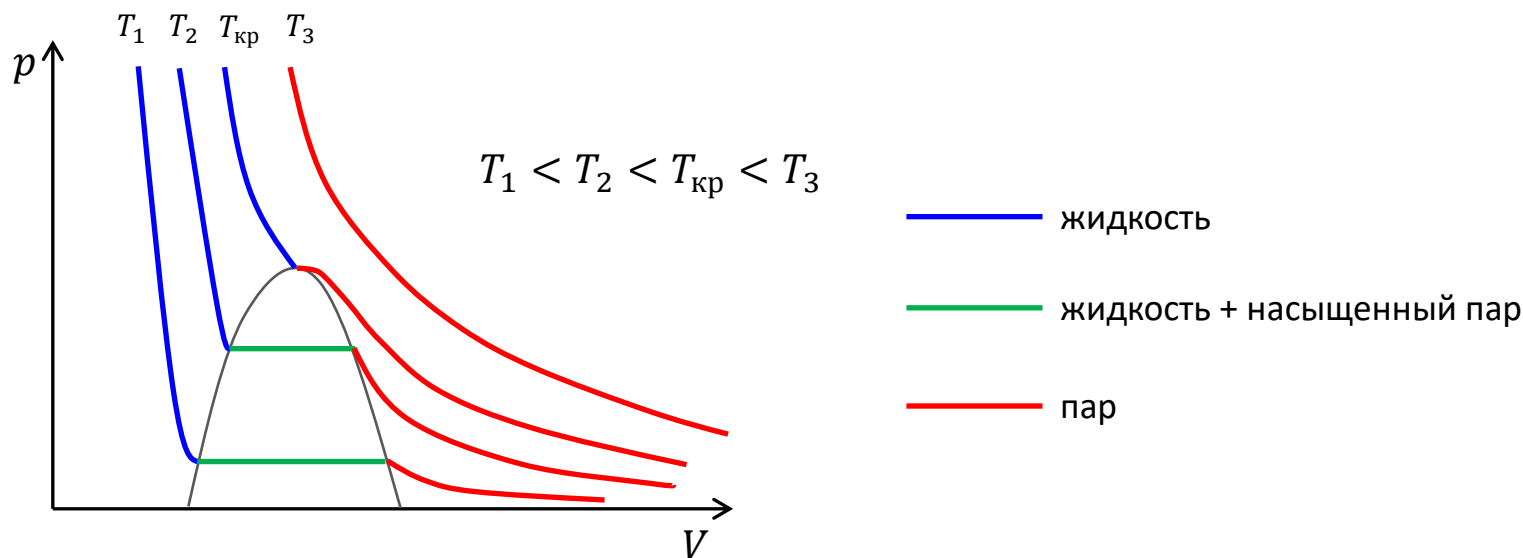
Давление насыщенного пара при данной температуре — максимальное давление, которое может иметь пар над жидкостью при этой температуре.

Относительная влажность воздуха — процентное отношение концентрации водяного пара в воздухе к концентрации насыщенного пара при той же температуре:

$$\eta = \frac{n}{n_{\text{нас.пар}}} \cdot 100\% = \frac{p}{p_{\text{нас.пар}}} \cdot 100\% = \frac{\rho}{\rho_{\text{нас.пар}}} \cdot 100\%$$

Температура кипения — температура, при которой давление насыщенного пара жидкости начинает превосходить внешнее давление на жидкость.

Изотермы сжижения пара



ВТОРОЙ ЗАКОН ТЕРМОДИНАМИКИ

В циклически действующем тепловом двигателе невозможно преобразовать все количество теплоты, полученное от нагревателя, в механическую работу.

СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИСТОЛКОВАНИЕ ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ

Замкнутая система многих частиц самопроизвольно переходит из более упорядоченного состояния в менее упорядоченное (из менее вероятного состояния в более вероятное).

Пример:

Диффузия — физическое явление, при котором происходит самопроизвольное взаимное проникновение частиц одного вещества в другое при их контакте (выравнивание концентраций).

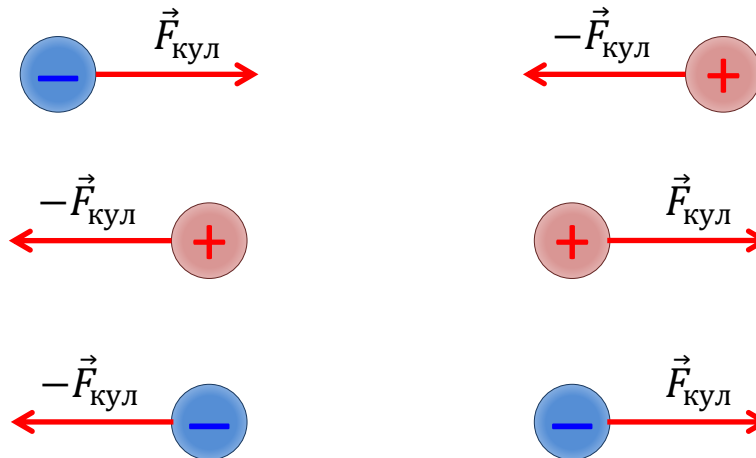


ЗАКОН КУЛОНА

Сила взаимодействия между двумя неподвижными точечными зарядами, находящимися в вакууме, прямо пропорциональна произведению модулей зарядов, обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними и направлена по прямой, соединяющей заряды:

$$F_{\text{кул}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}, \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

Разноименные заряды притягиваются, одноименные отталкиваются.



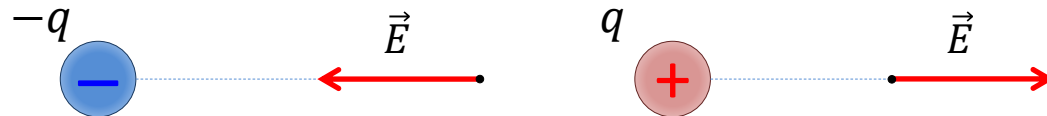
НАПРЯЖЕННОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Напряженность электростатического поля векторная физическая величина, равная отношению силы Кулона, с которой поле действует на пробный положительный заряд, помещенный в данную точку поля, к величине этого заряда:

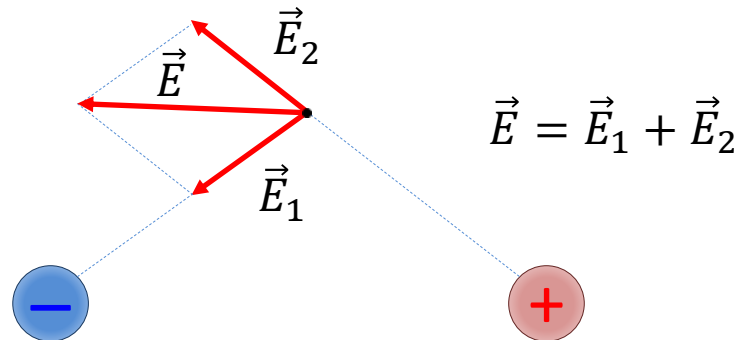
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \left[\frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right], \left[\frac{\text{В}}{\text{м}} \right] \Rightarrow \vec{F} = q\vec{E}$$

Напряженность поля точечного заряда

$$|\vec{E}| = k \frac{q}{r^2}$$



Напряженность поля системы зарядов в данной точке равна геометрической (векторной) сумме напряженностей полей, созданных в этой точке каждым зарядом в отдельности: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \dots + \vec{E}_n$.

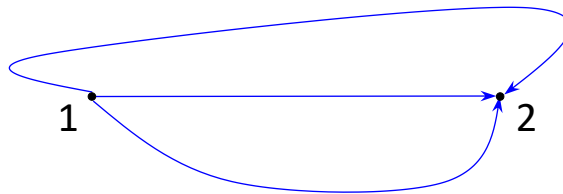


ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ

Потенциал в данной точке численно равен работе сил электростатического поля по перемещению единичного положительного заряда из этой точки в точку, принятую за нуль потенциала:

$$\varphi = \frac{A}{q} [\text{В}]$$

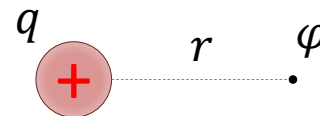
Работа, совершаемая силами электростатического поля при перемещении заряда q из точки 1 в точку 2, не зависит от траектории, а определяется только разностью потенциалов точек 1 и 2:



$$A_{12} = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

Потенциал электростатического поля точечного заряда q на расстоянии r от заряда:

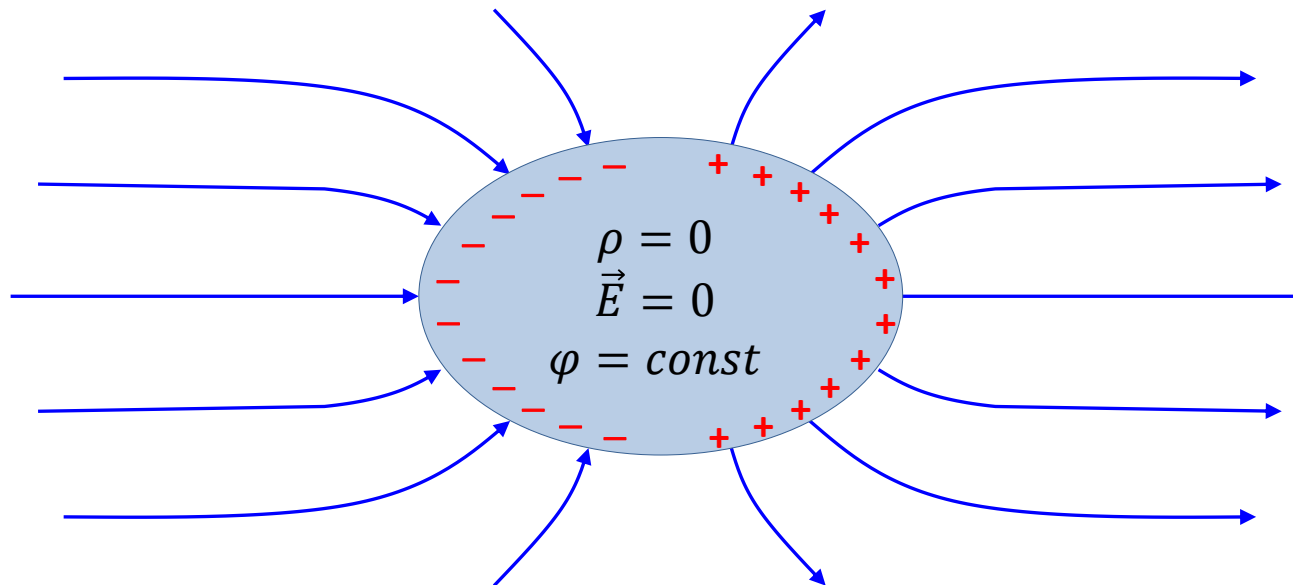
$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$



ПРОВОДНИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Проводник — вещество, в котором свободные заряды могут перемещаться по всему объему:

- напряженность поля внутри проводника, помещенного в электростатическое поле, равна нулю;
- объемная плотность заряда равна нулю;
- заряды перераспределяются по поверхности проводника;
- поверхность металла — эквипотенциальная поверхность (потенциал всех точек проводника одинаков);
- линии напряженности электростатического поля перпендикулярны поверхности металла.



ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Диэлектрик — вещество, содержащее только связанные заряды.

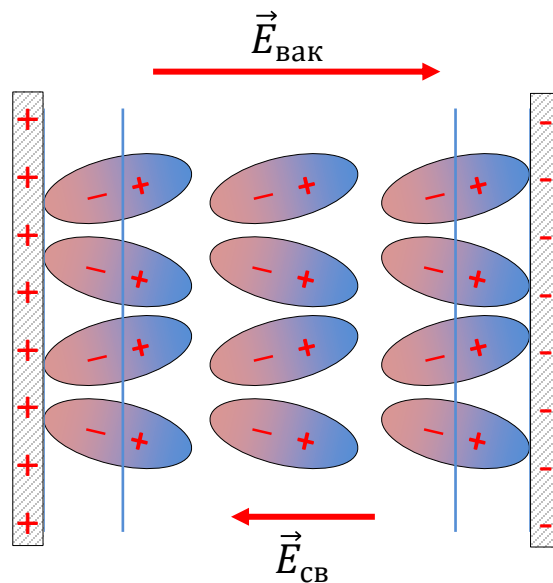
Связанные заряды — разноименные заряды, входящие в состав атомов (или молекул), которые не могут перемещаться под действием электрического поля независимо друг от друга.

Полярный диэлектрик состоит из полярных молекул, а неполярный — из неполярных.

Поляризация диэлектрика — процесс ориентации диполей или появление под действием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей.

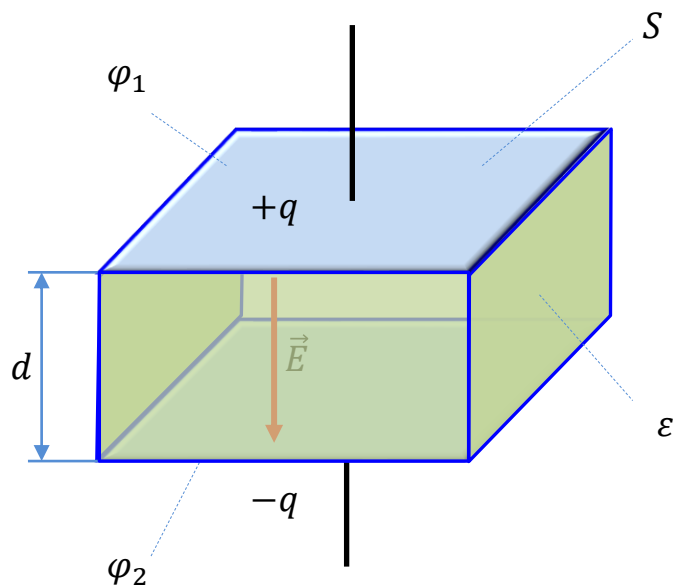
Относительная диэлектрическая проницаемость среды ε — число, показывающее, во сколько раз напряженность электростатического поля в вакууме больше, чем в однородном диэлектрике.

$$\varepsilon = \frac{E_{\text{вак}}}{E}$$



$$\vec{E} = \vec{E}_{\text{вак}} + \vec{E}_{\text{св}} = \frac{\vec{E}_{\text{вак}}}{\varepsilon}$$

КОНДЕНСАТОР



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

Емкость конденсатора

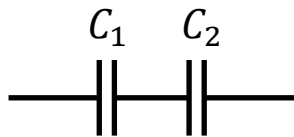
$$C = \frac{q}{U} = \frac{S\varepsilon\varepsilon_0}{d} \text{ [Ф]}$$

ε – относительная диэлектрическая проницаемость

Энергия электрического поля конденсатора

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

Последовательное соединение конденсаторов

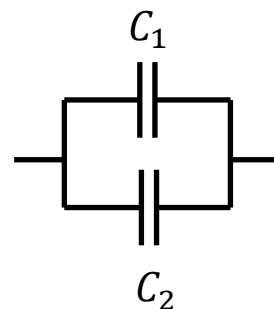


$$q_1 = q_2 = q$$

$$U = U_1 + U_2 = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} = q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

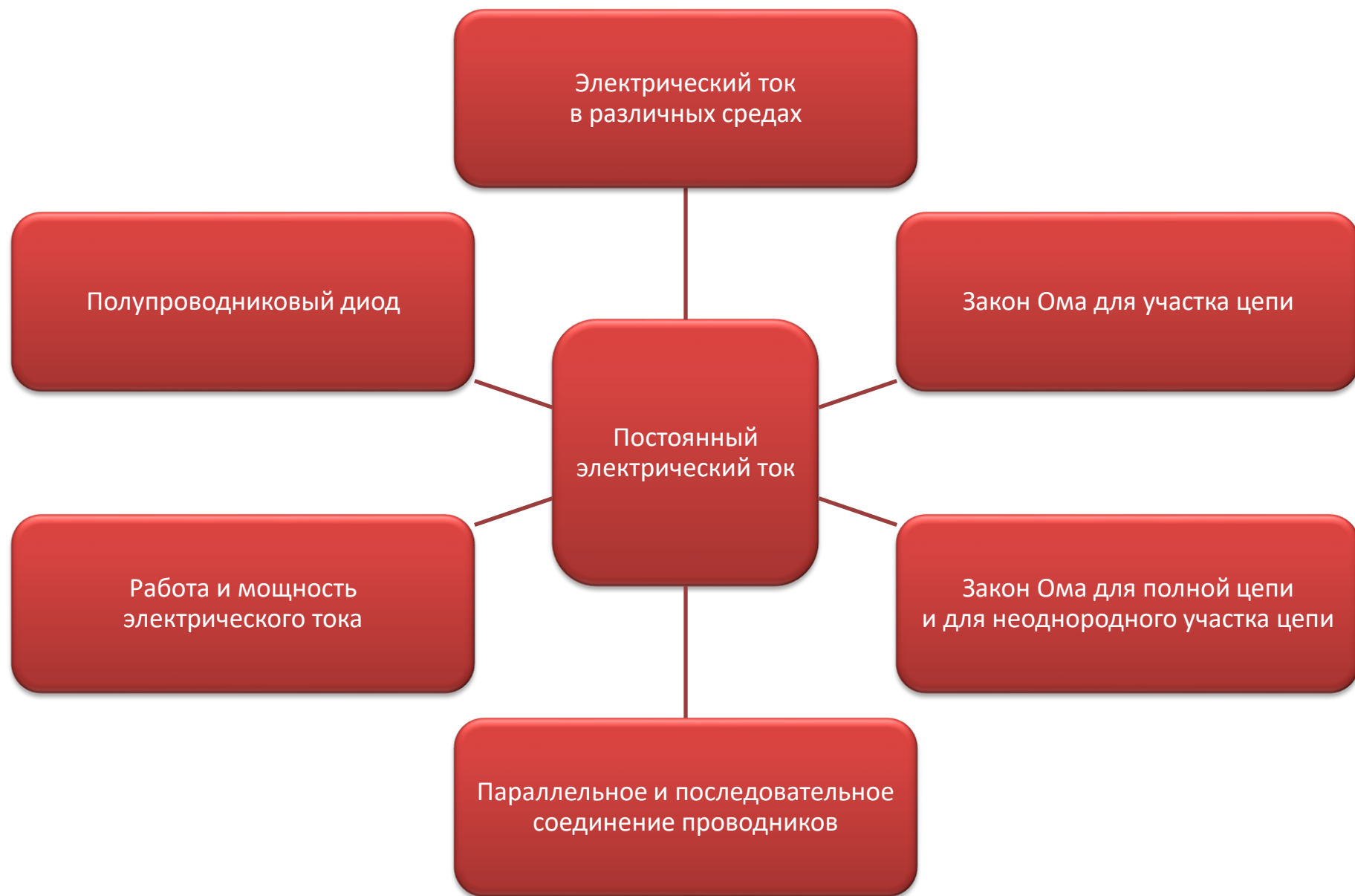
Параллельное соединение конденсаторов



$$U_1 = U_2 = U$$

$$Q = Q_1 + Q_2 = UC_1 + UC_2 = U(C_1 + C_2)$$

$$C = C_1 + C_2$$



ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗЛИЧНЫХ СРЕДАХ

Электрический ток — упорядоченное (направленное) движение заряженных частиц (свободных носителей заряда).

Сила тока — электрический заряд, прошедший через поперечное сечение проводника за единицу времени:

$$I = \frac{q}{t} \text{ [A]}$$

Плотность тока — сила тока через единицу поперечного сечения проводника:

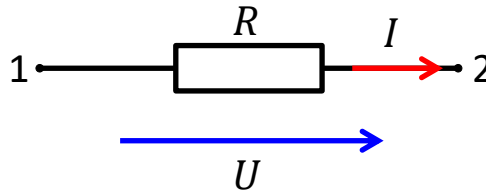
$$j = \frac{I}{S} \text{ [A/м}^2\text{]}$$

Проводящая среда	Свободные носители заряда
Металл	Электроны
Ионизированный газ (плазма)	Положительно заряженные ионы и электроны
Раствор электролита	Положительные ионы (катионы), отрицательные ионы (анионы)
Чистый полупроводник	Дырки (положительные), электроны (отрицательные)
Полупроводник n-типа	Электроны (преимущественно)
Полупроводник p-типа	Дырки (преимущественно)

ЗАКОН ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ

Сила тока в однородном проводнике прямо пропорциональна приложенному напряжению и обратно пропорциональна сопротивлению проводника:

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



$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

Зависимость электрического сопротивления от геометрических размеров и материала проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S}, \quad \text{где}$$

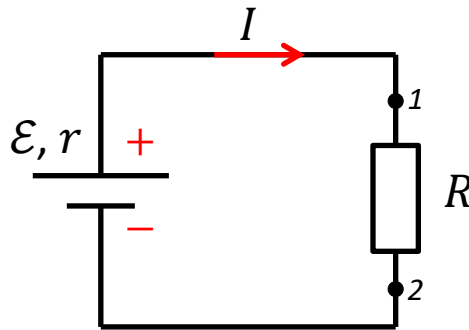
ρ – удельное сопротивление, S – площадь поперечного сечения, l – длина проводника.

Зависимость удельного сопротивления металлического проводника от температуры:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta T), \quad \text{где } \alpha \text{ – температурный коэффициент сопротивления.}$$

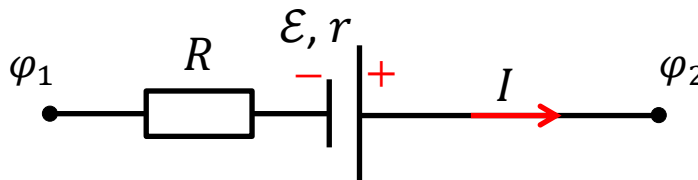
ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ

Сила тока в замкнутой цепи прямо пропорциональна ЭДС источника и обратно пропорциональна полному сопротивлению цепи:



$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \Rightarrow U = \varphi_1 - \varphi_2 = IR = \mathcal{E} - Ir$$

ЗАКОН ОМА ДЛЯ НЕОДНОРОДНОГО УЧАТСКА ЦЕПИ

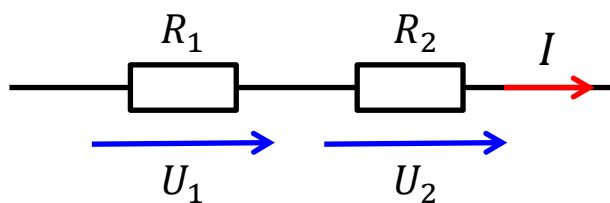


$$I = \frac{\mathcal{E} + \varphi_1 - \varphi_2}{R + r}$$

$\mathcal{E} = \frac{A}{q}$, где $\mathcal{E}$ – величина ЭДС (электродвижущей силы),

A – работа по перемещению заряда q против сил электрического поля.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



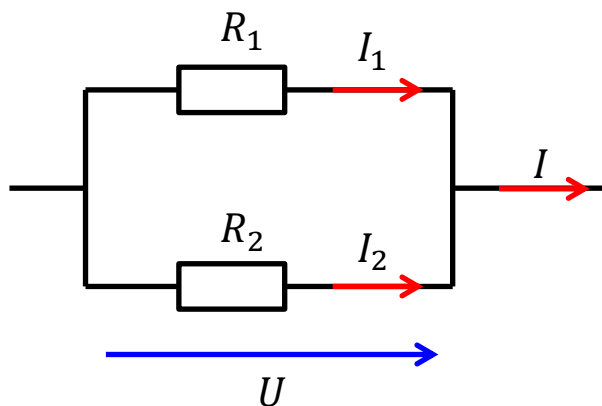
$$I = I_1 = I_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ПРОВОДНИКОВ



$$U = U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

РАБОТА И МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Работа электрического тока — работа, совершаемая электрическим полем при упорядоченном движении зарядов в проводнике.

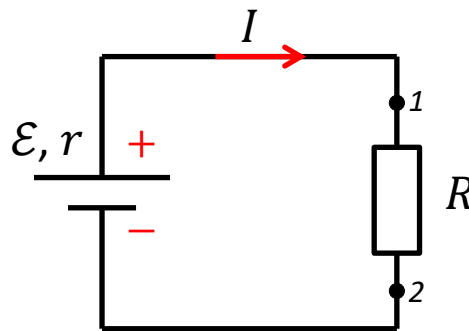
Количество теплоты, выделяющееся в проводнике, равно работе электрического поля:

$$Q = A = Uq = UIt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$$

Мощность электрического тока — работа электрического тока за единицу времени:

$$P = \frac{A}{t} = UI = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

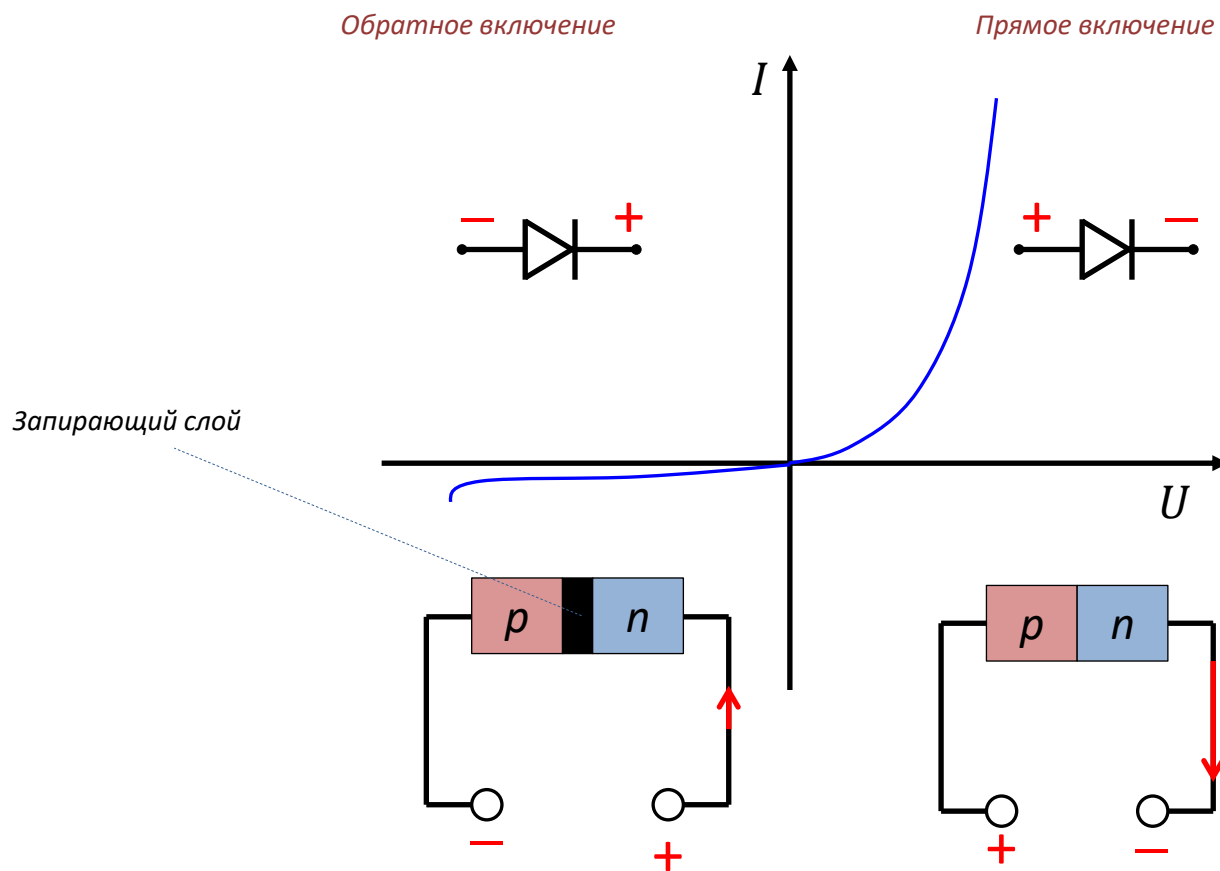
Баланс мощности замкнутой цепи



$$\mathcal{E}I = I^2 R + I^2 r$$

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

Полупроводниковый диод — элемент электрической системы, содержащий p — n -переход и два вывода для включения в электрическую цепь.

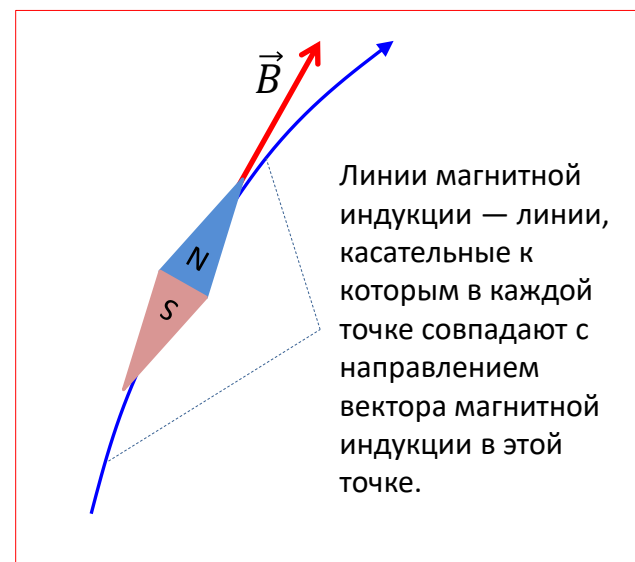
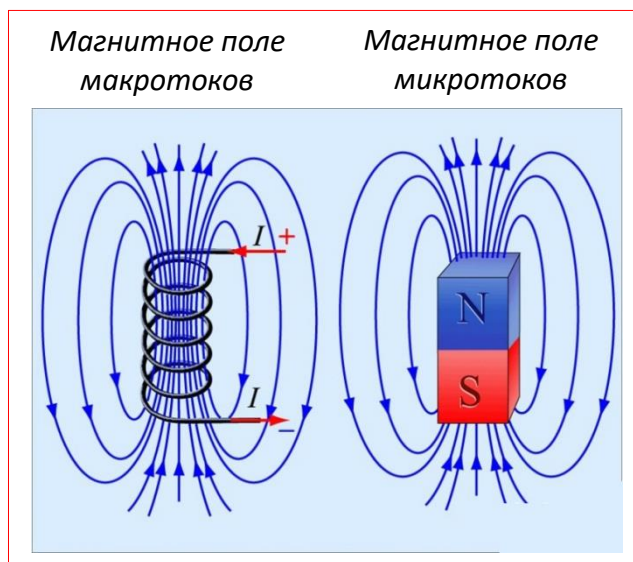




МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ МАГНИТОВ

Магнитное поле всегда порождается электрическими токами:

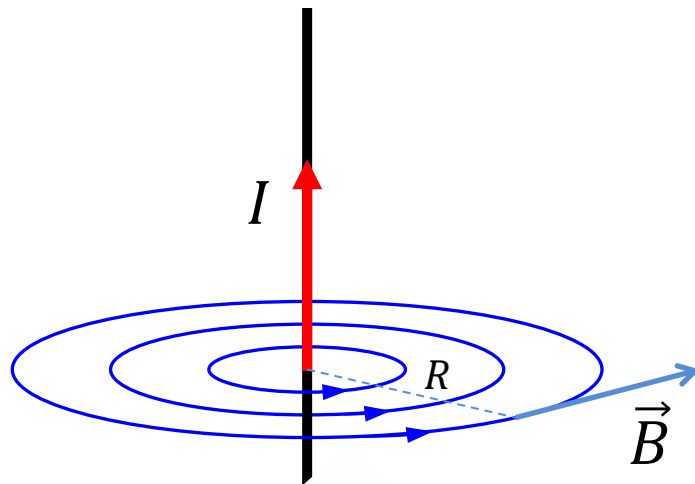
- **макроскопическими** (упорядоченным движением заряженных частиц под действием электрического поля);
- **микроскопическими** (внутриатомными токами).



Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением северного полюса свободной магнитной стрелки в данной точке.

Одноименные магнитные полюса отталкивают друг друга, а разноименные притягивают.

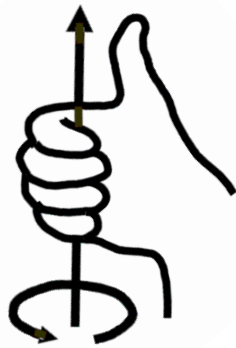
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПРЯМОГО ПРОВОДНИКА С ТОКОМ



$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \frac{I}{R} \quad [\text{Тл}]$$

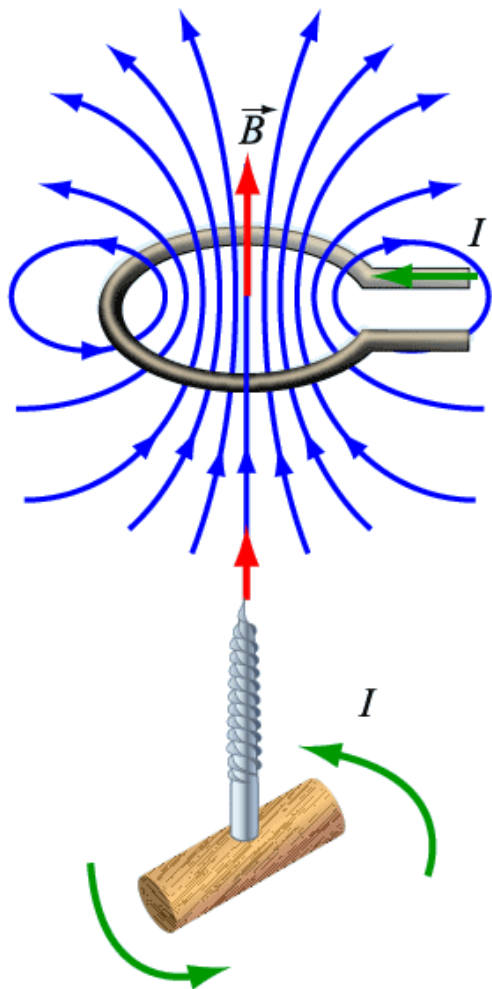
$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$ – магнитная постоянная

*Линии магнитной индукции
всегда замкнуты: они не имеют
начала и конца.*



Если охватить проводник правой рукой, направив отогнутый большой палец по направлению тока, то кончики остальных пальцев покажут направление вектора магнитной индукции.

МАГНИТНОЕ ПОЛЕ КОЛЬЦЕВОГО ТОКА

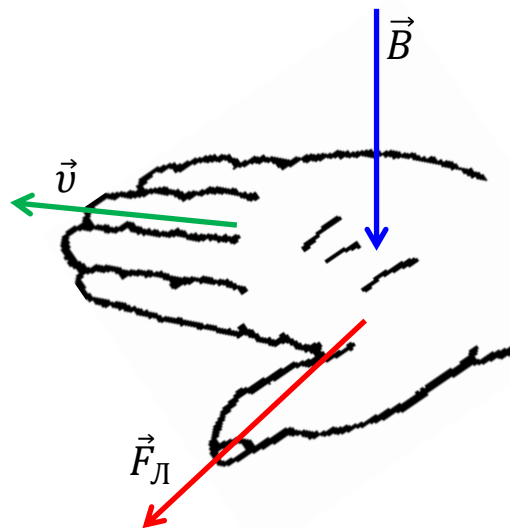
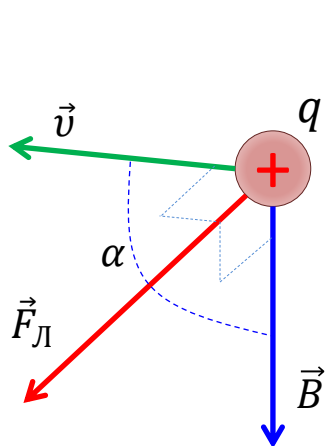


Если вращать рукоятку буравчика по направлению тока в витке, то поступательное перемещение буравчика совпадает с направлением вектора магнитной индукции, созданной током в витке на своей оси.

Линии магнитной индукции всегда замкнуты: они не имеют начала и конца.

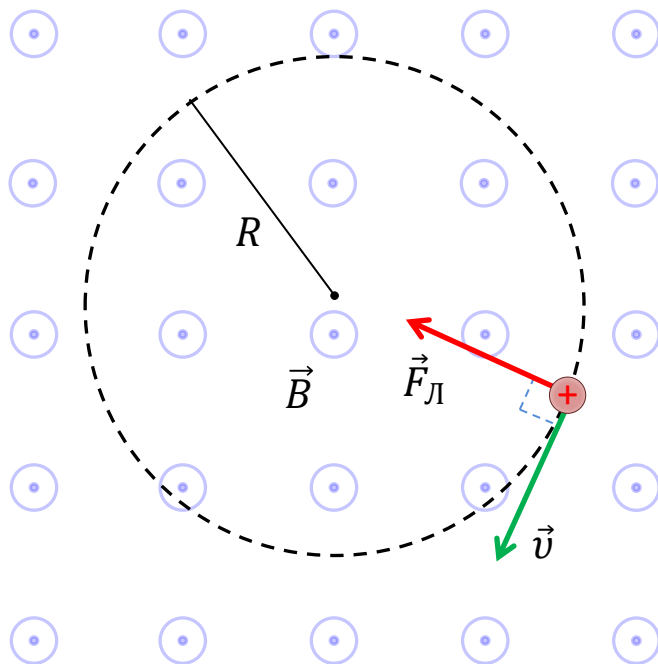
СИЛА ЛОРЕНЦА

Если кисть левой руки расположить так, что четыре вытянутых пальца указывают направление скорости положительного заряда (или противоположное скорости отрицательного заряда), а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый (в плоскости ладони) на 90° большой палец покажет направление силы Лоренца.



$$\begin{cases} \vec{F}_L \perp \vec{v} \\ \vec{F}_L \perp \vec{B} \\ \widehat{\vec{v}, \vec{B}} = \alpha \end{cases}$$
$$F_L = qvB \sin \alpha$$

ДВИЖЕНИЕ ЗАРЯЖЕННОЙ ЧАСТИЦЫ В ОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ



По второму закону Ньютона:

$$F_L = m \frac{v^2}{R}, \quad qvB = m \frac{v^2}{R}$$

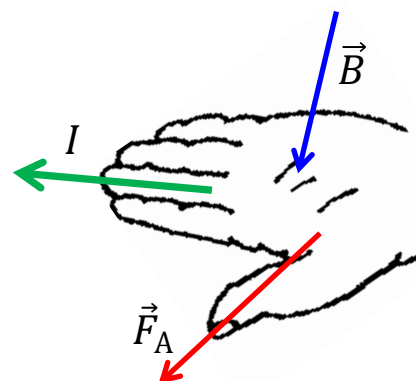
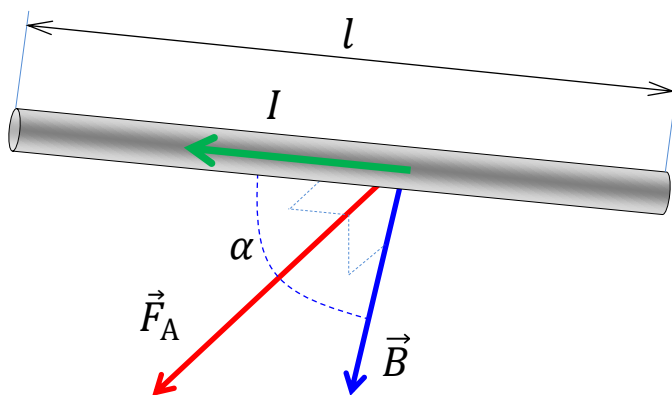
$$R = \frac{mv}{qB}$$

$$T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$$

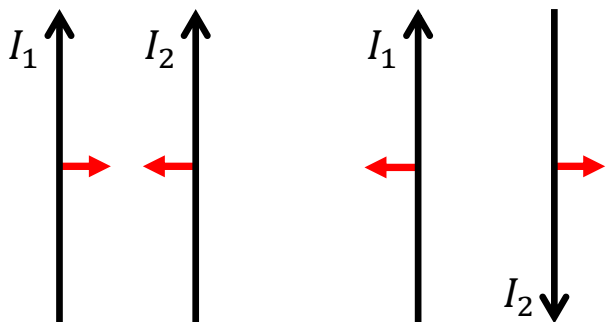
$$v = \frac{1}{T} = \frac{qB}{2\pi m}$$

СИЛА АМПЕРА

Если кисть левой руки расположить так, что четыре вытянутых пальца указывают направление электрического тока, а вектор магнитной индукции входит в ладонь, то отогнутый (в плоскости ладони) на 90° большой палец покажет направление силы Лоренца.



$$\begin{cases} \vec{F}_A \perp I \\ \vec{F}_A \perp \vec{B} \\ \widehat{I, \vec{B}} = \alpha \end{cases}$$
$$F_A = IlB \sin \alpha$$

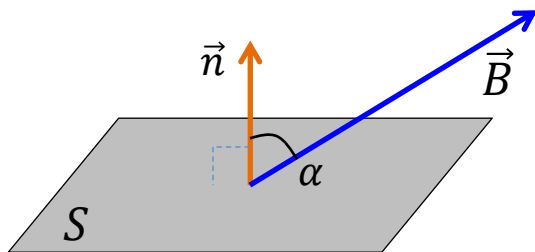


- Параллельно расположенные проводники, по которым протекают токи в одном направлении, притягиваются.
- Параллельно расположенные проводники, по которым протекают токи в противоположных направлениях, отталкиваются.



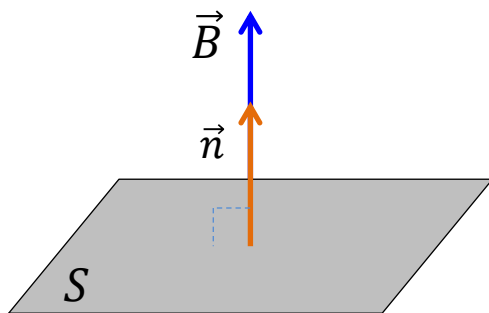
МАГНИТНЫЙ ПОТОК

Магнитный поток (поток магнитной индукции) через поверхность площадью S — физическая величина, равная скалярному произведению вектора магнитной индукции $\vec{B}$ на вектор площади $\vec{S} = S \cdot \vec{n}$:



$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{S} = BS \cos \alpha \quad [\text{Вб}]$$

$\vec{n}$ — нормаль к поверхности — единичный вектор, перпендикулярный поверхности S



Если индукция магнитного поля перпендикулярна поверхности ($\alpha = 0$), то

$$\Phi = B \cdot S$$

ЗАКОН ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ, ПРАВИЛО ЛЕНЦА

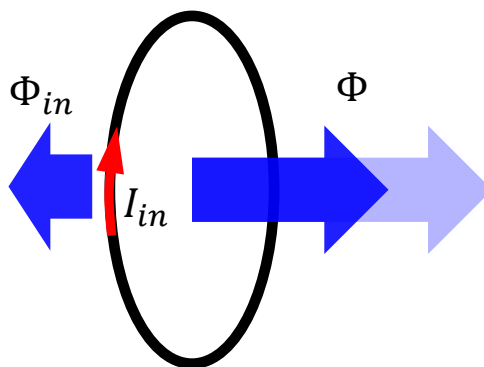
Закон электромагнитной индукции, или закон Фарадея—Максвелла

ЭДС электромагнитной индукции в замкнутом контуре численно равна и противоположна по знаку скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную этим контуром:

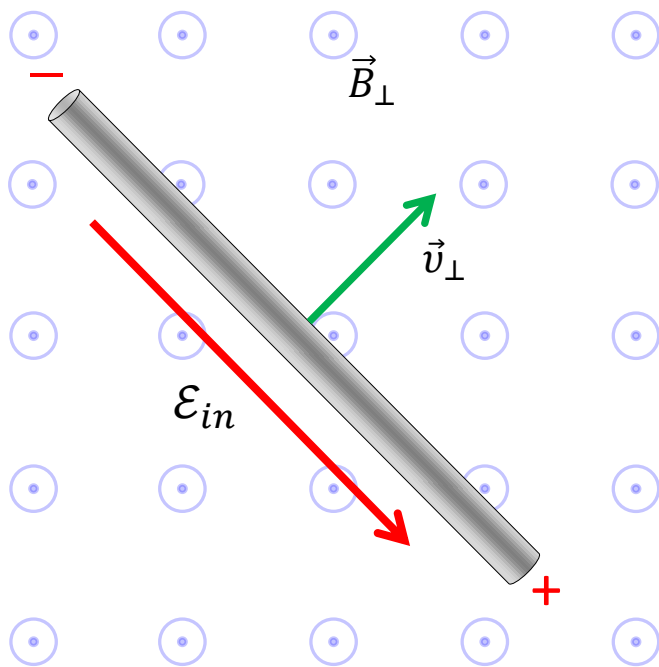
$$\mathcal{E}_{in} = - \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

Правило Ленца

Индукционный ток, вызванный ЭДС электромагнитной индукции в контуре, имеет такое направление, что созданный им магнитный поток через поверхность, ограниченную контуром, препятствует изменению магнитного потока, вызвавшего этот ток.



ЭДС ИНДУКЦИИ В ПРОВОДНИКЕ, ДВИЖУЩЕМСЯ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ



ЭДС в проводнике, движущемся в магнитном поле, обусловлена действием на свободные заряды в проводнике силы Лоренца.

$$\mathcal{E}_{in} = B_{\perp} v_{\perp} l$$

l – длина проводника;

$v_{\perp}$ – составляющая скорости проводника, перпендикулярная ему;

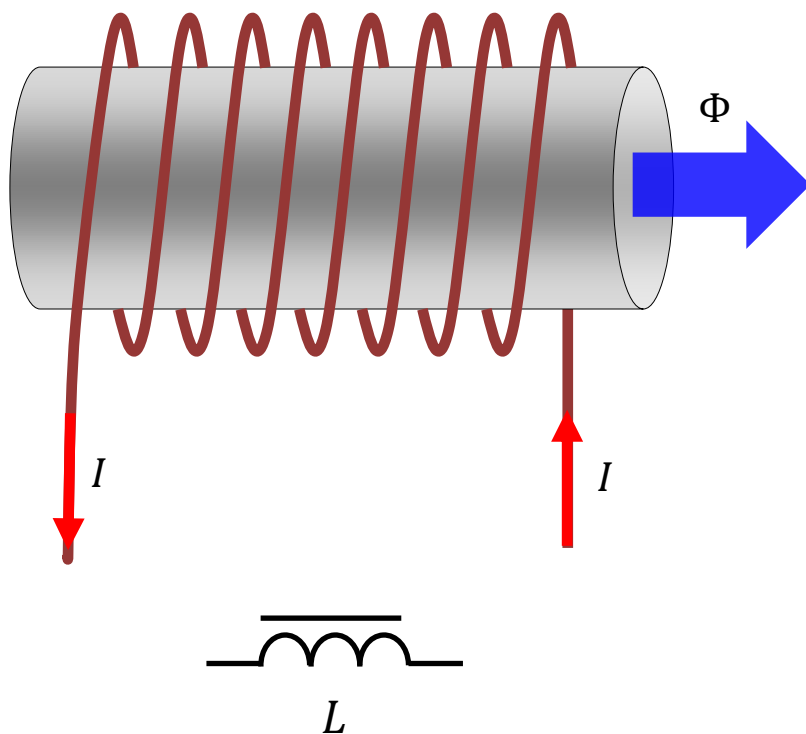
$B_{\perp}$ – составляющая индукции магнитного поля, перпендикулярная проводнику и его скорости.

Если проводник не замкнут на внешнюю цепь, то в результате перераспределения зарядов в проводнике под действием ЭДС индукции, между его концами возникнет разность потенциалов $U = \mathcal{E}_{in} = B_{\perp} v_{\perp} l$.

САМОИНДУКЦИЯ И ИНДУКТИВНОСТЬ, ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

Самоиндукция — возникновение ЭДС индукции в проводящем контуре при изменении в нем силы тока.

КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ



ИНДУКТИВНОСТЬ КАТУШКИ

$$L = \frac{\Phi}{I}, [\text{Гн}]$$

МАГНИТНЫЙ ПОТОК

$$\Phi = LI$$

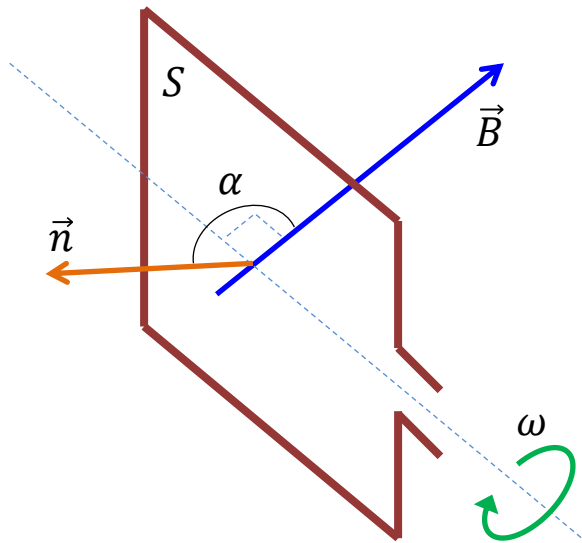
ЭДС САМОИНДУКЦИИ КАТУШКИ

$$\mathcal{E}_{in} = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ЭНЕРГИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ КАТУШКИ

$$W_L = \frac{\Phi I}{2} = \frac{LI^2}{2} = \frac{\Phi^2}{2L}$$

ГЕНЕРИРОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА



Контур площадью S вращается в однородном магнитном поле индукции $\vec{B}$ с угловой скоростью ω . Ось вращения перпендикулярна индукции.

$$\alpha = \omega t + \varphi_0$$

$$\Phi = BS \cos \alpha = BS \cos(\omega t + \varphi_0)$$

ЭДС индукции в контуре

$$\mathcal{E}_{in} = -\frac{d\Phi}{dt} = BS\omega \sin(\omega t + \varphi_0)$$

Амплитуда генерируемой ЭДС

$$\mathcal{E}_{Ain} = BS\omega$$



ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

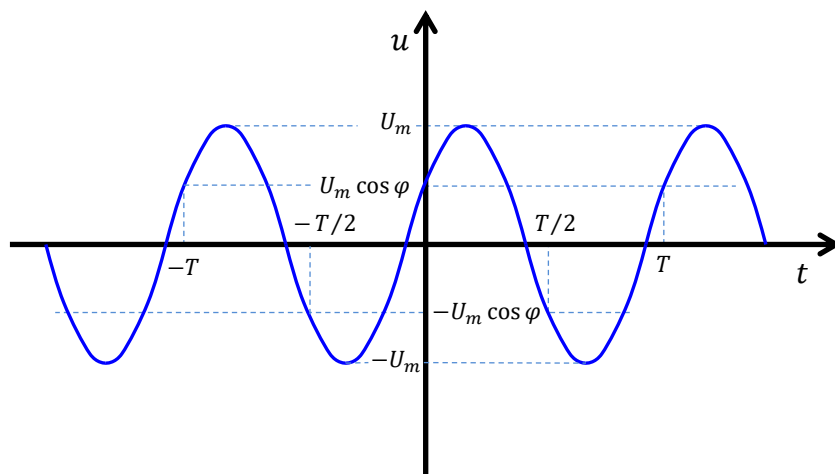
$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$(\omega t + \varphi)$ – фаза колебаний; φ – начальная фаза колебаний;

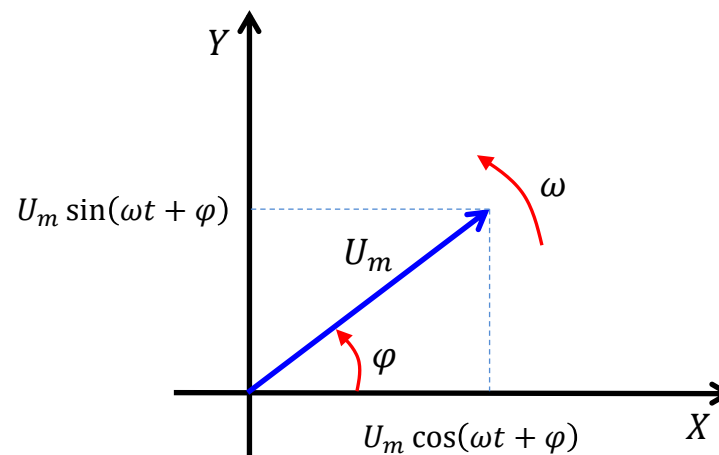
U_m – амплитуда, ω – круговая частота [с^{-1}];

$T = \frac{2\pi}{\omega}$ – период колебаний [с]; $f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}$ – частота [Гц].

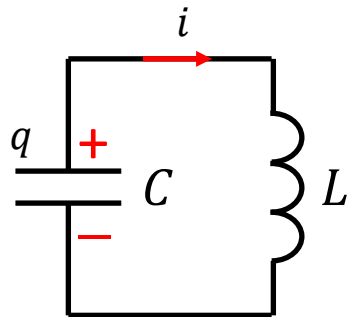
ГРАФИК



ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР



$$i(t) = -q'(t)$$

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}} \quad [\text{с}^{-1}]$$

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{LC} \quad [\text{с}]$$

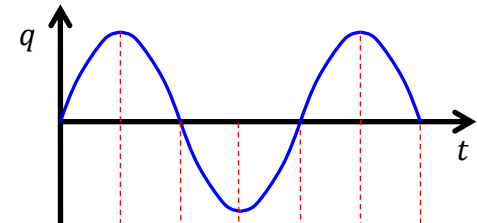
$$\nu = \frac{1}{T} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad [\text{Гц}]$$

Энергия электромагнитного поля

$$W = \frac{q^2}{2C} + \frac{L \cdot i^2}{2} = \frac{Q_m^2}{2C} = \frac{L \cdot I_m^2}{2}$$

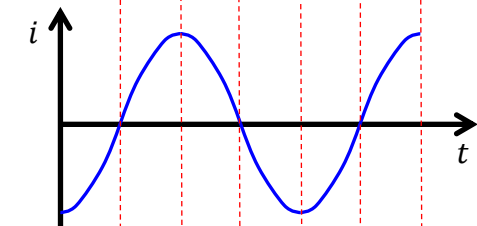
Заряд конденсатора

$$q(t) = Q_m \sin(\omega t + \varphi)$$



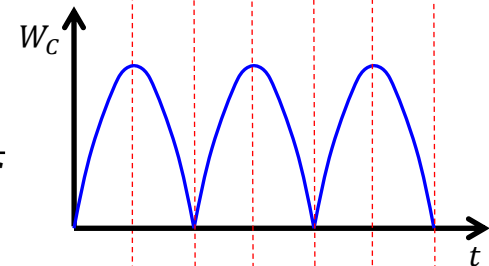
Ток в катушке

$$i(t) = -I_m \cos(\omega t + \varphi)$$



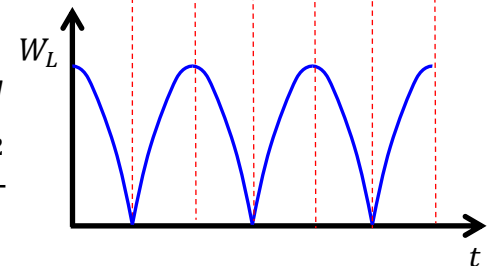
Энергия конденсатора

$$w_c = \frac{q^2}{2C}$$

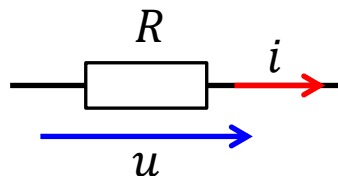


Энергия катушки

$$w_L = \frac{L \cdot i^2}{2}$$



РЕЗИСТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

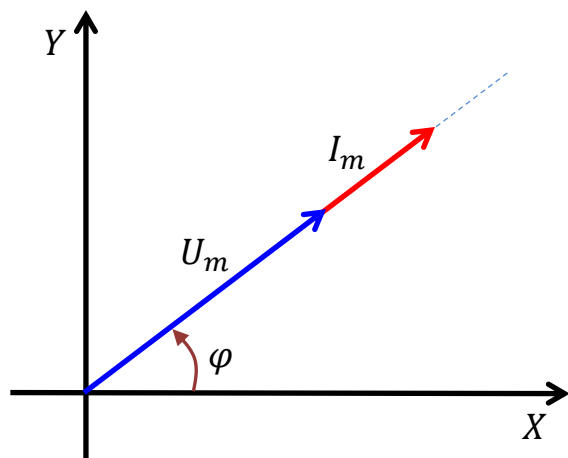


$$u(t) = U_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$U_m = I_m R$$

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



Напряжение и сила тока в резисторе совпадают по фазе в любой момент времени.

ДЕЙСТВУЮЩИЕ ЗНАЧЕНИЯ

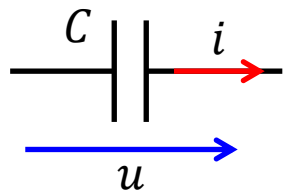
При прохождении электрического тока через резистор в нем выделяется тепло мощностью

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i^2 R dt = \frac{I_m^2 R}{2} = I_D^2 R = \frac{U_D^2}{R} = U_D I_D,$$

где $U_D = \frac{U_m}{\sqrt{2}}, I_D = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ —

действующие значения напряжения и тока

КОНДЕНСАТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

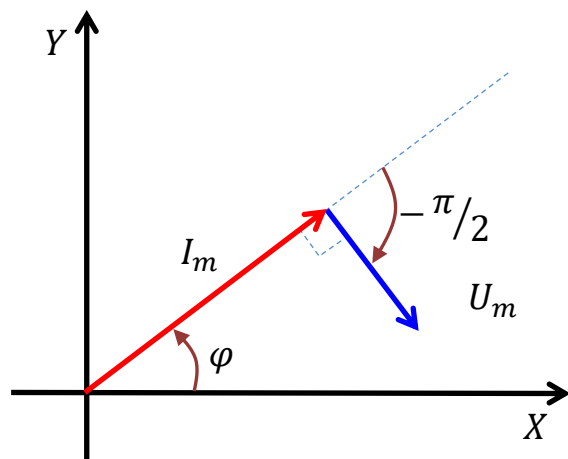


$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$u(t) = U_m \cos\left(\omega t + \varphi - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$U_m = I_m \frac{1}{\omega C} = I_m X_C$$

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



Напряжение отстает по фазе от силы тока через конденсатор на $\pi/2$.

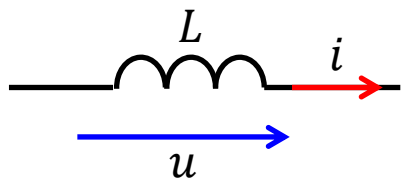
$X_C = \frac{1}{\omega C}$ – емкостное сопротивление или реактивное сопротивление конденсатора.

Среднее значение мощности переменного тока на конденсаторе за период равно нулю:

$$p = iu = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\left(2\omega t + 2\varphi - \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\langle p \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 0$$

КАТУШКА ИНДУКТИВНОСТИ В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

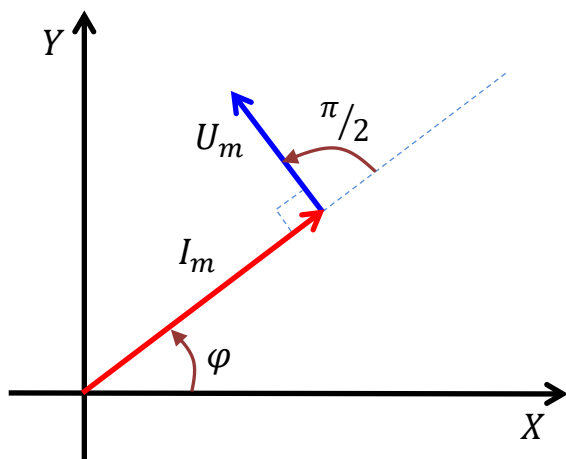


$$i(t) = I_m \cos(\omega t + \varphi)$$

$$u(t) = U_m \cos\left(\omega t + \varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$U_m = I_m \omega L = I_m X_L$$

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



Напряжение опережает по фазе силу тока через катушку на $\pi/2$.

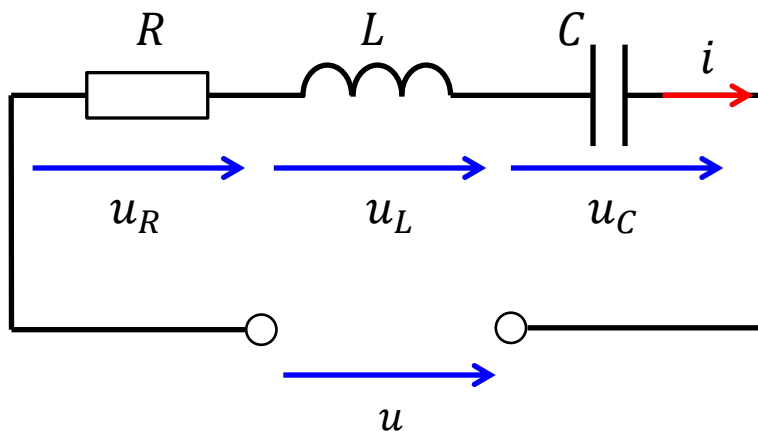
$X_L = \omega L$ – индуктивное сопротивление или реактивное сопротивление катушки.

Среднее значение мощности переменного тока на катушке за период равно нулю:

$$p = iu = \frac{1}{2} I_m U_m \cos\left(2\omega t + 2\varphi + \frac{\pi}{2}\right)$$

$$\langle p \rangle = \frac{1}{T} \int_0^T p dt = 0$$

ВЫНУЖДЕННЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ



$$u = u_L + u_R + u_C$$

Полное сопротивление переменному току

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

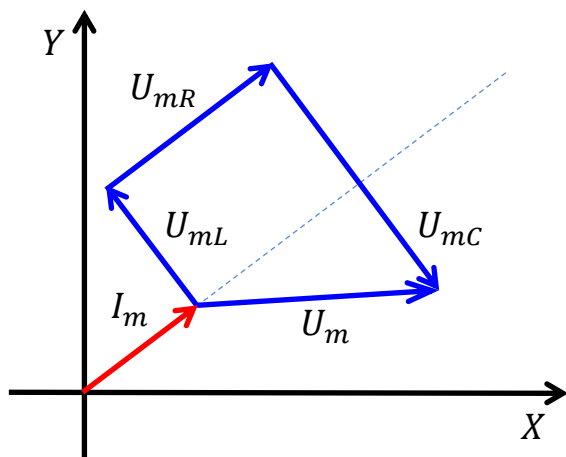
$$I_m = \frac{U_m}{Z}$$

Резонансная частота

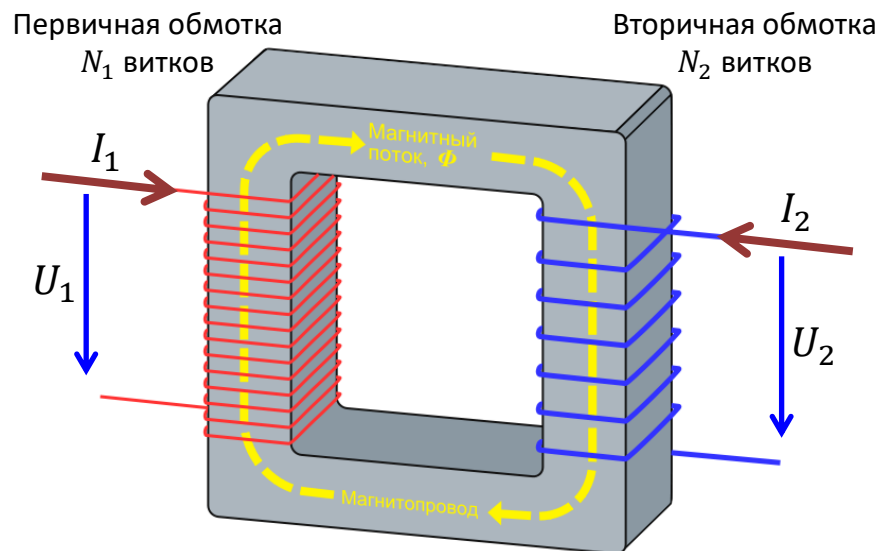
$$\omega_p L - \frac{1}{\omega_p C} = 0 \Rightarrow \omega_p = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \omega_0$$

Резонанс в колебательном контуре — физическое явление резкого возрастания амплитуды колебаний силы тока в контуре при совпадении частоты вынужденных колебаний с частотой собственных колебаний в нем.

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА



ТРАНСФОРМАТОР



Трансформатор — устройство, применяемое для повышения или понижения переменного напряжения.

Коэффициент трансформации — величина, равная отношению напряжений в первичной и вторичной обмотках трансформатора:

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

Мощность на входе $P_1 = U_1 I_1$

Мощность на выходе $P_2 = U_2 I_2$

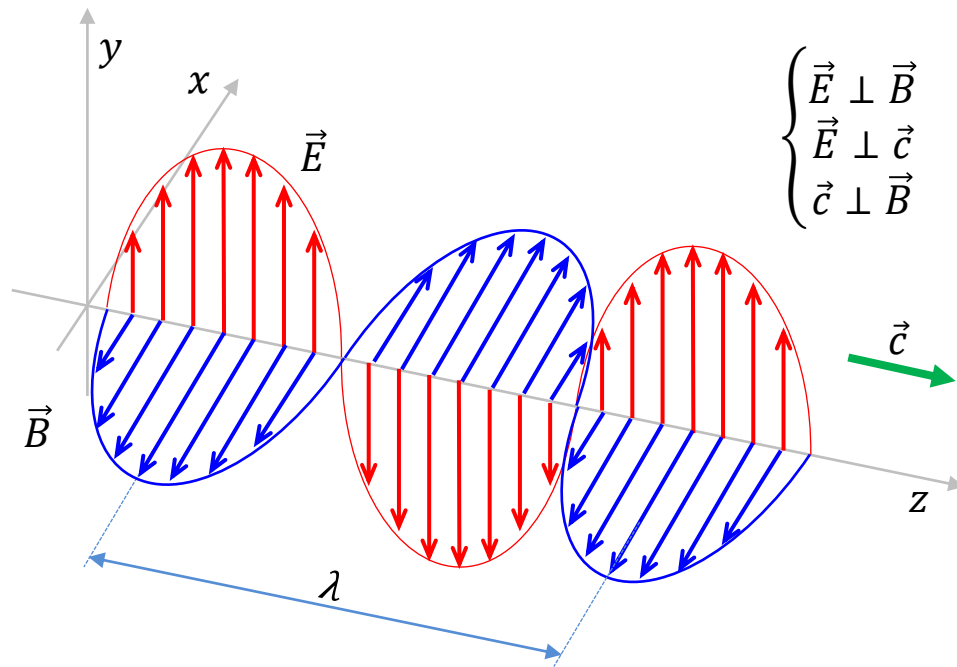
КПД трансформатора $\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I_2}{U_1 I_1} \leq 1$

Для идеального трансформатора ($\eta = 1$):

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$



ПЛОСКОПОЛЯРИЗОВАННАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ВОЛНА



$$\begin{cases} \vec{E} \perp \vec{B} \\ \vec{E} \perp \vec{c} \\ \vec{c} \perp \vec{B} \end{cases}$$

- $\vec{E}$ и $\vec{B}$ взаимно ортогональны и составляют правовинтовую систему с направлением распространения $\vec{c}$: если смотреть вдоль $\vec{c}$, то поворот от $\vec{E}$ к $\vec{B}$ по часовой стрелке.
- Плоскость поляризации электромагнитной волны – плоскость, проходящая через направление колебаний вектора напряженности электрического поля и направление распространения волны.

$$\lambda = cT = \frac{c}{\nu} = \frac{2\pi c}{\omega}$$

$$\nu = \frac{1}{T}$$

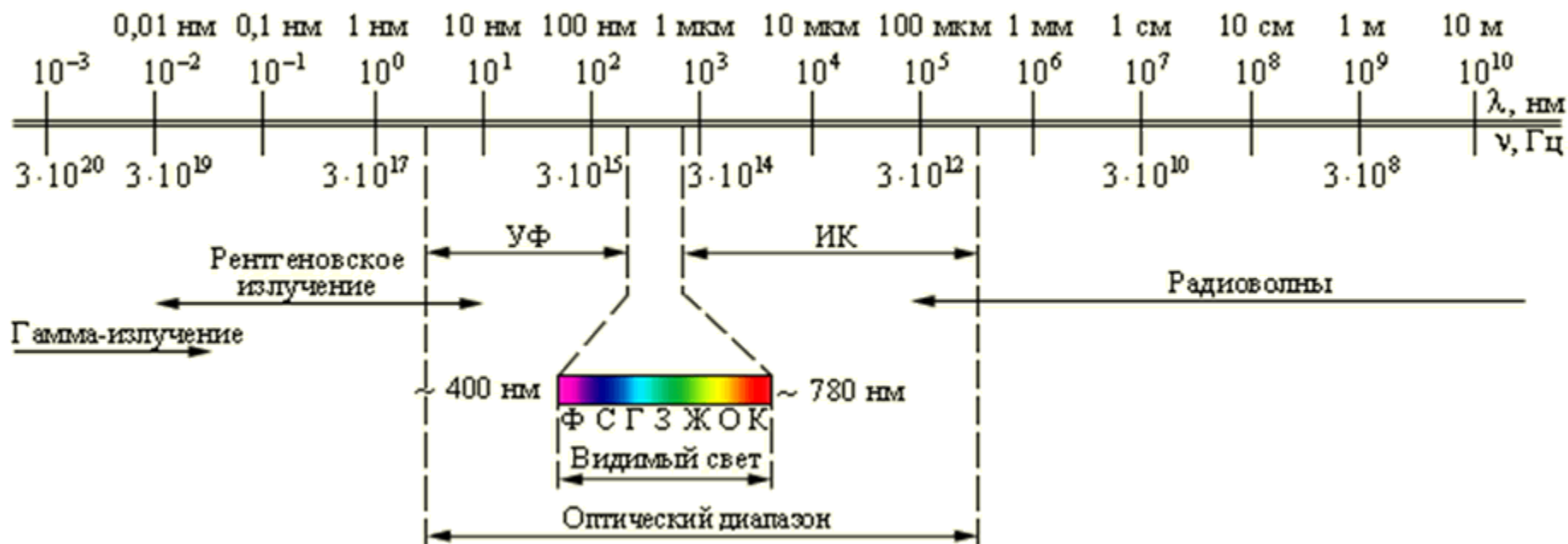
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi\nu$$

$$E(z, t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi z}{\lambda}\right)$$

$$E_m \sqrt{\epsilon_0} = \frac{B_m}{\sqrt{\mu_0}}$$

- $\vec{E}$ – напряженность электрического поля
- $\vec{B}$ – индукция магнитного поля
- $\vec{c}$ – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме (скорость света в вакууме) $c = 3 \cdot 10^8$ м/с
- λ – длина волны
- ν – частота [Гц]
- ω – круговая (циклическая) частота [с⁻¹]

СПЕКТР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

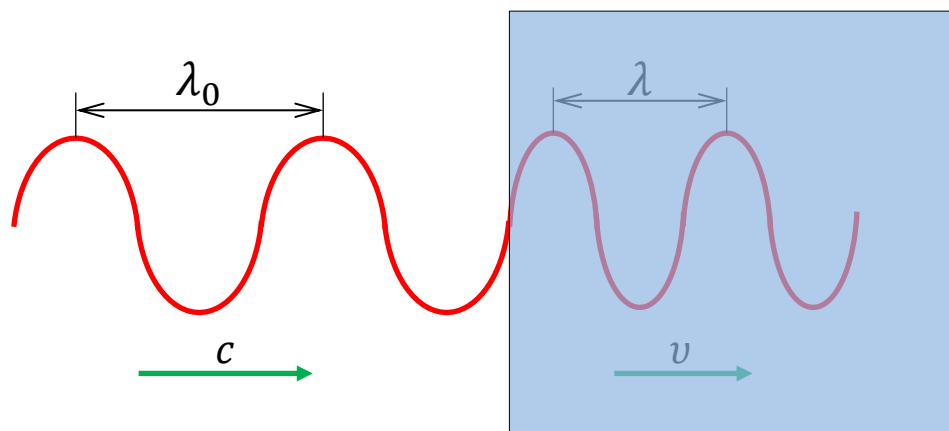


Цвета видимой части спектра в порядке увеличения частоты или уменьшения длины волн: **Каждый Охотник Желает Знать Где Сидит Фазан.**

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ В ВЕЩЕСТВЕ

При переходе электромагнитной волны из вакуума в вещество частота и период остаются неизменными, скорость волны уменьшается в n раз, длина волны уменьшается, соответственно, тоже в n раз, где n – абсолютный показатель преломления среды:

$$v = \frac{c}{n}, \quad \lambda = \frac{\lambda_0}{n}$$



ЭНЕРГИЯ, ИМПУЛЬС И ДАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

Объемная плотность энергии в электромагнитной волне: $w_{\text{ЭМ}} = \varepsilon_0 E^2, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right]$

Средняя объемная плотность энергии в электромагнитной волне: $\langle w_{\text{ЭМ}} \rangle = \frac{1}{2} \varepsilon_0 E_m^2, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} \right]$

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

$$P_{\text{ЭМ}} = w_{\text{ЭМ}} \cdot c, \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

Интенсивность электромагнитной волны — среднее значение плотности потока энергии электромагнитной волны:

$$I = \langle P_{\text{ЭМ}} \rangle = \langle w_{\text{ЭМ}} \rangle \cdot c, \quad \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$$

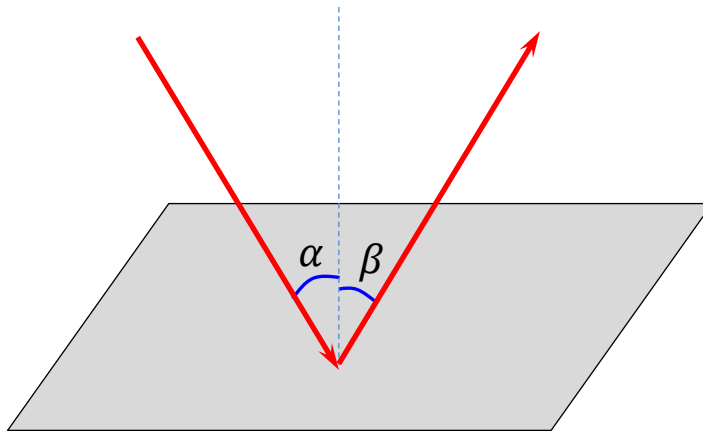
Взаимосвязь импульса электромагнитной волны p с переносимой ею энергией W : $p = \frac{W}{c}$

Давление электромагнитной волны на поверхность: $p = \frac{I}{c} (1 + R) = \langle w_{\text{ЭМ}} \rangle (1 + R),$

где R — коэффициент отражения, т. е. отношение интенсивности отраженной волны к интенсивности падающей.



ОТРАЖЕНИЕ СВЕТА

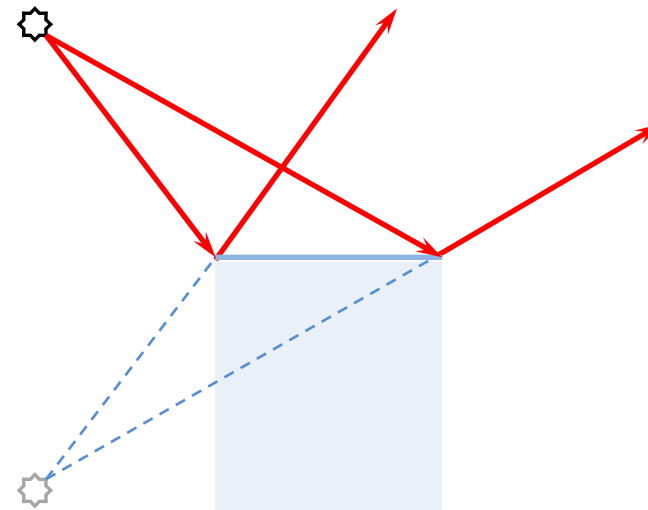
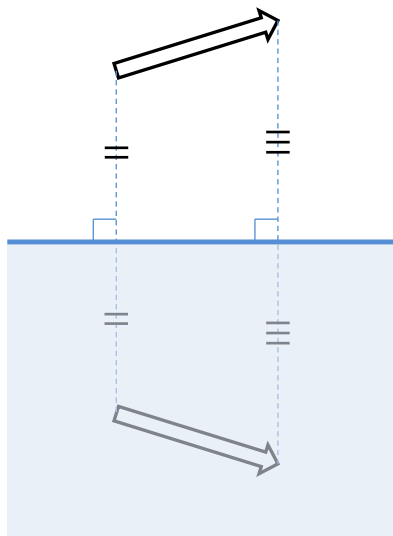


$$\alpha = \beta$$

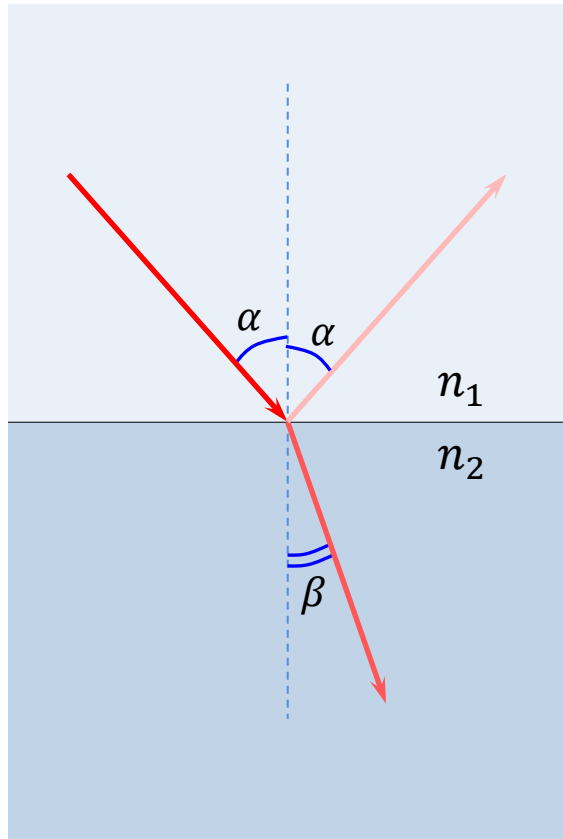
- Угол падения волны — угол между падающим лучом и перпендикуляром к поверхности (α).
- Угол отражения волны — угол между отраженным лучом и перпендикуляром к отражающей поверхности (β).
- Угол отражения равен углу падения. Падающий луч, отраженный луч и перпендикуляр, восстановленный в точке падения к отражающей поверхности, лежат в одной плоскости.

ПЛОСКОЕ ЗЕРКАЛО

- Мнимое изображение — изображение предмета, возникающее при пересечении продолжений расходящегося пучка лучей.
- Мнимое изображение точечного источника в плоском зеркале находится в симметричной точке относительно зеркала.



ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА



Преломление — изменение направления распространения света при прохождении из одной среды в другую.

$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

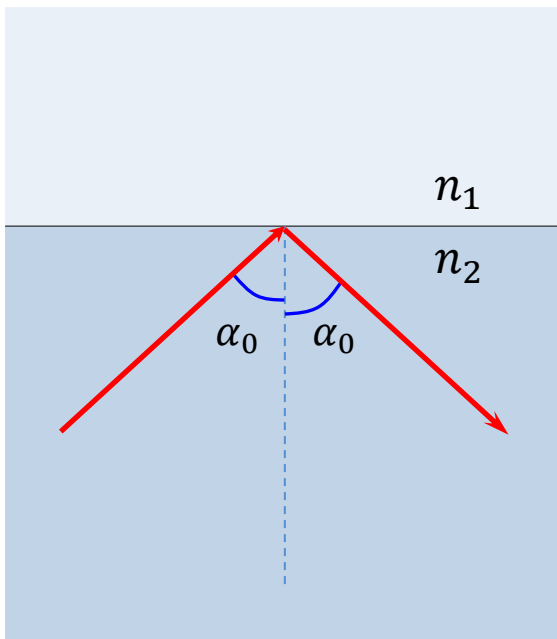
n_1, n_2 — абсолютные показатели преломления

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

n_{21} — относительный показатель преломления

ПОЛНОЕ ВНУТРЕННЕЕ ОТРАЖЕНИЕ

Полное внутреннее отражение — явление отражения света от оптически менее плотной среды, при котором преломление отсутствует, а интенсивность отраженного света практически равна интенсивности падающего.



Угол полного внутреннего отражения α_0 — минимальный угол падения света, начиная с которого возникает явление полного внутреннего отражения.

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_1}{n_2}$$

ФОКУСНОЕ РАССТОЯНИЕ ЛИНЗЫ

$$D = \frac{1}{F} = (n - 1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Радиус кривизны положительный, если поверхность выпуклая.

Радиус кривизны отрицательный, если поверхность вогнутая.

Если $F > 0$, то линза собирающая, если $F < 0$, то линза рассеивающая.

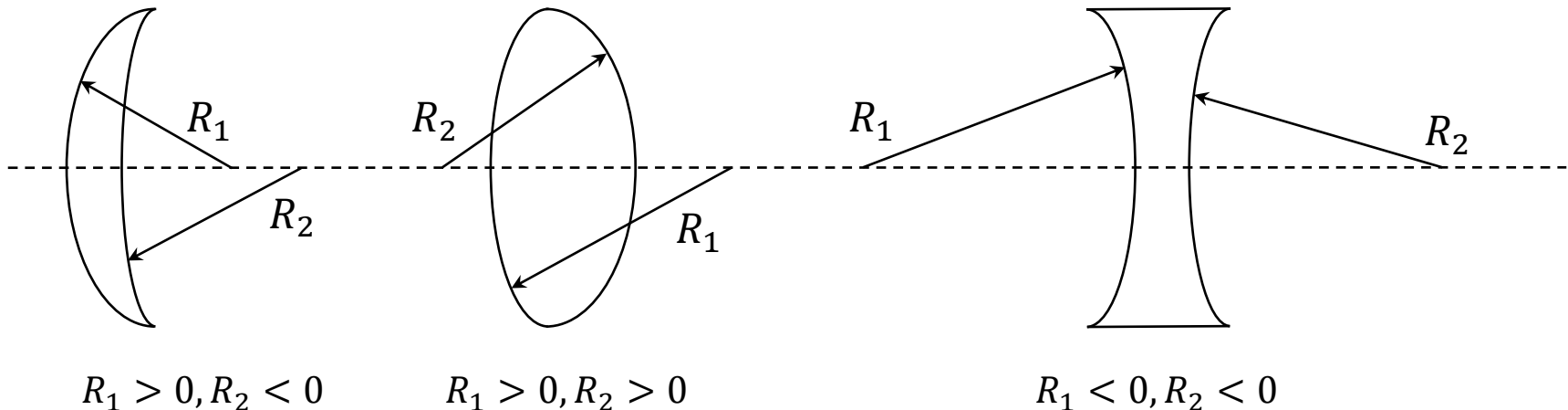
D – оптическая сила линзы;

F – фокусное расстояние линзы;

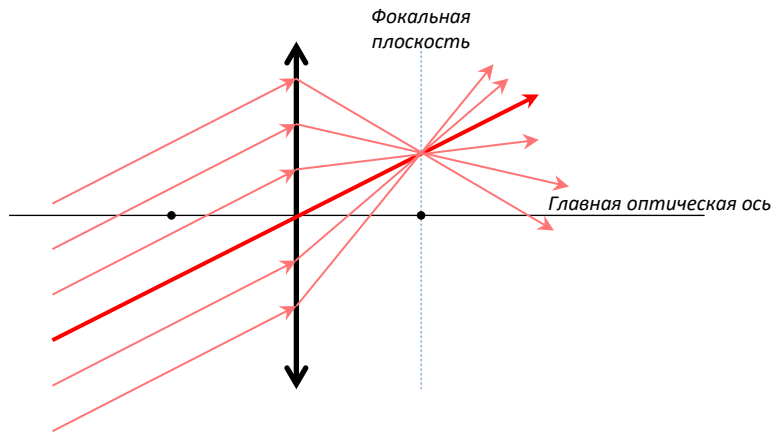
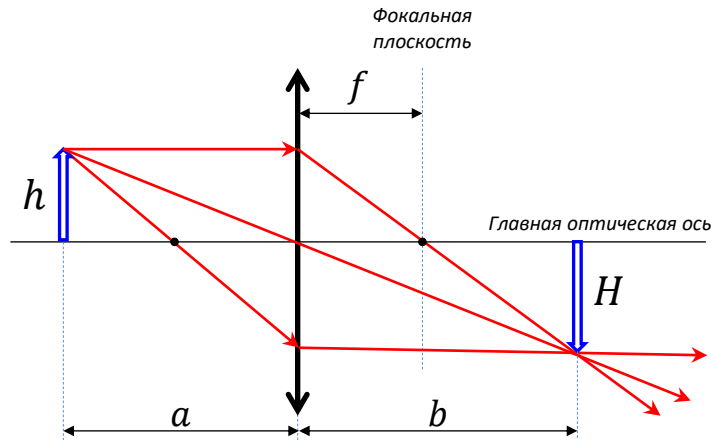
n – относительный показатель преломления материала линзы;
 R_1, R_2 – радиусы кривизны ее поверхности.

Радиус кривизны положительный, если поверхность выпуклая.

Радиус кривизны отрицательный, если поверхность вогнутая.



СОБИРАЮЩАЯ ЛИНЗА

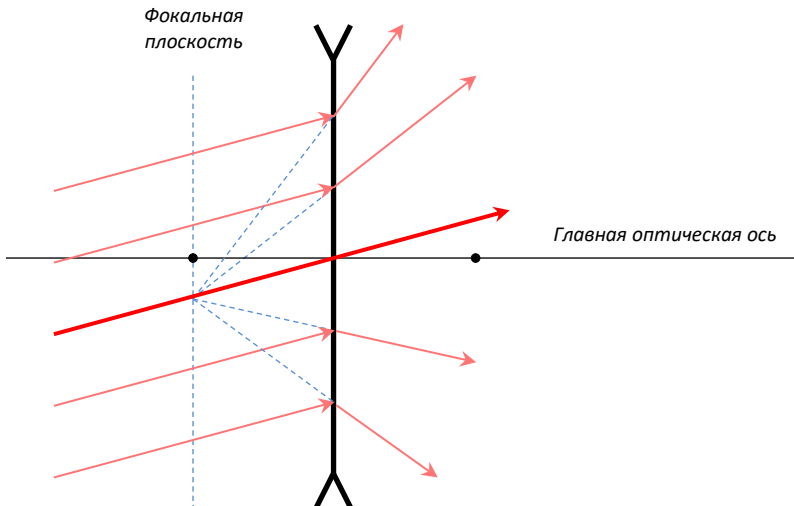
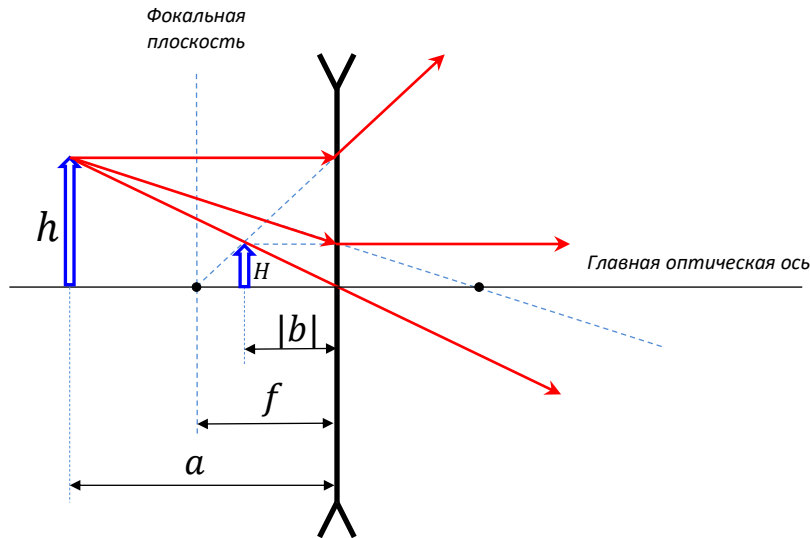


- Луч, параллельный главной оптической оси, преломляясь в линзе, проходит через ее главный фокус.
- Луч, проходящий через главный фокус, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси.
- Луч, идущий через оптический центр тонкой линзы, проходит через нее, не преломляясь.
- Если пучок параллельных лучей падает на собирающую линзу под небольшим углом к главной оптической оси, то преломленные лучи пересекаются в одной точке фокальной плоскости линзы, называемой побочным фокусом.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = D \quad \text{— оптическая сила [дптр]}$$

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{b}{a} \quad \text{— линейное увеличение}$$

РАСSEИВАЮЩАЯ ЛИНЗА



- Луч, параллельный главной оптической оси, преломляясь в линзе, выходит как бы из мнимого главного фокуса.
- Луч, падающий в направлении мнимого главного фокуса, находящегося за линзой, после преломления в линзе идет параллельно главной оптической оси.
- Луч, идущий через оптический центр тонкой линзы, проходит через нее без преломления.
- Если пучок параллельных лучей падает на тонкую рассеивающую линзу под небольшим углом к главной оптической оси, то продолжения преломленных лучей пересекаются в одной точке фокальной плоскости, называемой побочным фокусом.

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = D \quad \text{— оптическая сила [дптр]}$$

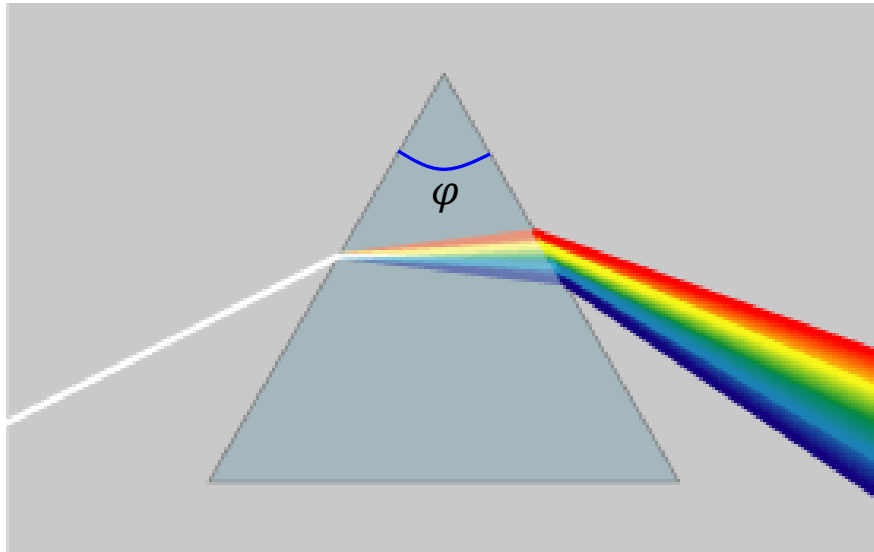
$$D < 0, f < 0, b < 0$$

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|b|}{a} \quad \text{— линейное увеличение}$$

ДИСПЕРСИЯ СВЕТА

Дисперсия света — зависимость скорости света в веществе (абсолютного показателя преломления) от частоты волны.

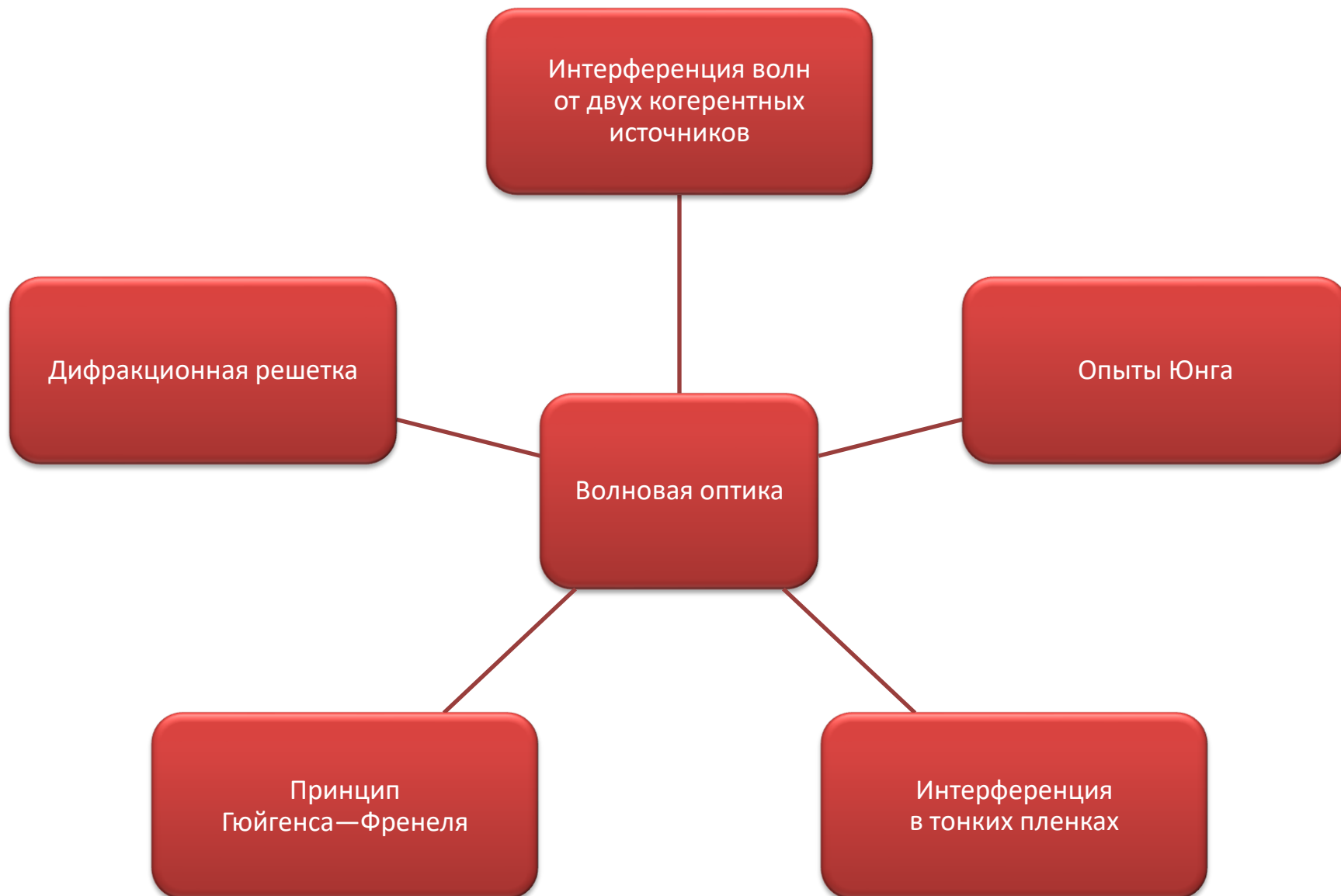
При нормальной дисперсии абсолютный показатель преломления среды возрастает с ростом частоты света (и соответственно убывает с ростом длины волны).



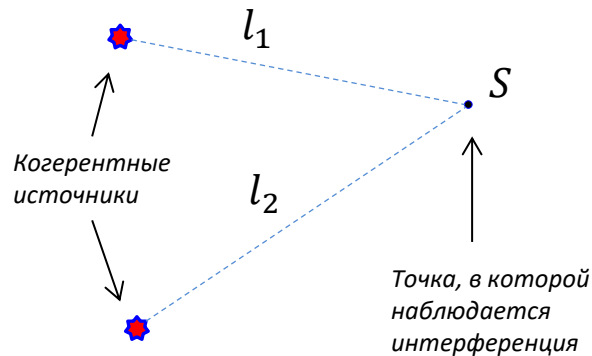
φ — преломляющий угол призмы;

δ — угол отклонения луча, падающего на угол призмы, от первоначального направления.

$$\delta = \varphi(n - 1)$$



ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ ВОЛН ОТ ДВУХ КОГЕРЕНТНЫХ ИСТОЧНИКОВ



Интерференция — явление наложения волн, вследствие которого наблюдается устойчивое во времени усиление или ослабление результирующих колебаний в различных точках пространства.

Когерентные волны — волны с одинаковой частотой, поляризацией и постоянной разностью фаз.

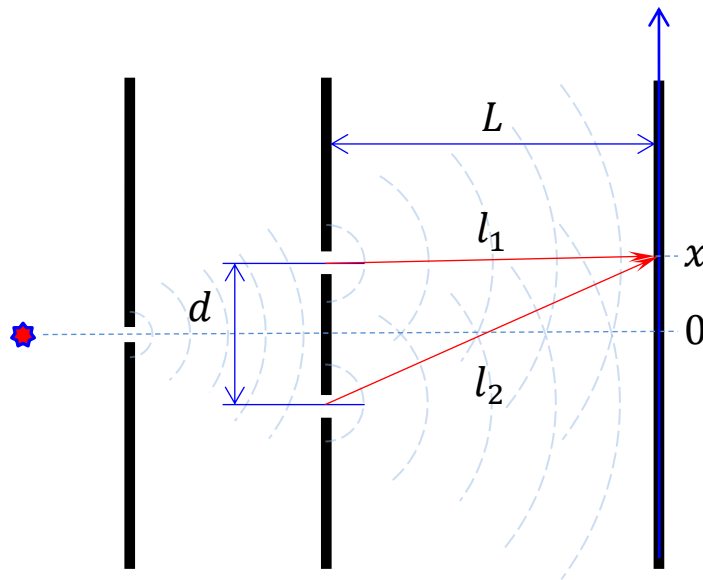
Условие интерференционного максимума: $l_1 - l_2 = n\lambda$, $n \in Z$.

Условие интерференционного минимума: $l_1 - l_2 = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}$, $m \in Z$.

$$E_1(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi l_1}{\lambda}\right); \quad E_2(t) = E_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi l_2}{\lambda}\right);$$

$$E(t) = E_1(t) + E_2(t) = 2E_m \cos\frac{2\pi}{\lambda}(l_1 - l_2) \sin\left(\omega t - \frac{2\pi(l_1 + l_2)}{\lambda}\right)$$

ОПЫТЫ ЮНГА



$$l_1 = \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} ; l_2 = \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

При условии $L \gg x, L \gg d$: $l_2 - l_1 = \frac{xd}{L}$

Условие интерференционных максимумов:

$$l_2 - l_1 = n\lambda \Rightarrow \frac{xd}{L} = n\lambda, n \in Z \Rightarrow x = n \frac{\lambda L}{d}$$

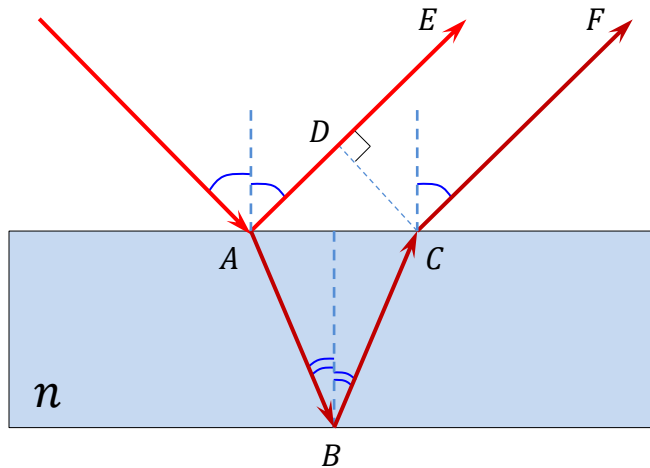
Координата x интерференционного максимума
(светлой полосы на экране):

$$x = n \frac{\lambda L}{d}, n \in Z$$

Расстояние между двумя соседними максимумами
(светлыми полосами на экране):

$$\Delta x = \frac{\lambda L}{d}$$

ИНТЕРФЕРЕНЦИЯ В ТОНКИХ ПЛЕНКАХ



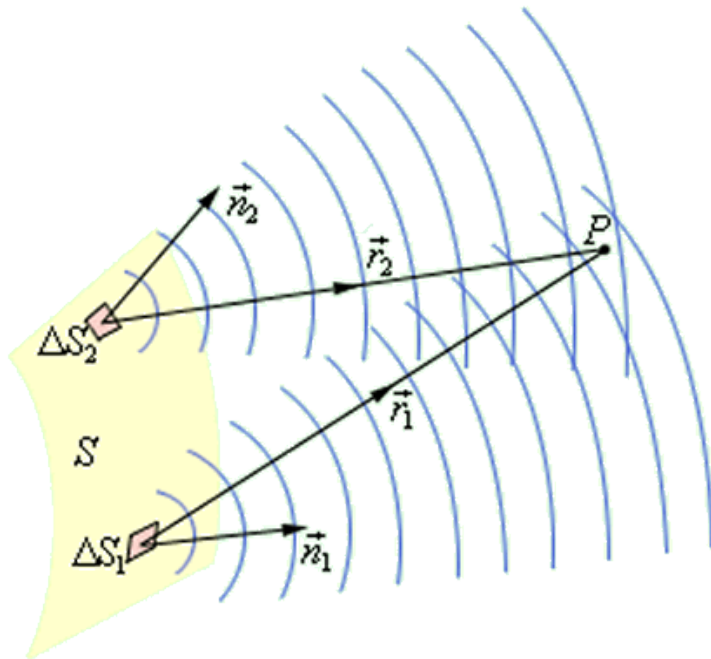
- При отражении волны от оптически более плотной среды ее фаза изменяется скачком на π (оптический путь скачком изменяется на полволны).
- Оптический путь в веществе в n раз больше геометрического (n – абсолютный показатель преломления).
- Разность оптических путей рассчитывается до общей нормали (CD).

$\Delta = n(AB + BC) - AD \pm \lambda/2$ – оптическая разность хода когерентных лучей DE и CF .

Условие максимума отражения: $\Delta = n\lambda, \quad n \in Z.$

Условие минимума отражения: $\Delta = (2m + 1)\frac{\lambda}{2}, \quad m \in Z.$

ПРИНЦИП ГЮЙГЕНСА-ФРЕНЕЛЯ



Дифракция света — явление отклонения света от прямолинейного направления распространения при прохождении вблизи препятствий

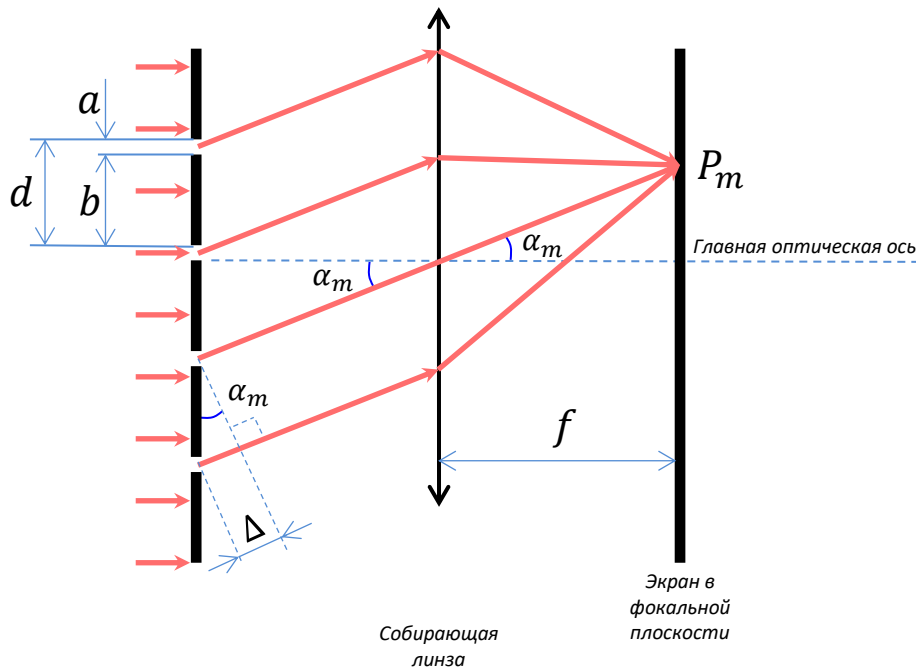
Фронт волны — это поверхность, которая отделяет часть пространства, уже вовлеченную в волновой процесс, от области, в которой колебания еще не возникли.

Волновая поверхность (фазовая поверхность) — геометрическое место точек, где колебания происходят в одинаковой фазе. Волновую поверхность можно провести через любую точку пространства, охваченного волновым процессом.

Принцип Гюйгенса-Френеля:

- каждый элемент волновой поверхности служит источником вторичной сферической волны;
- вторичные волны от одной волновой поверхности когерентны и имеют одинаковую начальную фазу;
- распространение волны при дифракции моделируется как результат интерференции вторичных волн.

ДИФРАКЦИОННАЯ РЕШЕТКА



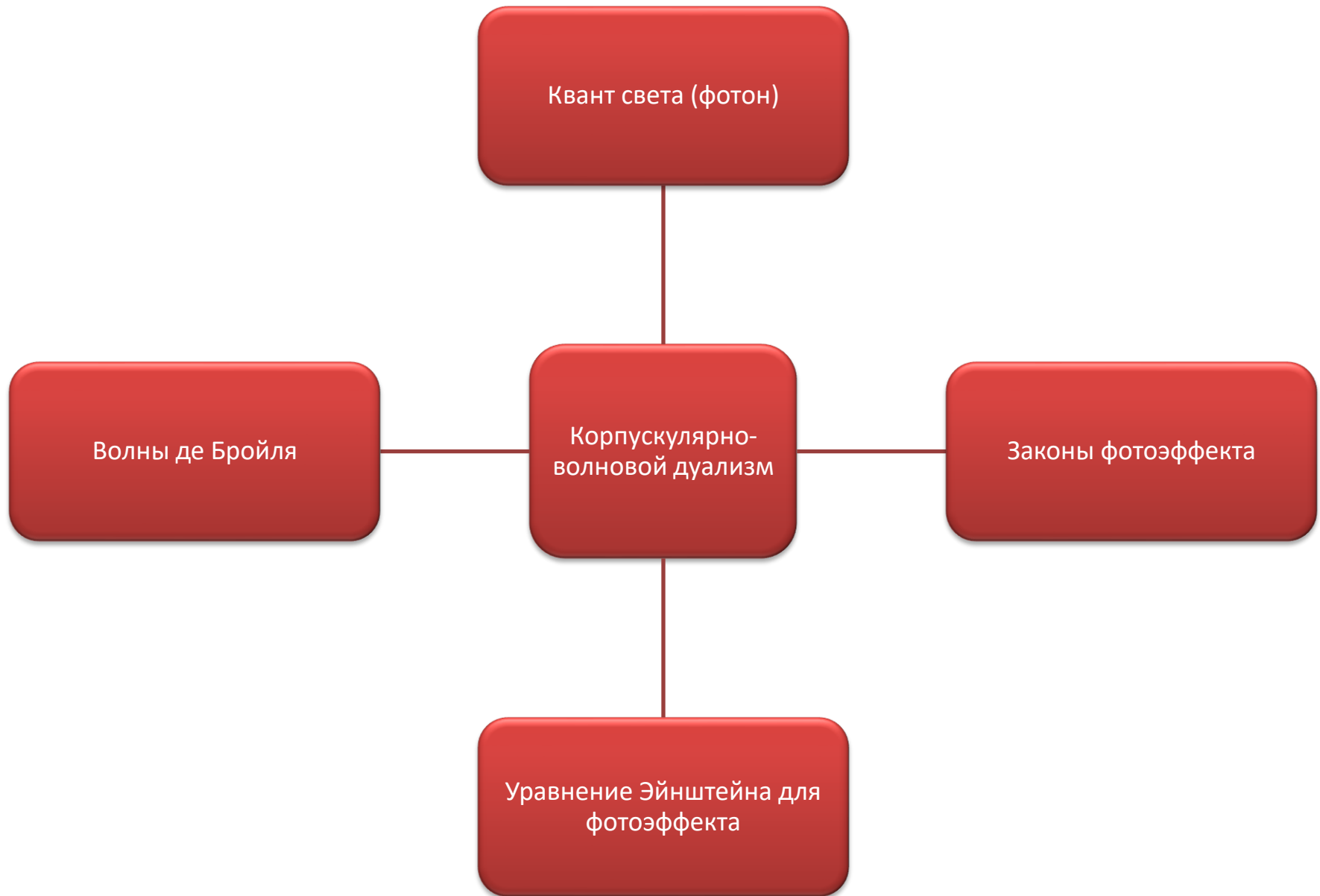
- Дифракционная решетка представляет собой совокупность $N \gg 1$ числа узких щелей шириной a , разделенных непрозрачными промежутками шириной b .
- Величина $d = a + b$ называется периодом решетки.
- Характерные значения: $N \sim 100000$, $d \sim 1$ мкм.

Главные максимумы (P_m) будут наблюдаться под углами α_m , определяемыми условием:

$$\Delta = d \sin \alpha_m = m\lambda,$$

где $m = 0; \pm 1; \pm 2, \dots$

$|m|$ – порядок максимума.



КВАНТ СВЕТА (ФОТОН)

Фотон — микрочастица, квант электромагнитного излучения. Фотон обладает следующими свойствами:

- Энергия фотона пропорциональна частоте электромагнитного излучения: $E = h\nu = \frac{h}{T} = \frac{hc}{\lambda}$.
- Фотон — электрически нейтральная частица ($q = 0$).
- Скорость фотона во всех системах отсчета равна скорости света $c = 3 \cdot 10^8$ м/с (в вакууме).
- Масса покоя фотона равна нулю: $m_0 = 0$.
- Релятивистская масса фотона определяется его энергией: $m = \frac{E}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}$.
- Фотон обладает импульсом: $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$.

$c = 3 \cdot 10^8$ м/с — скорость света в вакууме;

$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с — постоянная Планка;

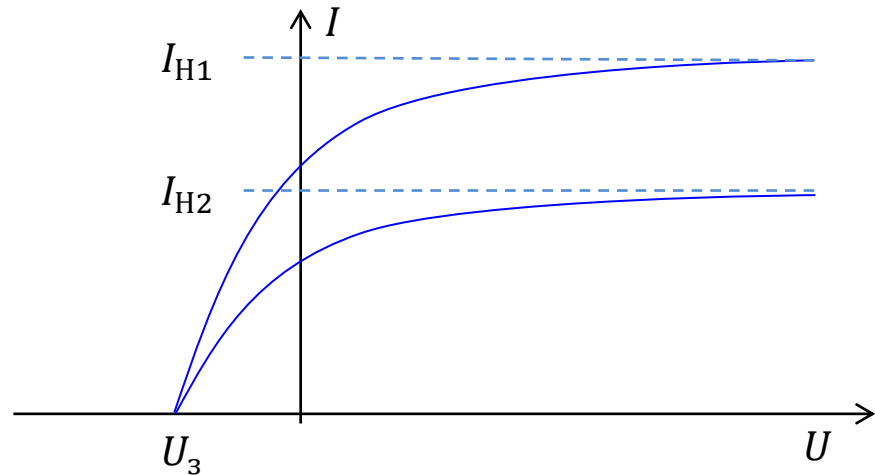
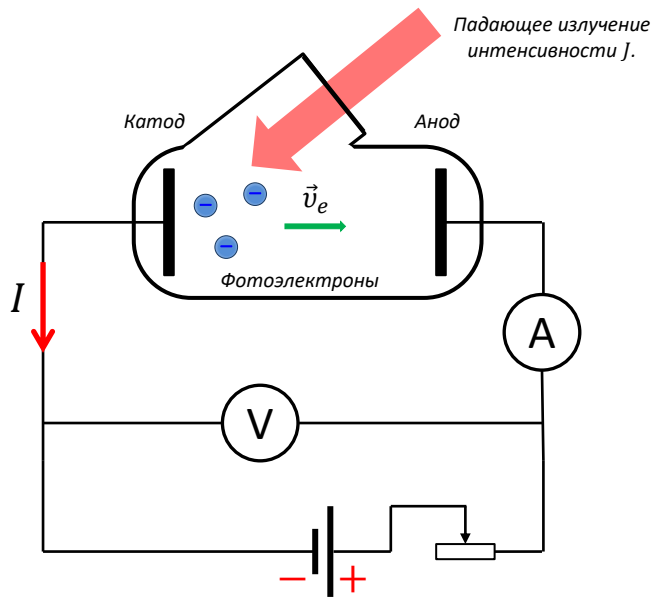
T — период колебаний световой волны [с];

$\nu = 1/T$ — частота колебаний световой волны [Гц];

$\lambda = c \cdot T$ — длина световой волны.

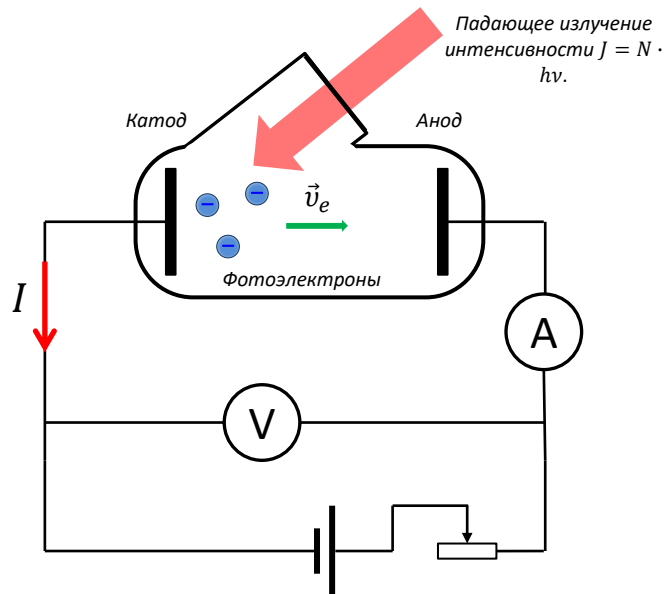
ЗАКОНЫ ФОТОЭФФЕКТА

Фотоэффект — явление вырывания электронов из твердых и жидких веществ под действием света.



- Фототок насыщения I_H прямо пропорционален интенсивности света J , падающего на катод: $J_1 > J_2 \Rightarrow I_{H1} > I_{H2}$.
- Максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов линейно зависит от частоты света и не зависит от его интенсивности.
- Для каждого вещества существует минимальная частота света, называемая красной границей фотоэффекта, ниже которой фотоэффект невозможен.

УРАВНЕНИЕ ЭЙНШТЕЙНА ДЛЯ ФОТОЭФФЕКТА



$$E_{\Phi} = A_{\text{ВЫХ}} + E_k$$

- $E_{\Phi} = h\nu = \frac{h}{T} = \frac{hc}{\lambda}$ – энергия фотона;
- $A_{\text{ВЫХ}} = h\nu_{\min} = \frac{hc}{\lambda_{\max}}$ – работа выхода – минимальная работа, которую нужно совершить для удаления электрона из металла;
- $E_k = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{p_e^2}{2m_e} = U_3 e$ – кинетическая энергия вылетающих электронов.

$h = 6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж · с – постоянная Планка; $c = 3 \cdot 10^8$ м/с – скорость света в вакууме;

$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг – масса электрона; $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл – заряд электрона;

ν – частота излучения; T – период волны;

v – скорость электрона; p_e – импульс электрона;

$\nu_{\min}$ и $\lambda_{\max}$ – минимальная частота и максимальная длина волны, соответствующие красной границе фотоэффекта;

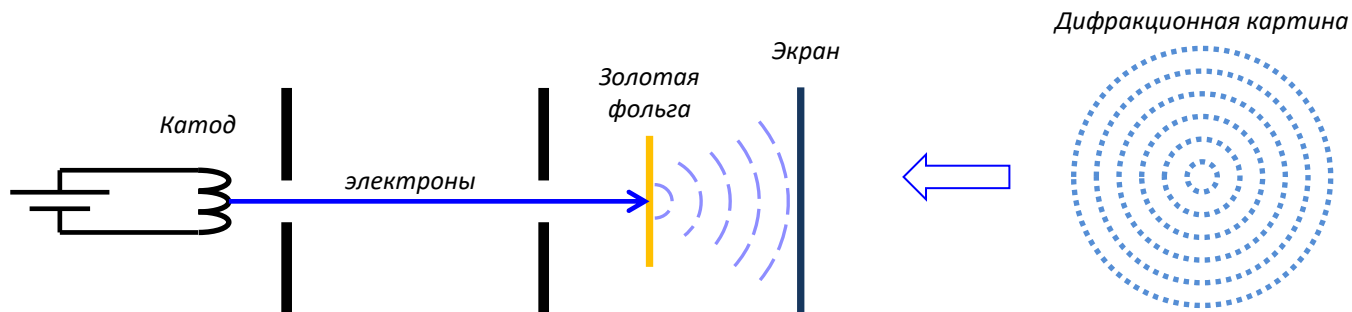
U_3 – задерживающая разность потенциалов.

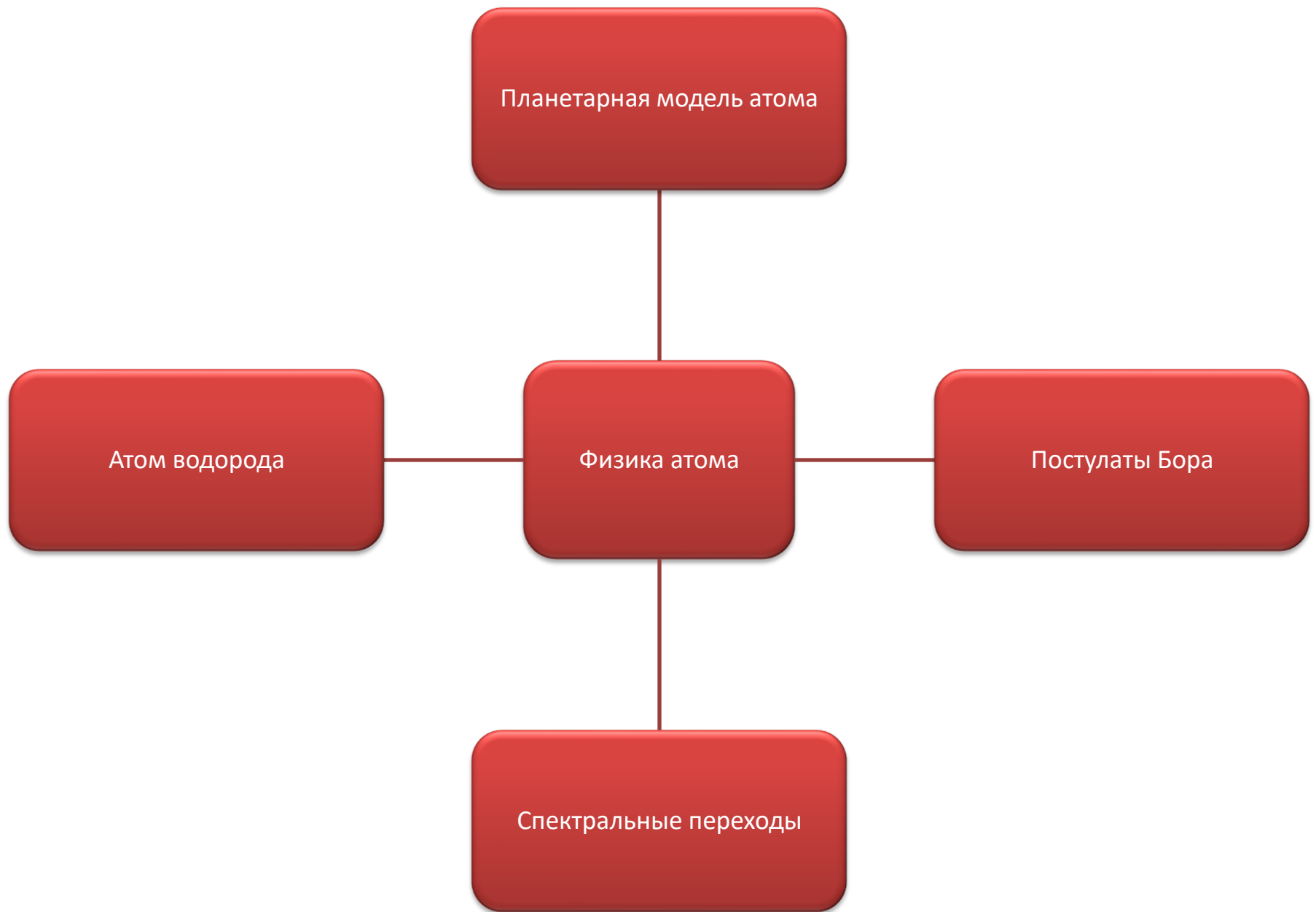
ВОЛНЫ ДЕ БРОЙЛЯ

Любой частице, обладающей импульсом $\vec{p}$, соответствует длина волны де Бройля:

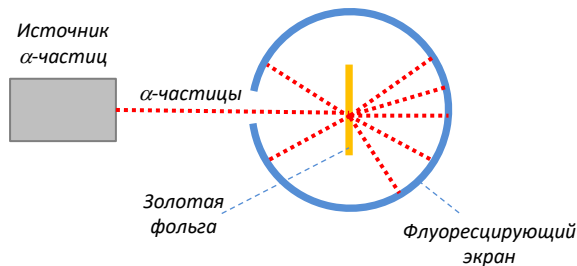
$$\lambda_B = \frac{h}{p}, \quad \text{где } h = 6,6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} - \text{постоянная Планка.}$$

Наличие волновых свойств у микрочастиц означает, что можно наблюдать их интерференцию и дифракцию. В 1927 г. волновые свойства электронов были обнаружены английским физиком Джозефом Томсоном в опытах по дифракции электронов при их прохождении сквозь золотую фольгу:





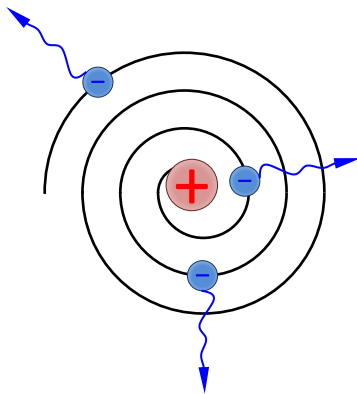
ПЛАНЕТАРНАЯ МОДЕЛЬ АТОМА



Планетарная модель атома обоснована опытами Резерфорда по рассеянию α -частиц на золотой фольге

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПЛАНЕТАРНОЙ МОДЕЛИ АТОМА

- Атом состоит из положительно заряженного ядра, вокруг которого (подобно планетам, обращающимся вокруг Солнца) вращаются отрицательно заряженные электроны.
- Линейный размер ядра ($\sim 10^{-15}$ м) по крайней мере в сто тысяч раз меньше размера атома ($1 \text{ \AA} = 10^{-10}$ м).
- Атом электронейтрален: заряд ядра равен суммарному заряду электронов.
- Масса атома сосредоточена в его ядре: масса ядра много больше массы электронов.



Планетарная модель атома не позволяет объяснить устойчивость атомов. Электроны, вращающиеся вокруг ядра, обладают центростремительным ускорением, а ускоренно движущийся заряд излучает электромагнитные волны. Теряя энергию на излучение, электроны должны упасть на ядро (подобно тому, как искусственный спутник падает на Землю в результате трения о воздух в атмосфере), а атом прекратить существование.

ПОСТУЛАТЫ БОРА

Первый постулат Бора

В устойчивом атоме электрон может двигаться лишь по особым, стационарным орбитам, не излучая при этом электромагнитной энергии.

Правило квантования орбит Бора

На длине окружности каждой стационарной орбиты укладывается целое число n длин волн де Бройля $\lambda_B = \frac{h}{p_e} = \frac{h}{m_e v}$, соответствующих движению электрона: $\frac{2\pi r_n}{\lambda_B} = n$, где $n \in N$ – главное квантовое число.

$$\frac{2\pi r_n}{\lambda_B} = n, \frac{2\pi r_n}{h/m_e v} = n \Rightarrow m_e v r_n = n \frac{h}{2\pi} = n\hbar, \text{ где } \hbar = \frac{h}{2\pi} = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

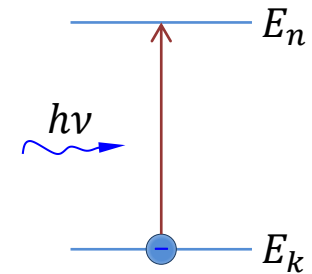
Второй постулат Бора

Излучение света атомом происходит при переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n .

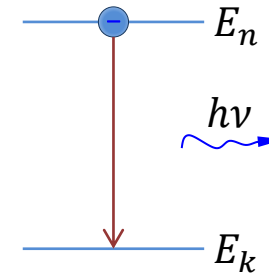
Энергия излученного фотона: $h\nu_{kn} = E_k - E_n$.

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ПЕРЕХОДЫ

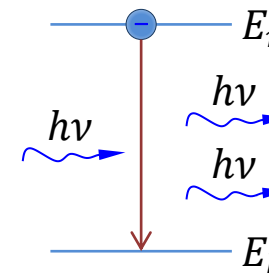
Поглощение кванта электромагнитной энергии, сопровождающееся переходом электрона с низкого на более высокий энергетический уровень.



Спонтанное излучение — испускание кванта электромагнитного излучения при случайном переходе электрона в атоме с высокого на низкий энергетический уровень.



Вынужденное (индуцированное) излучение — испускание кванта электромагнитного излучения при переходе электрона в атоме с высокого на низкий энергетический уровень под действием внешнего (вынуждающего) излучения — лежит в основе работы лазеров.



$$\text{Во всех случаях } h\nu = E_n - E_k$$

АТОМ ВОДОРОДА

$$\begin{cases} m_e v r_n = n \hbar \\ m_e \frac{v^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} \Rightarrow r_n = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2} \cdot n^2, v = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\hbar} \frac{1}{n} \end{cases}$$

$$E_{kn} = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{m_e e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}, \quad E_{pn} = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} = -\frac{m_e e^4}{4 \cdot \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$E_n = E_{kn} + E_{pn} = -\frac{m_e e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 h^2} \cdot \frac{1}{n^2} = -2,18 \cdot 10^{-18} \cdot \frac{1}{n^2} \text{ Дж} = -13,6 \cdot \frac{1}{n^2} \text{ эВ}$$

$$\nu_{kn} = \frac{E_k - E_n}{h} = \frac{m_e e^4}{8 \cdot \epsilon_0^2 h^3} \left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{k^2} \right)$$



НУКЛОННАЯ МОДЕЛЬ ЯДРА

A_ZX — обозначение атомного ядра;

A — число протонов и нейтронов в ядре (атомное число);

Z — число протонов в ядре (атомный номер).

Изотопы — ядра одного и того же химического элемента, отличающиеся числом нейтронов в ядре.

Нуклоны — общее название частиц, входящих в состав атомного ядра. К нуклонам относятся протоны и нейтроны.

Протон — положительно заряженная частица.

Нейтрон — незаряженная частица.

СУБАТОМНЫЕ ЧАСТИЦЫ

Частица	Масса	Заряд
Протон	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг	$1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
Нейтрон	$1,673 \cdot 10^{-27}$ кг	0
Электрон	$1,675 \cdot 10^{-27}$ кг	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

$$\Delta m = (Z \cdot m_p + (A - Z)m_n) - M$$

Δm – дефект массы ядра A_ZX – показывает, насколько масса свободных протонов и нейтронов больше массы ядра атома, которое они образуют.

m_p – масса протона

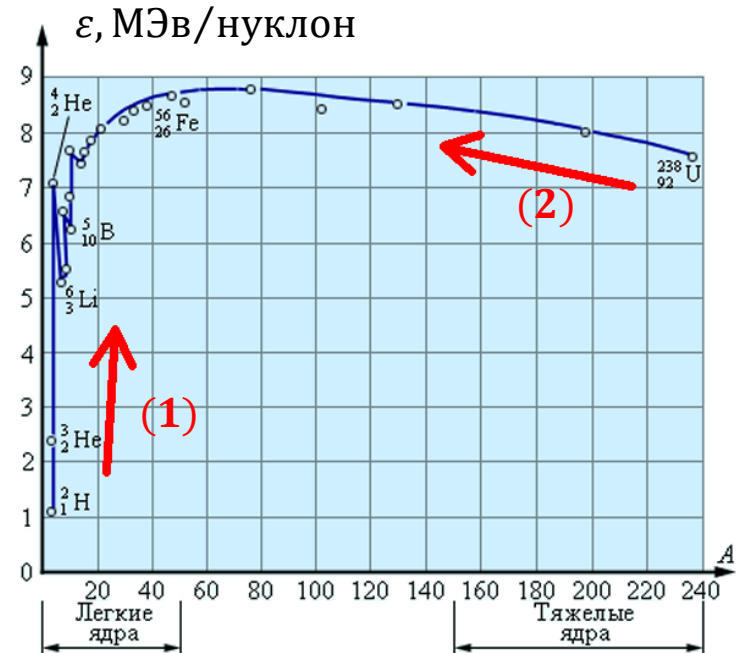
m_n – масса нейтрона

M – масса ядра

$E = \Delta m \cdot c^2$ – энергия связи – энергия, которая выделяется при образовании атомного ядра из свободных протонов и нейтронов.

$\varepsilon = \frac{E}{A}$ – удельная энергия связи – энергия связи, приходящаяся на один нуклон.

Зависимость удельной энергии связи от атомного числа



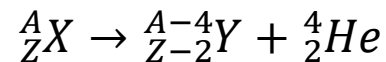
Энергетически возможны два вида ядерных превращений:

- (1) синтез легких ядер;
- (2) деление тяжелых.

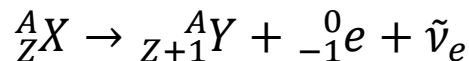
РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивность — явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие с испусканием различных частиц.

Альфа-распад — спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием α -частицы (ядра атома гелия ${}^4_2\text{He}$):



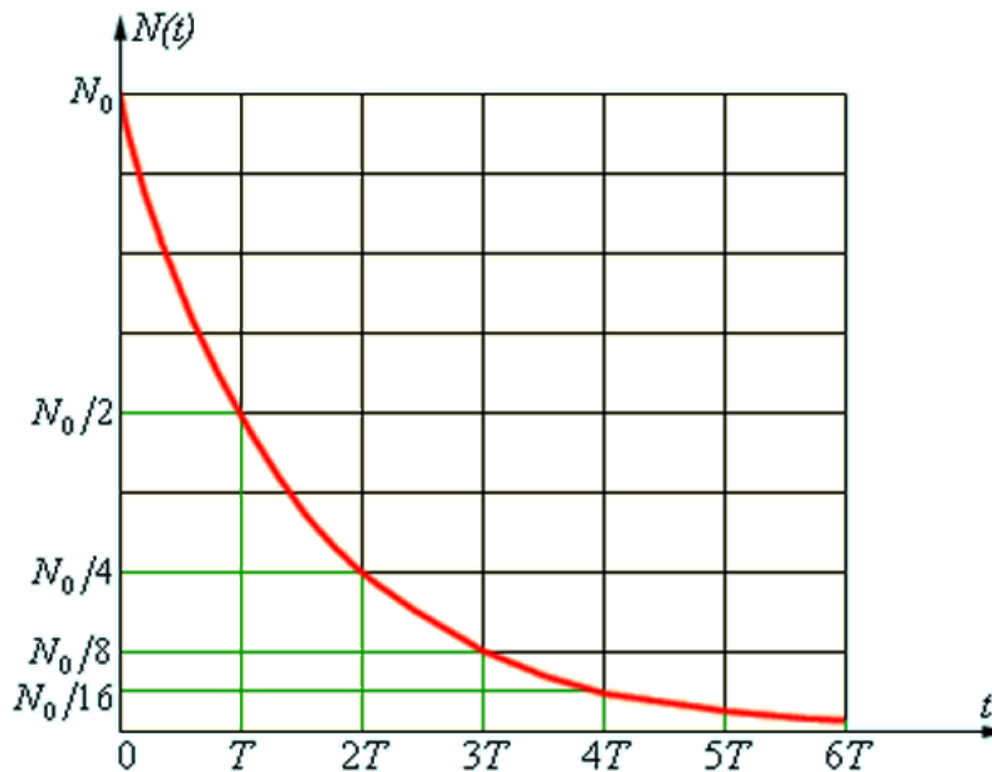
Бета-распад — спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием электрона (${}^0_{-1}e$) и антинейтрино ($\tilde{\nu}_e$):



Суммарное атомное число (A) и суммарный заряд (Z) сохраняются в ходе любых ядерных превращений!

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Период полураспада T — промежуток времени, за который распадется половина первоначального числа атомов N_0 .



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

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Ядерные реакции — это превращения атомных ядер при взаимодействии с элементарными частицами (в том числе и с γ -квантами) или друг с другом. Пример: ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^4_2\text{He}$.

Энергетическим выходом ядерной реакции называется разность энергий покоя ядер и частиц до реакции и после реакции:

$$E = \Delta m \cdot c^2, \quad \Delta m = M_1 - M_2,$$

где M_1 — масса покоя частиц до реакции, M_2 — после, Δm — убыль массы покоя частиц, c — скорость света в вакууме.

Согласно закону сохранения энергии энергетический выход ядерной реакции равен изменению кинетической энергии частиц — участников реакции:

$$E_{2K} - E_{1K} = \Delta m \cdot c^2$$

Если кинетическая энергия ядер и частиц после реакции E_{2K} больше, чем до реакции E_{1K} , то говорят о выделении энергии. В противном случае реакция идет с поглощением энергии.

**Суммарное атомное число (A) и суммарный заряд (Z)
сохраняются в ходе любых ядерных реакций!**