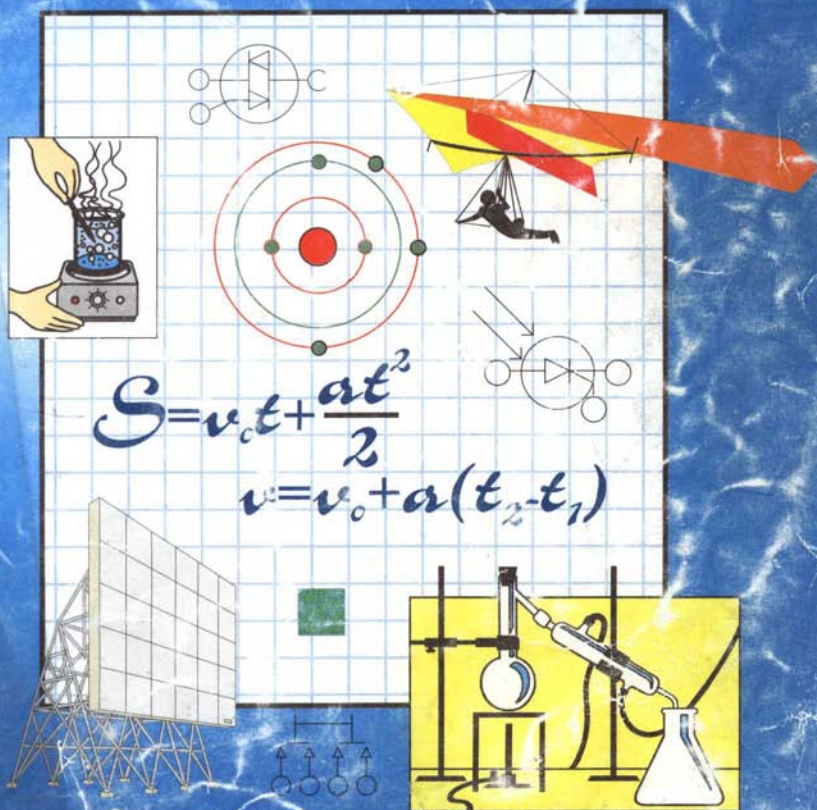


ФИЗИКА

В ФОРМУЛАХ
И СХЕМАХ



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

$$v = v_0 + a(t_2 - t_1)$$

Для школьников и абитуриентов

Физика в формулах и схемах. Для школьников и абитуриентов.
(Составитель Малярова О. В.) СПб, ООО «Виктория плюс», 2003.
— 128 стр.

ISBN 5-89173-951-8

Оформление обложки Шемшуренко Н. В.

© Виктория плюс, составление, оформление, 2003

**КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ВИКТОРИЯ ПЛЮС»
ВЫ МОЖЕТЕ ПРИОБРЕСТИ:**

Заказы по Санкт-Петербургу и России:
(812) 516-58-11, 516-58-05
Электронная почта victory@mailbox.alkor.ru,

В Москве филиал издательства
(095) 488-30-05

А также у нашего представителя
фирмы «Абрис Д»:
(095) 215-29-01, 216-23-62,
тел./факс: (095) 216-26-75
Электронная почта abrisd@mail.ru

Издание осуществлено при участии
ООО «Виктория плюс»

ООО «Легат»

Подписано в печать 25.02.03. Формат 60 x 90 ¹/₁₆.
Бумага газетная. Тираж 10 000 экз.
Заказ № 115.

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ООО «Профпринт»
СПб, Парголово, ул. Ломоносова, 113

МЕХАНИКА

Механика — раздел физики, изучающий механическое движение тел и их взаимодействия.

Основная задача механики — определение положения в пространстве в любой момент времени.

КИНЕМАТИКА

Кинематика — раздел физики, описывающий движение тел, не рассматривающий причин, вызвавших это движение.

Тело отсчета — тело, по отношению к которому рассматривается данное механическое движение.

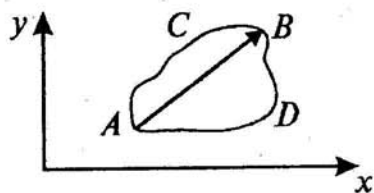
Материальная точка — тело, размерами которого в данных условиях можно пренебречь.

Механическое движение — изменение положения тел в пространстве относительно других тел.

Система отсчета — тело отсчета, система координат, прибор для измерения времени.

Поступательное движение — движение, при котором все точки тела движутся одинаково.

Траектория — линия, по которой движется тело (материальная точка).



Путь, l (м) — длина траектории, скалярная величина.

Перемещение, s (м) — направленный отрезок прямой, соединяющий начальное положение тела (материальной точки) с ее последующим положением. Векторная величина.

Виды механического движения

Равномерное прямолинейное движение — движение, при котором тело за любые равные промежутки времени совершает одинаковые перемещения.

Скорость равномерного прямолинейного движения показывает быстроту изменения координаты тела: $\vec{V} = \frac{\vec{S}}{t} [V] = \text{м/с}$.

Неравномерное прямолинейное движение — движение, при котором тело за равные промежутки времени совершает неодинаковые перемещения.

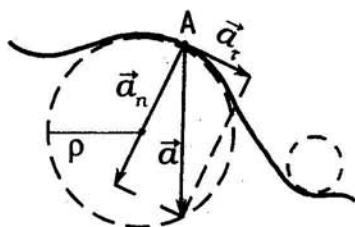
Равнопеременное движение — движение, при котором скорость тела (материальной точки) за любые равные промежутки времени изменяется одинаково.

Ускорение — величина, характеризующая быстроту изменения скорости.

Ускорение, a — физическая величина, равная отношению изменения скорости $\Delta \vec{V}$ к промежутку времени Δt ; $a = \frac{\vec{V} - \vec{V}_0}{\Delta t}$. Ускорение — величина векторная, направление ускорения совпадает с направлением изменения скорости: $[a] = \text{м/с}^2$.

Равноускоренное движение	Равнозамедленное движение
$\vec{a} \downarrow \uparrow \vec{s}$	$\vec{a} \uparrow \uparrow \vec{s}$
$v = v_0 + at$	$v = v_0 - at$
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$s = v_0 t - \frac{at^2}{2}$
$2as = v^2 - v_0^2$	$2as = v^2 - v_0^2$
$x = x_0 + v_0 t + \frac{at^2}{2}$	$x = x_0 + v_0 t - \frac{at^2}{2}$

Криволинейное движение — движение тела, траектория которого представляет собой кривую линию.



Тангенциальное (касательное) ускорение, a_t — составляющая вектора ускорения, направленная вдоль касательной к траектории. Характеризует изменение скорости по модулю.

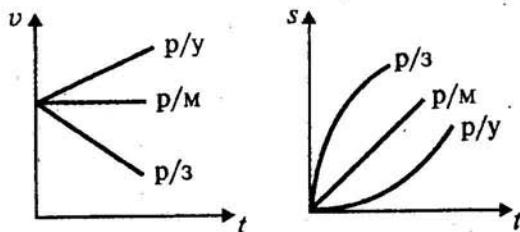
Нормальное ускорение a_n — составляющая вектора ускорения, направленная вдоль нормали к траектории в данной точке (перпендикулярно линейной скорости). Характеризует изменение скорости по направлению. Направлено по радиусу кривизны.

Полное ускорение $a = \sqrt{a_n^2 + a_t^2}$.

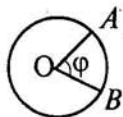
Графики перемещения и ускорения

Функции $x = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$ и $s = x_0 + v_0t + \frac{at^2}{2}$ — квадратичные.

График — парабола.



Движение по окружности.



Угловая скорость, ω — физическая величина, равная отношению угла поворота φ к промежутку времени Δt , $\omega = \varphi / \Delta t$, $[\omega] = \text{рад/с}$ (радиан в секунду).

$$V = R\omega.$$

V — линейная скорость — $V = \frac{m}{C}$

Период обращения, T — время одного полного оборота по окружности. $[T] = \text{с}$

Частота, ν — число оборотов в единицу времени. $[\nu] = \text{Гц}$.

$$T = 1/\nu, \nu = 1/T, \nu = N/t, T = t/N, \omega = 2\pi\nu.$$

t — время, N — число оборотов.

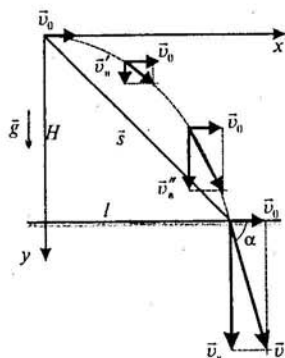
Движение тела, брошенного горизонтально или под углом к горизонту.

1. Это движение в плоскости, поэтому для описания движения необходимо 2 координаты.

2. Считаем, что движение происходит вблизи поверхности Земли, поэтому ускорение тела — ускорение свободного падения ($a = g$).

Так как пренебрегаем сопротивлением воздуха, то ускорение направлено только к поверхности Земли (g) — вдоль вертикальной оси (y), вдоль оси x движение равномерное и прямолинейное.

Движение тела, брошенного горизонтально.



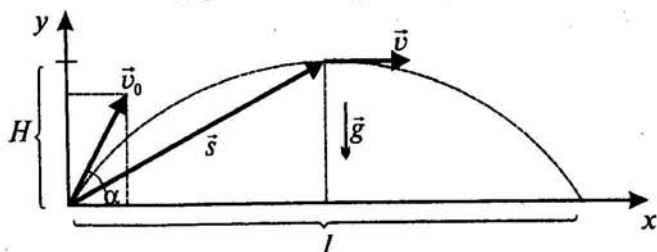
$$\begin{cases} v_x = v_0 \\ v_y = -gt \end{cases}$$

$$\begin{cases} x = v_0 t \\ y = y_0 - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

$$\begin{cases} t = \frac{x}{v_0} \\ Y = y_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2} \end{cases}$$

— между координатами квадратичная зависимость, траектория — парабола!

Движение тела под углом к горизонту.



$$x_0 = 0 \text{ и } y_0 = 0.$$

$$\begin{cases} v_x = v_{0x} \cos \alpha \\ v_y = v_{0y} \sin \alpha \\ x = v_x \cdot t = v_{0x} t \cos \alpha \\ y = v_{0y} \cdot t - \frac{gt^2}{2} = v_{0y} t \sin \alpha - \frac{gt^2}{2} \end{cases}$$

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x - \frac{g}{2v_{0x}^2} x^2, \text{ траектория — парабола.}$$

$$\text{Время полета } t_{\text{пол}} = \frac{2v_{0y}}{g} = \frac{2v_0 \cos \alpha}{g}.$$

$$L = v_x t_{\text{пол}} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}, \text{ L — дальность полета.}$$

Максимальная дальность полета будет наблюдаться при бросании тела (при стрельбе, например) под углом 45° ;

Максимальная высота, которую может достичь тело:

$$h_{\text{max}} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Время, за которое тело долетит до середины, равно:

$$t = \frac{v_{0y}}{g} = \frac{v_0 \cos \alpha}{g}.$$

Скорость тела в любой момент времени направлена по касательной к траектории движения (параболе) и равна $V = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 \cos^2 \alpha + (v_0 \sin \alpha - gt)^2}$

Угол, под которым направлен вектор скорости в любой момент времени: $\text{tg} \varphi = \frac{v_y}{v_x}$.

Относительность механического движения

1. Механическое движение можно наблюдать только относительно других тел. Обнаружить изменение положения тела, если не с чем сравнивать невозможно.

2. В различных системах отсчета физические величины (скорость, ускорение, перемещение и т. д.), характеризующие движение одного и того же тела, могут быть различными.

3. Характер движения, траектория движения и т. п. могут быть различны в разных системах отсчета для одного и того же тела.

Пусть две системы отсчета (СО) движутся друг относительно друга с постоянной скоростью \vec{u} .

Время течет в обеих СО одинаково.

Будем условно называть систему К неподвижной, а систему K_1 — движущейся. Тогда для случая, когда координаты y и z не меняются, получим:

$$\begin{cases} x = x_1 + ut \\ y = y_1 \\ z = z_1 \\ t = t_1 \end{cases} \quad \text{или} \quad \begin{cases} x_1 = x - ut \\ y_1 = y \\ z_1 = z \\ t_1 = t \end{cases} \quad \text{— преобразования Галилея.}$$

$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{u}$ — закон сложения скоростей. Скорость точки относительно неподвижной СО равна векторной сумме скорости точки относительно подвижной СО и скорости самой подвижной СО относительно неподвижной.

Скорость подвижной СО относительно неподвижной называется переносной скоростью. При решении задач часто бывает удобно принимать одно из движущихся относительно Земли тел за неподвижное. Тогда скорость Земли в этой СО будет равна по величине и противоположна по направлению скорости данного тела.

Если скорости v_1 и u сонаправлены (тела сближаются), то их проекции складываются, если противоположно направлены (тела удаляются) — вычитаются.

Если скорости направлены под прямым углом — $v = \sqrt{v_1^2 + u^2}$, если угол произвольный, то необходимо пользоваться теоремой

косинусов: $v = \sqrt{v_1^2 + u^2 - 2v_1u \cos \alpha}$, где $\alpha = \angle(\vec{v}, \vec{u})$. Эти выводы справедливы для скоростей много меньших скорости света в вакууме ($3 \cdot 10^8$ м/с.)

ДИНАМИКА

Динамика — раздел механики, изучающий движение тел под действием приложенных к нему сил.

Законы Ньютона

Первый закон Ньютона (закон инерции).

Существуют такие системы отсчета, относительно которых поступательно движущееся тело сохраняет свою скорость постоянной, если на него не действуют другие тела или действия других тел компенсируют друг друга. Такие системы отсчета называются инерциальными.

Инертность — свойство присущее всем телам и заключающееся в том, что тела оказывают сопротивление изменению их скорости (как по модулю, так и по направлению).

Второй закон Ньютона.

Ускорение, полученное телом в результате взаимодействия, прямо пропорционально равнодействующей всех сил, действующих

на тело, и обратно пропорционально массе тела:
$$\vec{a} = \frac{\sum \vec{F}}{m}.$$

Выражение справедливо для любых сил любой природы.

Сила (равнодействующая сил) определяет только ускорение тела. Величины скорости и перемещения могут быть любыми в зависимости от начальных условий.

Третий закон Ньютона.

Любые два тела взаимодействуют силами одной природы направленными вдоль одной прямой, равными по величине и противоположными по направлению.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

Свойства этих сил:

1. Всегда действуют парами.
2. Одной природы.
3. Силы приложены к разным телам! (F_1 — к первому телу, F_2 — ко второму телу). Нельзя складывать! Не уравнивают друг друга!

Законы Ньютона выполняются в системе, т. е. одновременно и только в инерциальных системах отсчета. 1-й закон позволяет отобрать ИСО. 2-й закон позволяет по известным силам найти ускорение тела. 3-й закон позволяет связать между собой взаимодействующие тела.

Силы в природе

Сила всемирного тяготения

Закон всемирного тяготения.

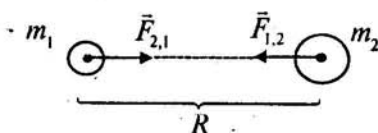
Тела притягиваются друг к другу с силой, модуль которой пропорционален произведению их масс и обратно пропорционален квадрату расстояния между ними.

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

G — Гравитационная постоянная, численно равная силе взаимодействия двух материальных точек массами по 1 кг каждое, находящихся на расстоянии 1 м друг от друга.

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ нм}^2/\text{кг}^2$$

Впервые прямые измерения гравитационной постоянной провел Г. Кавендиш с помощью крутильных весов в 1798 г.



Сила тяжести — сила притяжения тел к Земле.

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

$F = mg$ по второму закону Ньютона, то $g = G \frac{M}{R}$, где g — ускорение свободного падения.

$g = 9,8 \text{ м/с}^2$ — зависит от географической широты, вблизи полюсов $g = 9,83 \text{ м/с}^2$, вблизи экватора $g = 9,78 \text{ м/с}^2$.

Первая космическая скорость — минимальная скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно смогло двигаться вокруг Земли по круговой орбите. $V_1 = 7,9 \text{ м/с}$.

Вторая космическая скорость — наименьшая скорость, которую надо сообщить телу, чтобы оно могло преодолеть притяжение Земли и превратилось в спутник Солнца. $V_2 = 11,2$ м/с.

Третья космическая скорость — скорость, которую необходимо сообщить телу, чтобы оно покинуло пределы Солнечной системы, преодолев притяжение Солнца. $V_3 = 16,7$ м/с.

Сила упругости

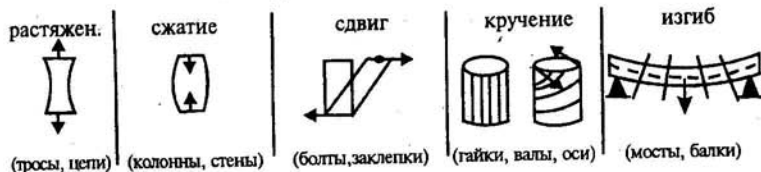
Сила упругости — сила, возникающая при деформации тела и направленная в сторону противоположную перемещению частиц тела при деформации. Имеет электромагнитную природу.

Деформация — изменение формы и/или объема тела под действием внешних сил.

Упругие деформации — деформации, которые полностью исчезают после прекращения действия сил.

Пластические деформации — деформации, которые не исчезают после действия сил.

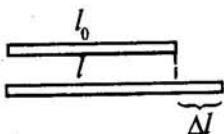
Виды деформаций:



Для малых упругих деформаций растяжения и сжатия выполняется закон Гука

Сила упругости, возникающая при деформации тела, пропорциональна удлинению и направлена противоположно направлению перемещению частиц тела относительно других частиц при деформации.

$F_{\text{упр}} = -kx$, k — жесткость тела, $x = \Delta l$, где $\Delta l = l - l_0$ — удлинение тела.



Примеры сил упругости

Сила реакции опоры — \vec{N} действует со стороны опоры на тело.

Сила нормального давления действует со стороны тела на опору (вес).

Сила натяжения — \vec{F} направлена вдоль нити, троса.



Сила трения

Внешнее трение — механическое сопротивление, возникающее между различными соприкасающимися телами при их относительном перемещении.

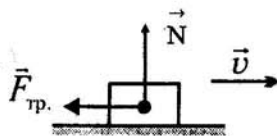
Внутреннее трение — трение, возникающее между частями одного и того же тела.

Сухое трение — трение между поверхностями соприкасающихся твердых тел.

Сила трения — сила, возникающая при непосредственном соприкосновении тел, направленная вдоль поверхностей соприкосновения противоположно скорости их относительного перемещения.

Сила трения покоя — сила трения, препятствующая возникновению движения одного тела по поверхности другого.

$F_{\max} = \mu_0 N$, μ_0 — коэффициент трения покоя, N — сила нормального давления.



Сила трения скольжения — возникает при относительном перемещении тел.

Причина возникновения — разрушение неровностей при относительном движении, преодоление сил межмолекулярного взаимодействия.

$F = \mu N$, μ — коэффициент трения скольжения, N — сила нормального давления.

Сила трения качения — возникает при качении одного тела по поверхности другого.

$$F_k = \mu \frac{P}{R}$$

Величина силы трения скольжения слабо зависит от скорости относительного движения тел и практически не зависит от площади поверхности.

Коэффициент трения скольжения зависит от материала соприкасающихся поверхностей и от качества их обработки. Не зависит от площади поверхностей.

Вязкое трение — трение между поверхностью твердого тела и окружающей его жидкой или газообразной средой.

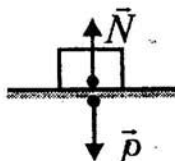
Проявляется только при относительном движении тела и окружающей среды.

$F \sim V$ при малых скоростях.

$F \sim V^2$ при больших скоростях.

Вес тела — сила, с которой тело, вследствие притяжения к Земле, действует на горизонтальную опору или растягивает подвес.

P — вес тела.



Невесомость — состояние, когда тело не давит на опору или подвес вследствие притяжения к Земле. Движение происходит под действием только силы тяжести.

При движении тела с ускорением вертикально вверх вес тела увеличивается: $P = m(g + a)$.

При движении тела с ускорением вертикально вниз вес тела уменьшается: $P = m(g - a)$.

Архимедова (выталкивающая) сила.

1. Давление столба жидкости или газа.

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \rho gh, \text{ где } S \text{ — площадь, } h \text{ — высота столба}$$

жидкости или газа, ρ — плотность жидкости или газа.

Внимание! Давление столба жидкости или газа (гидростатическое давление) не зависит от формы сосуда.

2. Причины возникновения выталкивающей силы.

$F_{\text{выталкивающая}} = F_2 - F_1$ — причина возникновения выталкивающей силы в разности сил (давлений) на разных глубинах.

Внимание! Эта формула применима всегда!

$F_{\text{выталкивающая}} = p_2S - p_1S = S\rho g(h_2 - h_1) = g\rho V$, где ρ — плотность жидкости или газа, V — объем погруженной части тела.

Т. к. $m = \rho V$ — масса жидкости, вытесненной телом, то $F_{\text{выт}} = F_{\text{Арх.}} = m_{\text{ж}}g = P_{\text{ж}}$.

На тело, погруженное в жидкость (или газ), действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (газа), вытесненной телом.

3. Вес тела, погруженного в жидкость или газ.

В состоянии покоя $P_0 = mg$. Если тело погружено в жидкость или газ, то $P = P_0 - F_{\text{Арх}} = P_0 - P_{\text{ж}}$.

Тело, погруженное в жидкость или газ, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость.

4. Условия плавания тел.

а) Если $F_{\text{Арх}} > mg$ — тело всплывает, до тех пор, пока силы не уравновесятся.

б) $F_{\text{Арх}} < mg$ — тело тонет.

в) $F_{\text{Арх}} = mg$ — тело плавает в любой точке жидкости (газа).

Подъемная сила.

$F_{\text{п}} = F_{\text{Арх}} - mg$ — максимальный вес, который может поднять плавающее тело.

ИМПУЛЬС

Импульс силы — мера действия силы за некоторый промежуток времени.

Импульс силы — физическая величина равная произведению силы на промежуток времени.

$$\vec{F}\Delta t$$

Импульс тела — физическая величина равная произведению массы тела на его скорость.

$$\vec{P} = m\vec{v}$$

Импульс силы равен изменению импульса тела. (Второй закон Ньютона в импульсной форме).

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

Закон сохранения импульса.

Векторная сумма импульсов тел, составляющих замкнутую систему, остается неизменной при любых взаимодействиях тел этой системы.

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \dots + \vec{P}_m = \text{const}$$

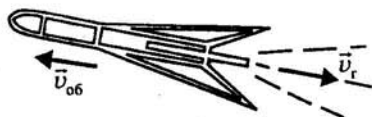
Замкнутая система — система тел, которые взаимодействуют только друг с другом и не взаимодействуют с другими телами.

Закон сохранения импульса можно применять для незамкнутых систем, если

- внешние силы уравновешиваются;
- если сумма проекций сил на какую либо ось равна нулю;
- при быстрых взаимодействиях.

Применение закона сохранения импульса.

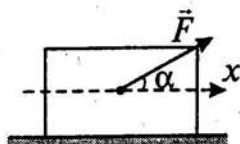
Реактивное движение.



РАБОТА. МОЩНОСТЬ

Механическая работа — физическая величина, равная произведению модулей силы и перемещения на косинус угла между ними. Работа — скалярная величина

$$A = Fs \cos \alpha, [A] = \text{Дж (Джоуль)}$$



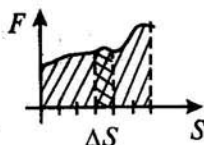
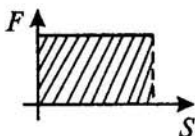
Сила совершает работу, если тело движется под действием этой силы

$$A = 0, \vec{F} \perp \vec{s}$$

$$A > 0, 0^\circ < \alpha < 90^\circ$$

$$A < 0, 90^\circ < \alpha < 180^\circ$$

Если величина силы, действующей на тело зависит от координаты, то работа этой силы равна площади под графиком функции $F(x)$.



Мощность — характеризует быстроту совершения работы.

Мощность — физическая величина, равная отношению работы к промежутку времени, в течении которого она была совершена.

$$N = \frac{A}{t}, [N] = \text{Вт (Ватт)}$$

ЭНЕРГИЯ

Энергия — физическая величина, являющаяся количественной мерой движения и взаимодействия всех видов материи. Равна работе, которую может совершить тело или система тел при переходе из данного состояния на нулевой уровень.

Кинетическая энергия — энергия, которой обладает тело вследствие своего движения.

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

Потенциальная энергия — энергия, обусловленная взаимодействием различных тел или частей одного тела. Зависит от взаимного расположения тел или величины деформации тела.

Потенциальная энергия тела, поднятого на высоту, намного меньше радиуса Земли

$$E_p = mgh$$

Нулевой уровень соответствует $h = 0$

Потенциальная энергия деформированного тела

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

Нулевой уровень соответствует $x = 0$

Потенциальная энергия гравитационного взаимодействия

$$E_p = G \frac{Mm}{R^2}$$

Нулевой уровень соответствует $R \rightarrow \infty$

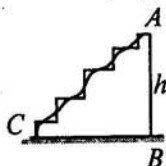
Закон сохранения механической энергии

Полная механическая энергия замкнутой системы, в которой действуют только потенциальные силы (силы упругости и тяготения), не изменяется.

$$E_k + E_p = \text{const}$$

Работа силы тяжести — не зависит от траектории движения тела и всегда равна изменению потенциальной энергии тела, взятому с противоположным знаком.

$$A = -(mgh_2 - mgh_1) = -\Delta E_p$$



Работа силы упругости — равна изменению потенциальной энергии, взятому с противоположным знаком.

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

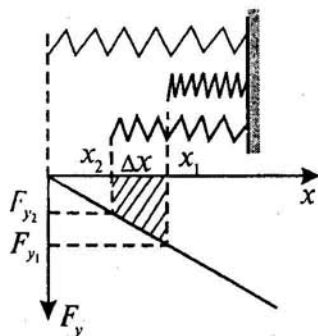
Теорема о кинетической энергии

Работа равна изменению кинетической энергии

$$A = \Delta E_k = \frac{m\Delta v^2}{2}$$

Коэффициент полезного действия (кпд) — отношение полезной работы к затраченной.

$$\eta = \frac{A_n}{A_z} 100\%, \text{ измеряется в процентах.}$$



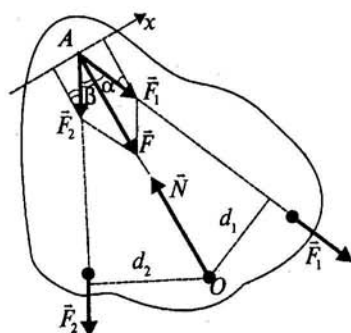
СТАТИКА

Статика — раздел механики, в котором рассматривается равновесие тел.

Момент силы — физическая величина, равная произведению силы на плечо силы

$$M = F \times d \text{ [M]} = \text{нм}$$

d — плечо силы



Плечо силы — расстояние от оси вращения до линии действия силы.

Момент силы, вращающий тело против часовой стрелки считается положительным, а момент, вращающий тело по часовой стрелки — отрицательным.

Центр масс — точка, через которую должна проходить линия действия силы, чтобы под действием этой силы тело двигалось поступательно.

Центр тяжести — точка приложения силы тяжести, действующей на тело. В однородном теле центр тяжести и центр масс совпадают.

Условия равновесия тел

Равновесие твердого тела относительно инерциальной системы отсчета — это такое состояние, при котором тело может покоиться; двигаться поступательно; равномерно и прямолинейно; равномерно вращаться относительно оси, проходящей через центр масс.

1. Векторная сумма всех сил, действующих на тело равна нулю.

$$\sum \vec{F} = 0$$

2. Алгебраическая сумма моментов всех сил, действующих на тело, равна нулю

$$\sum M = 0$$

Если тело имеет закрепленную ось вращения, то следует учитывать только второе условие равновесия.

Виды равновесия

Устойчивое	Неустойчивое	Безразличное
<p>При малом отклонении тела от положения равновесия возникает сила, стремящаяся вернуть тело в исходное положение</p> 	<p>При малом отклонении тело остается в равновесии</p> 	<p>При малом отклонении тела от положения равновесия возникают силы, стремящиеся увеличить это отклонение</p> 

В положении устойчивого равновесия тело обладает минимальной потенциальной энергией, при выведении из этого положения потенциальная энергия увеличивается.

Простые механизмы

Рычаг — твердое тело, которое может вращаться вокруг неподвижной оси.

Условие равновесия рычага: $F_1L_1 = F_2L_2$

Неподвижный блок — представляет собой равноплечий рычаг. Не дает выигрыша в силе, но позволяет менять ее направление.

Подвижный блок — представляет собой рычаг, у которого одно плечо в два раза больше второго. Поэтому он дает выигрыш в силе в два раза.

*Ни один из простых механизмов
выигрыша в работе не дает.*

ГИДРОСТАТИКА И АЭРОСТАТИКА

Давление жидкостей и газов

Давление — физическая величина, равная отношению силы, действующей перпендикулярно поверхности к площади этой поверхности.

$$P = \frac{F}{S}; [p] = \text{Па (Паскаль)}$$

Закон Паскаля — давление, оказываемое на жидкость или газ, передается без изменения в каждую точку жидкости или газа

Давление жидкости на дно и стенки сосуда.

Зависит от глубины и плотности жидкости. $P = \rho gh$.

Закон сообщающихся сосудов. В сообщающихся сосудах любой формы свободные поверхности однородной жидкости находятся на одном уровне.

Атмосферное давление

Обусловлено весом воздушного столба. Действует на все тела, находящиеся на поверхности Земли. Нормальное атмосферное давление 101 кПа (760 мм рт.ст.) Атмосферное давление уменьшается с увеличением высоты (на каждые 12 м уменьшается примерно на 1 мм рт.ст.).

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА

МОЛЕКУЛЯРНО — КИНЕТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ

Молекулярная физика — раздел физики, в котором изучаются физические свойства вещества в различных агрегатных состояниях, на основе рассмотрения их молекулярного строения.

Молекула — мельчайшая частица вещества, сохраняющая его химические свойства.

Количество вещества ν — величина пропорциональная числу молекул N данного вещества.

Моль — количество вещества, в котором содержится столько же молекул, сколько атомов углерода содержится в 0,012 кг углерода C^{12} .

Число Авогадро — число молекул в одном моле вещества

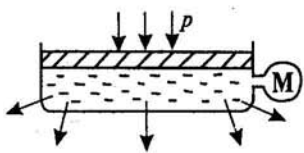
$$N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

Молярная масса $[\mu]$ — масса одного моля вещества

Основные положения молекулярно-кинетической теории (МКТ)

1. Все вещества состоят из молекул (атомов)
2. Молекулы (атомы) находятся в непрерывном хаотическом движении
3. Молекулы (атомы) взаимодействуют друг с другом — притягиваются и отталкиваются.

Подтверждение основных положений МКТ

Прямые	Косвенные
Наблюдение строения вещества в электронный микроскоп	Диффузия — явление проникновения молекул одного вещества в промежутки между молекулами другого вещества
 <p>Проникновение масла сквозь стенки сосуда</p>	Броуновское движение — хаотическое движение взвешенных в жидкости или газе частиц под действием ударов молекул жидкости или газа

Вещества могут находиться в различных агрегатных состояниях

	Соотношение расстояний между частицами с их размерами	Взаимодействие частиц	Характер движения частиц	Свойства вещества
Газообразное состояние	$R > d$	Силы взаимодействия чрезвычайно малы	Хаотическое движение, частицы свободно движутся среди других частиц	Не сохраняют ни формы, ни объема. Могут неограниченно расширяться. Легко сжимаемы
Жидкое	$R \approx d$	Проявляются силы взаимного притяжения и отталкивания	Колебательно-поступательное движение	Сохраняют объем, но легко меняют свою форму. Плохо сжимаемы. Текучи
Твердое	$R \approx d$	Проявляются силы взаимного притяжения и отталкивания	Колебательное движение около положения равновесия	Сохраняют объем и форму. Упруги. Пластичны

Идеальный газ

Идеальный газ — модель реального газа, согласно которой:

1. Размеры молекул газа пренебрежительно малы по сравнению с расстоянием между ними.
2. Между молекулами отсутствуют силы взаимодействия.
3. Столкновения молекул газа между собой и стенками сосуда абсолютно упругие.
4. Движение молекул подчиняется законам Ньютона.

Основное уравнение мкт идеального газа

$$p = \frac{1}{3} n m_0 \bar{v}^2$$

p — давление, n — концентрация молекул (число молекул в единице объема), m_0 — масса одной молекул, \bar{v}^2 — средний квадрат скорости молекул

Другие формы записи этого уравнения.

$$p = \frac{2}{3}n\bar{E}_k, \quad p = \frac{1}{3}\rho\bar{v}^2,$$

где \bar{E}_k — средняя кинетическая энергия поступательного движения молекул, ρ — плотность газа.

Температура — физическая величина, характеризующая степень нагретости тела.

Измеряется термометрами, действие некоторых (ртутных, спиртовых) основано на тепловом расширении жидкостей при нагревании.

Абсолютная температура — температура, измеренная по шкале Кельвина.

Соотношение между абсолютной температурой и температурой по шкале Цельсия

$$T = t + 273$$

Температура — величина пропорциональная средней кинетической энергии хаотического движения молекул.

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2}kT,$$

где k — постоянная Больцмана, $k = 1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К; n — концентрация, T — абсолютная температура.

$$P = nkT$$

Уравнение состояния идеального газа (Уравнение Менделеева — Клапейрона)

Связывает между собой основные параметры, характеризующие состояние газа — давление P , объем V и температуру T .

$$pV = \frac{m}{\mu}RT,$$

R — универсальная газовая постоянная $R = 8,31$ Дж/К.моль; m — масса газа, μ — молярная масса газа

При $m = \text{const}$ уравнение примет вид

$$\frac{PV}{T} = \text{const}$$

Изопроцессы — процессы, происходящие при постоянном значении одного из параметров состояния (T , P , V) с данной массой газа.

Название процесс	Постоянный параметр	Математическая запись закона	Графики процессов в системе координат p-v, p-T, v-T
Изотермический	$T = \text{const}$	$PV = \text{const}$ Закон Бойля-Мариотта $P_1 V_1 = P_2 V_2$	
Изобарный	$p = \text{const}$	$\frac{V}{T} = \text{const}$ Закон Гей-Люссака $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$	
Изохорный	$V = \text{const}$	$\frac{P}{T} = \text{const}$ Закон Шарля $\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2}$	

ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИКИ

Термодинамика — раздел физики, изучающий общие свойства макроскопических систем, находящихся в состоянии термодинамического равновесия, и процессы перехода между этими состояниями.

Термодинамическая система — совокупность макроскопических тел, которые взаимодействуют и обмениваются энергией, как между собой, так и с другими телами.

Термодинамические параметры — физические величины, характеризующие состояние термодинамической системы (давление, объем, температура).

Термодинамическое равновесие — такое состояние термодинамической системы, при котором параметры системы не меняются со временем.

Внутренняя энергия — энергия физической системы, зависящая от ее внутреннего состояния, характера движения и взаимодействия частиц в системе. Равна сумме энергии хаотического (теплового) движения всех частиц тела и энергии взаимодействия этих частиц.

$$U = E_p + E_k$$

Внутренняя энергия идеального газа.

Потенциальная энергия взаимодействия равна нулю, внутренняя энергия идеального газа равна сумме кинетических энергий хаотического движения всех молекул.

$$U = NE = \nu N_a \frac{3}{2} kT = \frac{3m}{2\mu} RT = \frac{3}{2} PV$$

Способы изменения внутренней энергии

Теплопередача	Совершение работы
Изменение внутренней энергии тела без совершения работы. Энергия передается от более нагретых тел (или участков тел) к менее нагретым телам	Изменение энергии тела за счет совершения работы (нагревание при трении или при сжатии, охлаждение при расширении)

Виды теплопередачи

Теплопроводность — явление передачи энергии от более нагретых участков тела к менее нагретым в результате теплового движения и взаимодействия частиц, из которых состоит тело	Конвекция — процесс теплообмена, осуществляемый путем переноса энергии потоками жидкости или газа	Излучение — перенос энергии от одного тела к другому, обусловленный процессами испускания, распространения, рассеяния и поглощения электромагнитного излучения
---	---	--

Количество теплоты — энергия, переданная системе или полученная системой при теплообмене. $[Q] = \text{Дж}$

Тепловое явление	Формулы расчета
Нагревание или охлаждение тела	$Q = cm\Delta t$, c — удельная теплоемкость вещества $[c] = \text{Дж/кг } ^\circ\text{C}$ Δt — разность температур
Кипение или конденсация	$Q = Lm$, L — удельная теплота парообразования $[L] = \text{Дж/кг}$
Плавление или отвердевание	$Q = \lambda m$, λ — удельная теплота плавления $[\lambda] = \text{Дж/кг}$
Сгорание топлива	$Q = qm$, q — удельная теплота сгорания $[q] = \text{Дж/кг}$

Уравнение теплового баланса.

$$Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n = 0$$

Q_1, Q_2, Q_n — количество теплоты, полученное или отданное соответствующим телом.

Законы термодинамики

Первый закон термодинамики

Изменение внутренней энергии системы при переходе ее из одного состояния в другое равно сумме работы внешних сил и количества теплоты переданного системе.

$$\Delta U = A_{\text{вн}} + Q$$

Работа и количество теплоты зависят от процесса перехода системы из одного состояния в другое, при одних и тех же начальном и конечном состояниях работа и количество теплоты могут быть различными. Изменение внутренней энергии зависит только от начального и конечного состояний.

Второй закон термодинамики (две формулировки).

Невозможен процесс, при котором теплота переходила бы самопроизвольно от тел более холодных к телам более нагретым (Клаузиус).

Невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение теплоты в эквивалентную ей работу (Кельвин).

✓ Адиабатный процесс — процесс, при котором система не получает тепло извне и не отдает его, то есть процесс происходит без теплообмена. $Q = 0$

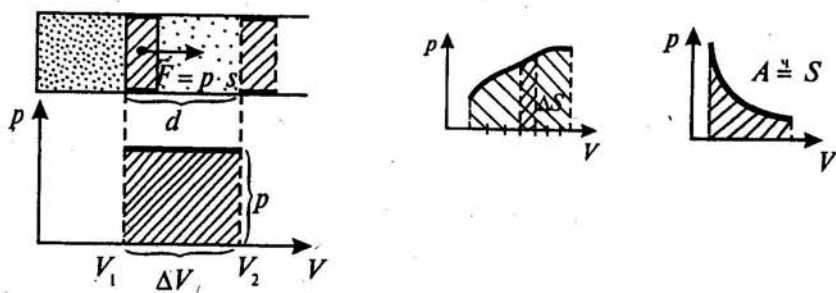
$$\Delta U = A$$

Работа в термодинамике

✓ При малых изменениях объема работа газа равна

$$A = p \Delta V$$

Графически работа в термодинамике определяется площадью фигуры, заключенной между линией графика, осью абсцисс и двумя ординатами.



Применение первого закона термодинамики к изопроцессам

Название процесса	Запись закона	Изменение внутренней энергии	Физический смысл первого закона термодинамики
Изохорный	Нагревание $\Delta U = Q$	$\Delta U > 0$	Внутренняя энергия газа увеличивается за счет подводимого тепла
	Охлаждение	$\Delta U < 0$	Внутренняя энергия уменьшается за счет того, что газ передает тепло окружающей среде

Название процесса	Запись закона	Изменение внутренней энергии	Физический смысл первого закона термодинамики
Изотермический	Расширение $A_{\Gamma} = Q$	$\Delta U = 0$	Все переданное газу тепло идет на совершение работы
	Сжатие $A_{\text{вн.с}} = -Q$	$\Delta U = 0$	При совершении работы внешними силами газ отдает тепло
Изобарный	Нагревание (расширение) $Q = \Delta U + A_{\Gamma}$	$\Delta U > 0$	Подводимое к газу тепло идет на увеличение его внутренней энергии и на совершение газом работы
	Охлаждение (сжатие)	$\Delta U < 0$	Внутренняя энергия уменьшается за счет того, что над газом совершается работа он отдает тепло окружающей среде
Адиабатный	$\Delta U = -A_{\Gamma} - Q$		
	Расширение $\Delta U = -A_{\Gamma}$	$\Delta U < 0$	Внутренняя энергия газа уменьшается за счет того, что газ совершает работу без охлаждения
	Сжатие	$\Delta U > 0$	Работа внешних сил идет на увеличение внутренней энергии газа. Газ нагревается
	$\Delta U = A_{\text{вн.с}}$		

Тепловые двигатели

Устройства, превращающие внутреннюю энергию топлива в механическую энергию.

Энергия, выделившаяся при сгорании топлива в нагревателе, передается рабочему телу — газу. Расширяясь, газ, совершает механическую работу. Чтобы двигатель мог работать циклически, необходимо сжать газ после расширения. Для уменьшения работы, совершаемой над газом при сжатии, его охлаждают, используя холодильник (обычно это окружающая среда).



$$\text{КПД теплового двигателя } \eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

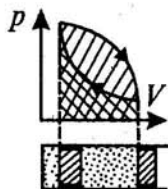
Q_1 — Количество теплоты, полученное от нагревателя Q_2 — количество теплоты, переданное холодильнику.

КПД теплового двигателя, работающего при температуре нагревателя T_1 , температуре холодильника T_2 не может превышать

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

Круговые процессы

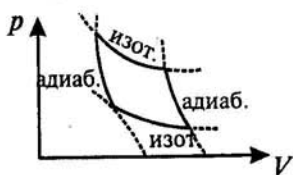
Если в результате изменений система вернулась в исходное состояние, то говорят, что она совершила круговой процесс или цикл.



Суммарная работа за процесс численно равна площади, ограниченной линией процесса.

Цикл Карно. Из всех тепловых машин, работающих в контакте с нагревателем T_1 и холодильником T_2 максимально возможный КПД достигается в равновесном (обратном) цикле Карно, состоящем из двух изотерм и двух адиабат. КПД не зависит от вида машины

и используемого рабочего вещества устройства, а зависит только от температур T_1 и T_2 .



Свойства жидкостей и твердых тел

Взаимные превращения газов, жидкостей и твердых тел

Плавление — переход вещества из твердого состояния в жидкое

Парообразование — процесс превращения жидкости в газ

Испарение — процесс парообразования, происходящий при любой температуре со свободной поверхности жидкости

Отвердевание — переход вещества из жидкого состояния в твердое

Конденсация — процесс превращения пара в жидкость

Кипение — процесс парообразования, происходящий при температуре кипения во всем объеме жидкости

Динамическое равновесие — число молекул, испаряющихся с поверхности жидкости в единицу времени, равно числу возвращающихся молекул.

Насыщенный пар — пар находящийся в динамическом равновесии со своей жидкостью.

Давление насыщенного пара зависит только от температуры.

Ненасыщенный пар — пар находящийся при давлении ниже давления насыщенного пара.

Относительная влажность воздуха. Отношение давления водяного пара P , содержащегося в воздухе при данной температуре к давлению насыщенного водяного пара P_H при той же температуре, выраженное в процентах: $\varphi = \frac{P}{P_H} 100\%$.

Точка росы. Температура, при которой водяной пар становится насыщенным.

Критическая температура. Для каждого вещества существует критическая температура, при которой исчезает разница между жидкостью и ее насыщенным паром.

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

ЭЛЕКТРОСТАТИКА

Электростатика — раздел физики, изучающий неподвижные электрические заряды.

Электрический заряд — величина, характеризующая способность частицы вещества к электрическому взаимодействию: $[g]$ — Кл (Кулон).

Закон сохранения электрического заряда

Электрический заряд изолированной системы остается постоянным при любых физических процессах, происходящих в системе.
 $g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n = \text{const}$

Два рода заряда.

Существуют положительные и отрицательные заряды.

Одноименные заряды отталкиваются. Разноименные заряды притягиваются.

Заряженные элементарные частицы — электрон (отрицательный заряд) и протон (положительный заряд), $e = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл.

Электризация — сообщение телу электрического заряда.

При электризации в теле создается избыток или недостаток электронов. Электризация может происходить при соприкосновении (трении) разнородных веществ и при облучении.

Закон Кулона. Сила взаимодействия двух точечных зарядов прямо пропорциональна произведению модулей зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними. Точечный заряд — заряд, линейные размеры которого пренебрежимо малы

по сравнению с расстоянием до других заряженных тел, с которыми он взаимодействует.

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

где $k = 9 \times 10^9 \frac{\text{Нм}^2}{\text{Кл}^2}$, ϵ_0 — электрическая постоянная, $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ Ф/м}$.

Электростатическое поле

Особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие электрических зарядов, не локализовано в пространстве, создается неподвижными заряженными телами и частицами и обнаруживается по действию на заряженные тела или частицы.

Характеристики электростатического поля

Напряженность, E , — силовая характеристика поля

Напряженность — сила, действующая на единичный положительный заряд, помещенный в данное электрическое поле

$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$, $[E]$ — Н/Кл, направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд и противоположно направлению силы, действующей на отрицательный заряд

$E = k \frac{|q|}{r^2}$, напряженность поля точечного заряда

Силовые линии (линии напряженности) — воображаемые линии, касательные к которым в каждой точке совпадают по направлению с вектором напряженности в этой точке. Силовые линии непрерывны и не пересекаются.

Потенциал, ϕ — энергетическая характеристика поля

Потенциалом электростатического поля называется отношение потенциальной энергии заряда в поле к этому заряду

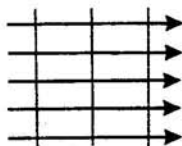
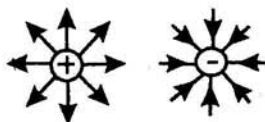
$\phi = \frac{W_p}{q}$, скалярная величина. $[\phi] = \text{В} = \text{Дж/Кл}$. Разность потенциалов (напряжение) — $U = \phi_1 - \phi_2 = -\Delta\phi$ — не зависит от выбора нулевого уровня отсчета

$\phi = k \frac{q}{r}$, потенциал поля точечного заряда

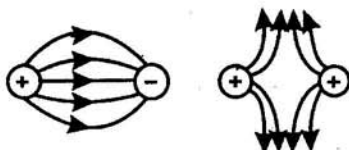
Эквипотенциальная поверхность — поверхность, потенциалы всех точек на которой одинаковы. При перемещении вдоль такой поверхности работа кулоновских сил равна нулю.

Примеры:

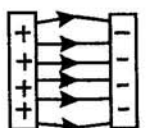
Поле точечного заряда



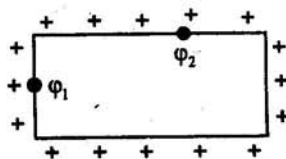
Поле двух точечных зарядов



Поле равномерно заряженной бесконечной плоскости



однородное



Связь между напряженностью и потенциалом

$E = \frac{U}{d}$, где U — разность потенциалов (напряжение), d — проекция перемещения.

Принцип суперпозиции

Если поле создается несколькими зарядами, то результирующая напряженность в данной точке есть векторная сумма напряженностей, созданных отдельными зарядами в той же точке.

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

Потенциал результирующего поля равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых в данной точке отдельными зарядами.

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

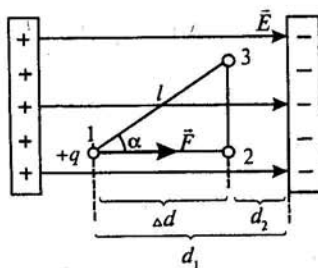
Работа сил электростатического поля

Электростатическое поле является потенциальным, то есть работа кулоновских сил по перемещению заряда из одной точки поля в другую не зависит от формы траектории, а зависит лишь от положения начальной и конечной точек.

$A = q E d$, $A = -\Delta W_p$, где ΔW_p — изменение потенциальной энергии заряда в электростатическом поле.

Работа кулоновских сил при перемещении заряда по замкнутой траектории равна нулю.

$$A = 0$$



$$W_p = k \frac{q_1 q_2}{r} = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r} \quad \text{— для взаимодействия двух точечных зарядов}$$

в вакууме.

W_p — энергия электростатического поля.

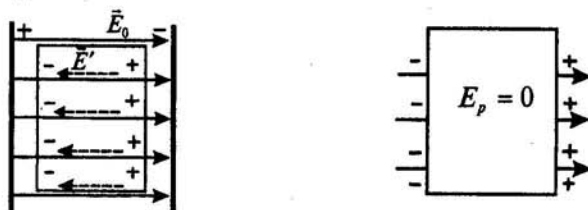
Проводники и диэлектрики в электростатическом поле

Проводники (металлы)

1. Электростатического поля внутри проводника нет.

2. Весь статический заряд проводника сосредоточен на его поверхности.

3. Вектор напряженности у поверхности проводника направлен перпендикулярно этой поверхности.



Электростатическая индукция — перераспределение зарядов в проводнике, помещенном в электростатическом поле

Виды диэлектриков

Неполярные	Полярные
<p>Центры распределения положительных и отрицательных зарядов совпадают.</p> <p>Молекулы неполярного диэлектрика, помещенного в электрическое поле, деформируются, в результате чего возникают диполи, ориентированные вдоль E_0</p>	<p>Центры распределения положительных и отрицательных зарядов не совпадают.</p> <p>Молекулы полярного диэлектрика, помещенного в электрическое поле, ориентируются вдоль E_0</p>

Диполь — электрически нейтральная система из двух точечных разноименных зарядов.

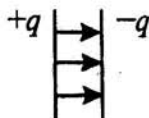
В обоих случаях во внешнем электростатическом поле происходит поляризация диэлектрика, то есть появление на его поверхности связанных зарядов.

Связанные электрические заряды на поверхности диэлектрика создают внутри него поле, направленное противоположно внешнему полю, вследствие чего электрическое поле внутри диэлектрика ослабляется.

ϵ — диэлектрическая проницаемость $\epsilon = \frac{E_0}{E}$, где E_0 — модуль напряженности поля в вакууме, E — модуль напряженности электрического поля внутри диэлектрика.

Конденсаторы

Конденсатор представляет собой два проводника (обкладки), разделенных слоем диэлектрика, толщина которого мала по сравнению с размерами проводника. При зарядке конденсатора его обкладкам сообщают равные по модулю разноименные заряды. При этом электрическое поле сосредоточено в основном между обкладками. Под зарядом понимают модуль заряда одной из обкладок.



Емкость

Емкость — физическая величина, характеризующая способность двух проводников накапливать электрический заряд.

Зависит от

- геометрических размеров и форм проводников;
- взаимного расположения проводников;
- диэлектрической проницаемости.

$$C = \frac{q}{U}$$

[C] — Фарад, 1Ф = 1 Кл/В

Емкость плоского конденсатора

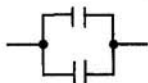
$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$, S — площадь обкладки, d — расстояние между обкладками, ϵ — диэлектрическая проницаемость.

Последовательное соединение конденсаторов

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



Параллельное соединение. $C = C_1 + C_2 + \dots + C_n$



Энергия заряженного конденсатора $W_p = \frac{qU}{2} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CU^2}{2}$

ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Постоянный электрический ток

Электрический ток — упорядоченное движение заряженных частиц (электроны, положительные и отрицательные ионы)

Условия существования электрического тока:

- наличие свободных носителей заряда;
- наличие электрического поля.

За направление электрического тока принимают направление движения положительно заряженных частиц.



Сила тока — физическая величина, численно равная заряду, переносимому через поперечное сечение проводника за единицу времени.

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}, [I] = \text{А (Ампер)}.$$

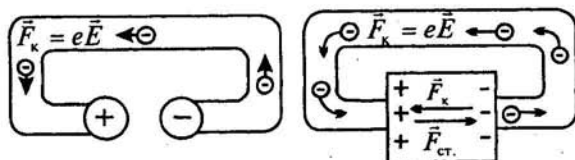
$I = g_0 n SV$, g_0 — заряд свободной заряженной частицы, n — концентрация носителей заряда, S — площадь сечения проводника, V — средняя скорость направленного движения частиц.

$$\text{Плотность тока } j = \frac{I}{S}$$

Электродвижущая сила (ЭДС) — отношение работы сторонних сил при перемещении заряда вдоль контура к заряду.

$$\varepsilon = \frac{A_{\text{ст}}}{q} [\varepsilon] = \text{В (Вольт)}$$

Сторонние силы — любые силы кроме кулоновских. Работа сторонних сил не может быть выражена через разность потенциалов, т. к. они не потенциальны.



Сторонние силы действуют во всех источниках тока (гальванических элементах, аккумуляторах, генераторах). Они могут быть обусловлены химическими, тепловыми, магнитными явлениями. Внутри проводника заряды движутся под действием сторонних сил против кулоновских сил. В результате поддерживается разность потенциалов между полюсами источника, и, следовательно, ток во внешней цепи (источник тока не создает, а разделяет заряды).

Напряжение на участке — величина равная полной работе по перемещению положительного единичного заряда по участку цепи

$$U = \frac{A}{q} [U] = \text{В (Вольт)}.$$

Сопротивление однородного линейного проводника — характеристика самого проводника.

$R = \rho \frac{l}{S}$, ρ — удельное электрическое сопротивление (Ом м), l — длина проводника (м), S — площадь поперечного сечения проводника (м^2):

$$[R] = \text{Ом}$$

$$G = \frac{1}{R}; G \text{ — проводимость проводника, } \gamma = \frac{1}{\rho}$$

γ — удельная электрическая проводимость проводника

Закон Ома

Для однородного участка цепи

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

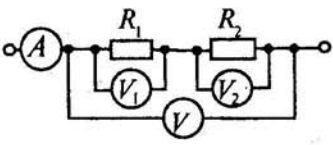
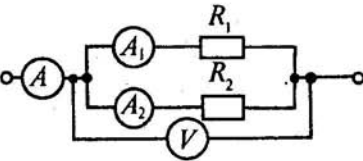
Для полной (замкнутой) цепи

$$I = \frac{\epsilon}{R + r}$$

Для неоднородного участка цепи

$$I = \frac{\Phi_1 - \Phi_2 + \epsilon_{12}}{R}$$

Соединение проводников

Последовательное	Параллельное
	
<p>Сила тока во всех частях такой цепи одинаковая</p>	<p>Напряжение на всех ветвях цепи одинаковое</p>
$I = I_1 + I_2$	$U = U_1 = U_2$
<p>Напряжение на концах цепи равно сумме напряжений</p>	<p>Сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме токов на отдельных участках</p>
$U = U_1 + U_2$	$I = I_1 + I_2$

Сопротивление всей цепи больше сопротивления на отдельном участке цепи

$$R = R_1 + R_2$$

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Для измерения силы тока амперметр включается в цепь последовательно, чтобы через него проходил такой же ток, как и через другие элементы цепи

Сопротивление всей цепи меньше сопротивления любого ее участка

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad I \times \text{результат}$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Для измерения напряжения вольтметр включают в цепь параллельно, чтобы напряжение на вольтметре совпадало с напряжением на участке цепи

Работа тока

$$A = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} \cdot t, \quad t \text{ — время прохождения тока в цепи.}$$

Закон Джоуля — Ленца

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

Мощность тока

$$P = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$$

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В РАЗНЫХ СРЕДАХ

Среды	Носители зарядов
Металлы	Свободные электроны
Электролиты	Положительные и отрицательные ионы
Газы, плазма	Электроны и ионы
Вакуум	Электроны, вылетевшие в результате термоэлектронной эмиссии
Полупроводники	Электроны и дырки (ионы, образующие каркас кристаллической решетки НЕ перемещаются под действием поля)

Электрический ток в металлах

В металлах свободными носителями заряда являются электроны. При образовании кристаллической решетки валентные электроны каждого атома могут свободно перемещаться в пределах данного кристаллического тела. Сопротивление обусловлено дефектами решетки и тепловыми колебаниями ионов $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, α — температурный коэффициент сопротивления (относительное изменение сопротивления проводника при нагревании на один градус), ρ — удельное сопротивление при температуре t° , ρ_0 — удельное сопротивление при температуре 0°C , $\alpha > 0$

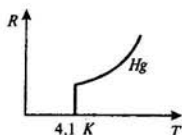
Электрический ток в электролитах

В растворах солей, кислот, щелочей постоянно происходит распад молекул на положительные и отрицательные ионы (электролитическая диссоциация).

Количество ионов при нагревании увеличивается, поэтому сопротивление электролита уменьшается

$\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$, α — температурный коэффициент сопротивления (относительное изменение сопротивления проводника при нагревании на один градус), ρ — удельное сопротивление при температуре t° , ρ_0 — удельное сопротивление при температуре 0°C , $\alpha < 0$

Сверхпроводимость — свойство металлов и их сплавов, проявляющееся в том, что их электрическое сопротивление мгновенно падает до нуля, при уменьшении температуры ниже критической, то есть металл становится абсолютным проводником. Критическая температура для металлов составляет примерно 20 К. Для некоторых керамических металлов 100 К и выше (высокотемпературная проводимость)



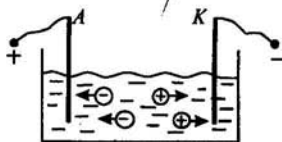
Электролиз — выделение на электродах вещества, входящего в состав электролита при прохождении тока

Законы Фарадея

$$m = \frac{1}{CN_a} \frac{M}{n} It = kIt$$

M — молярная масса вещества, n — валентность, e — элементарный заряд, N_a — число Авогадро, k — электрохимический эквивалент вещества

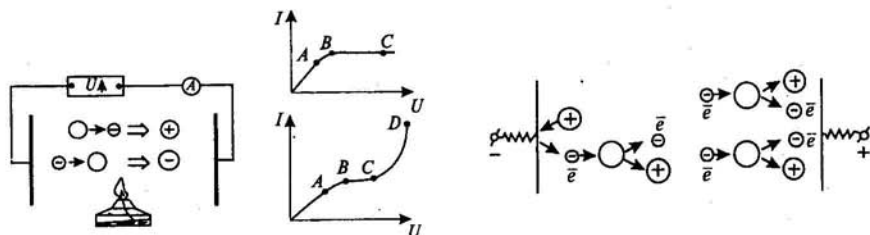
$$k = \frac{1}{eN_a} \frac{M}{n}$$



Электрический ток в газах. Газы в нормальных условиях — диэлектрики. Носители заряда возникают только при ионизации. Ионизация — отрыв электронов от их атомов или молекул.

Внешние ионизаторы — ультрафиолетовое, рентгеновское, радиоактивное излучение, сильное нагревание вызывают несамостоятельный газовый разряд.

Самостоятельный газовый разряд — разряд, происходящий без действия внешнего ионизатора.



Типы самостоятельного разряда

Тлеющий разряд — разряд в разряженном газе, возникающий при низких давлениях (1–10 Па), сопровождающийся свечением (газосветные трубки, газовые лазеры).

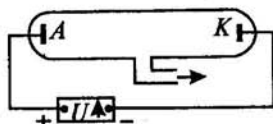


Рис. 57

Коронный разряд наблюдается в сильно неоднородных полях при сравнительно больших давлениях (у заряженного острия, около проводов под большим напряжением).

Искровой разряд — прерывистый разряд в газе, происходящий при высоком напряжении (молния, пробой диэлектрика).

Дуговой разряд (электрическая дуга) — разряд в газе, происходящий при раскаленном катоде или при высоком напряжении между электродами (прожектор, проекционная лампа, электросварка).



Электрический ток в вакууме

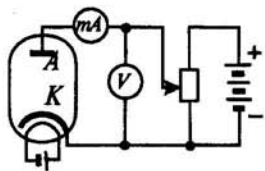
Вакуум — сильно разреженный газ, в котором длина свободного пробега молекул намного меньше размеров сосуда.

Термоэлектронная эмиссия — испускание электронов с поверхности нагретого тела.

**Электронная лампа — диод**

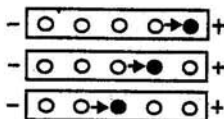
Свободные электроны, образующие ток в пространстве диода, испускаются одним из электродов в ограниченном количестве.

На движение электронов оказывает влияние и поле пространственного заряда электронного облака у катода.



Полупроводники — вещества, которые могут проявлять свойства и проводников (при комнатной температуре уже проводит ток) и диэлектриков (при низких температурах). Удельное сопротивление быстро убывает с повышением температуры.

Чистые проводники — (кремний, германий) обладают собственной проводимостью, которая возникает в результате разрыва ковалентных связей. Ее можно создать не только нагреванием, но и освещением. В результате разрыва ковалентных связей образуются свободные электроны. При удалении электрона на его месте образуется вакантное место с недостающим электроном — дырка. Так как соседние атомы, имеющие общие электроны, постоянно ими обмениваются, то происходит перемещение, как электронов, так и дырок. Возникает электронная и дырочная проводимость.

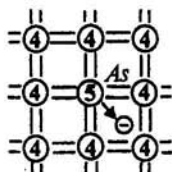


Примесная проводимость — обусловлена наличием в полупроводнике малого количества примесей. Существует два типа примесной проводимости.

Полупроводники n-типа

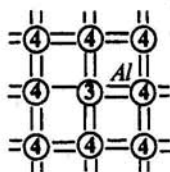
Если валентность примесных атомов больше чем у основных, то появляются свободные электроны (электронная проводимость).

Например, 5-валентные атомы мышьяка в кристалле кремния

**Полупроводники p-типа**

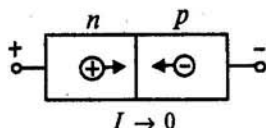
Если валентность примесных атомов меньше чем у основных, то появляются дырки, которые движутся под действием электрического поля как положительно заряженные частицы (дырочная проводимость).

Например — 3-валентные атомы индия в кристалле кремния




Электронно-дырочный переход (р-п-типа) — контакт между полупроводниками р и п типа.

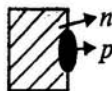
В результате встречной диффузии электронов и дырок у р-п-перехода образуется запирающий электронный слой, поле которого препятствует дальнейшему переходу электронов и дырок через границу. Запирающий слой обеднен свободными носителями заряда и поэтому имеет повышенное сопротивление. Если внешнее электрическое поле направлено от полупроводника р-типа к полупроводнику п-типа (ток идет в прямом направлении), сопротивление запирающего слоя резко уменьшается, при противоположном направлении сопротивление резко возрастает. Поэтому полупроводниковый диод, содержащий один р-п-переход, представляет собой элемент с односторонней проводимостью. Полупроводниковый диод, содержащий два р-п-перехода, называют транзистором (применяется для усиления слабых электрических сигналов, для выпрямления тока).



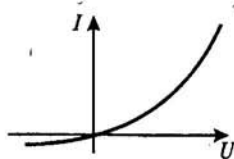
Полупроводниковый диод

Схематическое изображение 

Направление стрелки указывает направление тока.
Устройство диода.



Вольтамперная характеристика полупроводникового диода.



Обратный ток обусловлен наличием неосновных носителей заряда.

Применение полупроводникового диода — выпрямитель тока

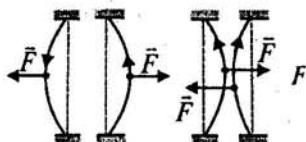
МАГНИТНОЕ ПОЛЕ

Магнитное поле — особый вид материи, посредством которой осуществляется взаимодействие между движущимися электрическими зарядами.

Свойства магнитного поля

Создается движущимися электрическими зарядами (электрическим током), намагниченными телами (магнитами) и переменным во времени электрическим полем.

Непрерывно в пространстве и обнаруживается по действию на движущиеся электрические заряды, (электрический ток). Действует на намагниченные тела независимо от того движутся они или покоятся.



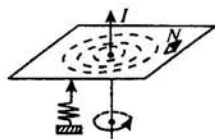
противоположные токи отталкиваются

параллельные токи притягиваются

Характеристики магнитного поля

Силовой характеристикой магнитного поля является вектор магнитной индукции — \vec{B} . Направление вектора магнитной индукции совпадает с направлением оси магнитной стрелки в поле (от южного полюса к северному)

Направление вектора магнитной индукции совпадает так же с направлением нормали к свободно подвешенной рамке с током



Направление вектора магнитной индукции определяется по правилу буравчика. Если рукоятку буравчика с правой резьбой вращать по направлению тока в рамке, то направление поступательного движения острия буравчика укажет направление вектора магнитной индукции.

Магнитная проницаемость

Физическая величина, показывающая, во сколько раз индукция магнитного поля в одной среде больше или меньше индукции магнитного поля в вакууме, называется магнитной проницаемостью μ .

$$\mu = \frac{B_{\text{вак}}}{B_{\text{ср}}}$$

Вещество, создающее собственное магнитное поле, называется намагниченным. Намагниченность возникает при помещении вещества во внешнее магнитное поле.

Гипотеза Ампера: магнитные свойства тела определяются микроскопическими электрическими токами (орбитальное движение электронов в атомах, наличие у электрона собственного магнитного момента, имеющего квантовую природу) внутри вещества. Если направления этих токов неупорядочены, порождаемые ими магнитные поля компенсируют друг друга, т. е. тело не намагничено. Во внешнем магнитном поле происходит упорядочение этих токов, вследствие чего в веществе и возникает «собственное» магнитное поле (намагниченность).

Магнитные свойства вещества

1. Диамагнетики — μ чуть < 1 . $\mu_{\text{висмута}} = 0,9998$ (свинец, цинк, азот и др.).

2. Парамагнетики — μ чуть > 1 . $\mu_{\text{алюминия}} = 1,000023$ (кислород, никель и др.).

Для пара- и диамагнетиков намагниченность I прямо пропорциональна индукции B_0 магнитного поля в вакууме.

3. Ферромагнетики — $\mu > 1$. $\mu_{\text{сталь}} = 8 \times 10^3$ (железо, никель, кобальт и их сплавы). Сплав железа с никелем: $\mu = 2,5 \times 10^5$.

Свойства ферромагнетиков.

1. Обладают остаточным магнетизмом.

2. μ зависит от индукции внешнего магнитного поля.

3. Температура, при которой исчезают ферромагнитные свойства, называется точкой Кюри (вещество становится парамагнетиком; точка Кюри для железа равна 770°C , для никеля 360°C).

Сила Ампера и сила Лоренца

Сила, действующая на проводник с током в магнитном поле, называется **силой Ампера**.

Сила действия однородного магнитного поля на проводник с током прямо пропорциональна силе тока, длине проводника, модулю вектора индукции магнитного поля, синусу угла между вектором индукции магнитного поля и проводником:

$$F_A = BI \sin \alpha \text{ — закон Ампера.}$$

Направление силы Ампера (правило левой руки).

Если левую руку расположить так, чтобы перпендикулярная составляющая вектора B входила в ладонь, а четыре вытянутых пальца были направлены по направлению тока, то отогнутый на 90° большой палец покажет направление силы, действующей на проводник с током.

Сила, действующая на заряженную движущуюся частицу в магнитном поле, называется **силой Лоренца**:

$$F_L = \frac{F_A}{N} = qvB \sin \alpha$$

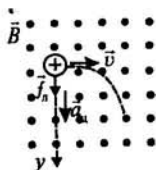
Направление силы Лоренца (правило левой руки)

Направление F определяется по правилу левой руки: вектор F перпендикулярен векторам B и v .

Правило левой руки сформулировано для положительной частицы. Сила, действующая на отрицательный заряд будет направлена в противоположную сторону по сравнению с положительным.

Если вектор v частицы перпендикулярен вектору B , то частица описывает траекторию в виде окружности:

$$F_{цс} = ma_{цс} = m \frac{V^2}{R}$$



Роль центростремительной силы играет сила Лоренца:

$$qvB = m \frac{V^2}{R}$$

Радиус окружности:

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

Период обращения $T = \frac{2\pi R}{v} = \frac{2\pi m}{qB}$ — не зависит от радиуса

окружности!

Если вектор скорости и частицы не перпендикулярен B , то частица описывает траекторию в виде винтовой линии (спирали).

Действие магнитного поля на рамку с током

На рамку действует пара сил, в результате чего она поворачивается.

Направление вектора силы определяется по правилу левой руки.

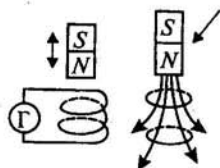
$$F = BIl \sin \alpha = ma$$

$$M = Fd = BIS \sin \alpha \text{ — вращающий момент.}$$

Электромагнитная индукция

Явление возникновения ЭДС в замкнутом проводящем контуре при изменении магнитного поля (потока), пронизывающего контур, называется электромагнитной индукцией.

Или: явление возникновения электрического поля при изменении магнитного поля (потока), называется электромагнитной индукцией.



ЭДС индукции в замкнутом контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром.

ЭДС индукции в замкнутом контуре прямо пропорциональна скорости изменения магнитного потока через площадь, ограниченную этим контуром

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta\Phi}{\Delta t} \right|$$

Магнитный поток (поток линий магнитной индукции) через контур численно равен произведению модуля вектора магнитной индукции на площадь, ограниченную контуром, и на косинус угла между направлением вектора магнитной индукции и нормалью к поверхности, ограниченной этим контуром.

$\Phi = BS \cos \alpha$, где $B \cos \alpha$ представляет собой проекцию вектора B на нормаль к плоскости контура. Магнитный поток показывает, какое количество линий магнитной индукции пронизывает данный контур.

Единица магнитного потока в СИ — вебер (Вб).

Линии магнитной индукции всегда замкнуты.

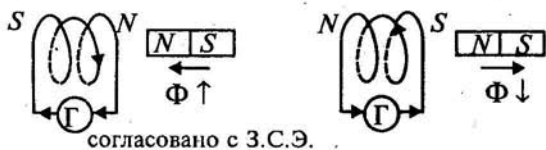
Правило Ленца

Возникновение индукционного тока — следствие закона сохранения энергии.

В случае 1: При приближении магнита, увеличении тока, замыкании цепи: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} > 0$; Магнитный поток $\Phi \uparrow \in \Delta\Phi > 0$. Чтобы

компенсировать это изменение (увеличение) внешнего поля, необходимо магнитное поле, направленное в сторону, противоположную внешнему полю: $\vec{B} \uparrow \downarrow \vec{B}_i$, где \vec{B}_i — т. н. индукционное магнитное поле.

В случае 2: при удалении магнита, уменьшении тока, размыкании цепи: $\frac{\Delta\Phi}{\Delta t} < 0$. Магнитный поток $\Phi \downarrow \in \Delta\Phi < 0$. Чтобы компенсировать это изменение (уменьшение), необходимо магнитное поле, сонаправленное с внешним полем: $\vec{B} \uparrow \uparrow \vec{B}_i$.



согласовано с 3.С.Э.

Возникающий в замкнутом контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им поток магнитной индукции через площадь, ограниченную контуром, стремится компенсировать то изменение потока магнитной индукции, которое вызывает данный ток (правило Ленца).

Ток в контуре имеет отрицательное направление ($\epsilon_i < 0$), если \vec{B}_i противоположно \vec{B} (т. е. $\Delta\Phi > 0$). Ток в контуре имеет положительное направление ($\epsilon_i > 0$), если \vec{B}_i совпадает с \vec{B} (т. е. $\Delta\Phi < 0$).

Поэтому с учетом правила Ленца (знака) выражение для закона электромагнитной индукции записывается:

$$\epsilon_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

ЭДС при движении проводника в магнитном поле
Причина возникновения ЭДС — сила Лоренца.

$$\epsilon = Blv$$

Формула используется в любом проводнике, движущемся в магнитном поле, если

$$\vec{v} \perp \vec{B}$$

Если между векторами \vec{v} и \vec{B} есть угол, то

$$\varepsilon = Blv \sin \alpha$$

Вихревое электрическое поле

Электроны в проводниках вторичной обмотки приводятся в движение электрическим полем (ЭП), которое порождается переменным магнитным полем (МП).

Фундаментальное свойство поля.

Изменяясь во времени, магнитное поле порождает электрическое поле.

ЭП, порождаемое переменным МП, не связано с зарядом; силовые линии нигде не начинаются и не кончаются, т. е. линии замкнутые. Такое поле — вихревое электрическое.

Токи Фуко

Индукционный ток в массивных проводниках называют токами Фуко.

Используют: плавка металлов в вакууме. Вредное действие: бесполезная потеря энергии в сердечниках трансформаторов и в генераторах.

Явление самоиндукции

Явление самоиндукции — частный случай электромагнитной индукции.

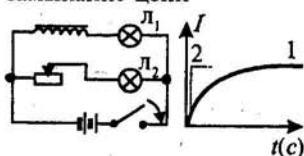
1. Изменяющееся магнитное поле индуцирует ЭДС индукции в том же самом проводнике, по которому течет ток, создающий это поле.

2. Вихревое магнитное поле препятствует нарастанию тока в проводнике.

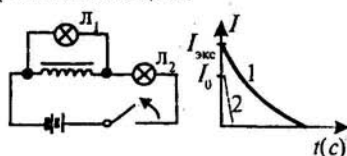
3. При уменьшении тока вихревое поле поддерживает его.

В момент замыкания ключа ЭДС самоиндукции $\varepsilon_{\text{си}}$ в катушке препятствует нарастанию тока I : Л2 загорается позже Л1. (Резистор R уравнивает сопротивление катушки L , чтобы лампочки горели с одинаковой яркостью).

замыкание цепи



размыкание цепи



Для изменения тока требуется время, т. е. явление самоиндукции аналогично явлению инерции в механике.

При размыкании цепи лампочки гаснут неодновременно.

Цепь разомкнули. В момент размыкания через гальванометр течет ток против начального тока: $\mathcal{E}_{\text{си}}$ может быть больше ЭДС источника. Следовательно, ток после размыкания увеличивается.

Индуктивность

$$\Phi = LI,$$

L — индуктивность катушки (коэффициент самоиндукции), характеризующая ее магнитные свойства.

Индуктивность показывает, какой магнитный поток пронизывает данный проводник при прохождении по нему тока силой 1 А (в СИ).

$$\mathcal{E} = \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{\text{си}} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$$\mathcal{E}_{\text{св}} = -n \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Индуктивность численно равна ЭДС самоиндукции, возникающей в проводнике при изменении силы тока на единицу силы тока (1 А) за единицу времени (1 с).

В СИ единица индуктивности — Генри.

Индуктивность — характеристика проводника, зависящая только от:

- формы;
- размеров;
- магнитной проницаемости среды.

$$\text{~~~~~} L_1 \text{~~~~~} L_2 > L_1$$

Например, индуктивность катушки зависит от числа витков, диаметра катушки, ее длины и материала сердечника.

Энергия магнитного поля

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

При замыкании цепи энергия равна работе по созданию тока (вихревого электрического поля). При размыкании энергия магнитного поля превращается в тепловую (искра, дуга).

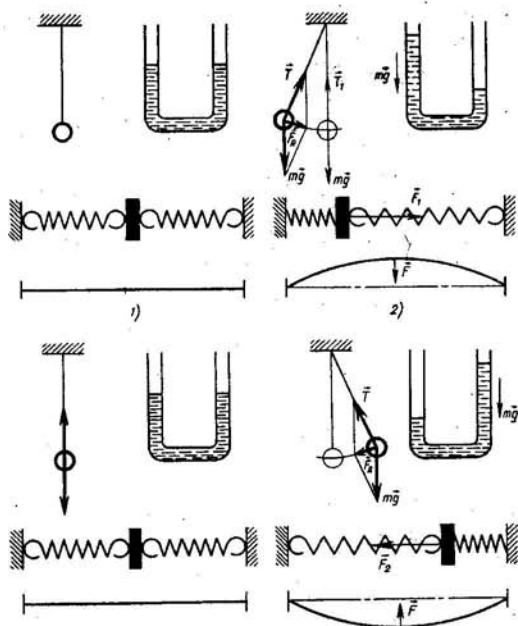
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

КОЛЕБАНИЯ

Колебания — процессы (изменения состояния), обладающие той или иной повторяемостью во времени.

Механические колебания — движения, которые точно или приблизительно повторяются во времени. Колебания называются периодическими, если значения физических величин, изменяющихся в процессе колебаний, повторяются через равные промежутки времени.

Примеры колебаний, изображенные на рисунках: колебания математического маятника, колебания жидкости в U-образной трубке, колебания тела под действием пружин, колебания натянутой струны.



Условия возникновения механических колебаний:

1. Хотя бы одна сила должна зависеть от координат;
2. При выведении тела из положения устойчивого равновесия возникает равнодействующая, направленная к положению равновесия. С энергетической точки зрения это значит, что возникают условия для постоянного перехода кинетической энергии в потенциальную и обратно;

3. Силы трения в системе малы;

4. Для возникновения колебания тело необходимо вывести из положения равновесия, сообщив либо кинетическую энергию (удар, толчок), либо — потенциальную (отклонение тела).

Примеры колебательных систем:

1. Нить, груз, Земля.
2. Пружина, груз.
3. Жидкость в U-образной трубке.

Свободные колебания — это колебания, которые возникают в системе под действием внутренних сил, после того как система была выведена из положения устойчивого равновесия. В реальной жизни все свободные колебания являются затухающими (т. е. их амплитуда, размах, уменьшается с течением времени).

Вынужденные колебания — колебания, которые происходят под действием внешней периодической силы.

Характеристики колебательного процесса:

1. Смещение x — отклонение колеблющейся точки от положения равновесия в данный момент времени (м).

2. Амплитуда x_m — наибольшее смещение от положения равновесия (м). Если колебания незатухающие, то амплитуда постоянна.

3. Период T — время, за которое совершается одно полное колебание. Выражается в секундах (с).

4. Частота ν — число полных колебаний за единицу времени. В СИ измеряется в герцах (Гц).

Частота колебаний равна одному Герцу, если за 1 секунду совершается 1 полное колебание. $1 \text{ Гц} = 1 \text{ с}^{-1}$.

5. Циклической (круговой) частотой ω периодических колебаний называется число полных колебаний, которые совершаются за 2π единиц времени (секунд).

Единица измерения — рад/с.

6. Фаза колебания — φ — физическая величина, определяющая смещение x в данный момент времени. Измеряется в радианах (рад).

Фаза колебания в начальный момент времени ($t = 0$) называется начальной фазой (φ_0).

Гармонические колебания

Колебания, при которых изменения физических величин происходят по закону косинуса или синуса (гармоническому закону), называются гармоническими колебаниями.

Например, в случае механических гармонических колебаний:

$$x = x_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

$$x = x_m \sin(\omega t + \varphi'_0)$$

В этих формулах ω — частота колебания, x_m — амплитуда колебания, φ_0 и φ'_0 — начальные фазы колебания. Отличаются определением начальной фазы и при $\varphi'_0 = \varphi_0 + \pi/2$ полностью совпадают.

Конкретный вид функции (синус или косинус) зависит от способа выведения системы из положения равновесия. Если выведение происходит толчком (сообщается кинетическая энергия), то при $t = 0$ смещение $x = 0$, следовательно, удобнее пользоваться функцией \sin , положив $\varphi'_0 = 0$; при отклонении от положения равновесия (сообщается потенциальная энергия) при $t = 0$ смещение $x = x_m$, следовательно, удобнее пользоваться функцией \cos и $\varphi_0 = 0$.

Выражение, стоящее под знаком \cos или \sin называется фазой колебания: $\varphi = \omega t + \varphi_0$. Фаза колебания измеряется в радианах и определяет значение смещения (колеблющейся величины) в данный момент времени.

Амплитуда колебания зависит только от начального отклонения (начальной энергии, сообщенной колебательной системе).

Скорость и ускорение при гармонических колебаниях.

Скорость — это производная от координаты по времени.

$$v = x' = x_m \omega \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi/2)$$

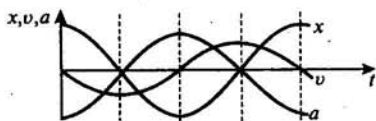
Скорость при гармоническом колебательном движении также изменяется по гармоническому закону, но колебания скорости опережают колебания смещения по фазе на $\pi/2$.

Величина $v_m = x_m \omega$ — максимальная скорость колебательного движения (амплитуда колебаний скорости).

$$V = V_m \cos(\omega t + \varphi_0)$$

Ускорение — это производная от скорости по времени:

$a = v' = x_m \omega^2 \sin(\omega t + \varphi_0 + \pi)$, где $a_m = x_m \omega^2$ — максимальное ускорение.



Ускорение при гармоническом колебательном движении также изменяется по гармоническому закону, но колебания ускорения опережают колебания скорости на $\pi/2$ и колебания смещения на π (говорят, что колебания происходят в противофазе).

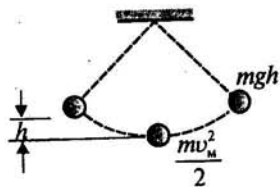
При прохождении колеблющимся телом положения равновесия (смещение равно нулю) ускорение равно нулю, а скорость тела максимальна (тело проходит положение равновесия по инерции), а при достижении амплитудного значения смещения — скорость равна нулю, а ускорение максимально по модулю (тело меняет направление своего движения).

$$x = x_m \cos \frac{2\pi}{T} t, \text{ где } T \text{ — период колебания.}$$

Превращение энергии при гармонических колебаниях.

В положении равновесия скорость и, следовательно, кинетическая энергия тела максимальны. Если потенциальную энергию отсчитывать от положения равновесия, то она максимальна при амплитудном значении смещения, т. е. когда кинетическая энергия (скорость) равна нулю.

Закон сохранения механической энергии: сумма кинетической и потенциальной энергий остается неизменной.



$$E_n \rightarrow E_k \rightarrow E_n \rightarrow \dots$$

$$\frac{kX_m^2}{2} \quad \frac{mv_m^2}{2}$$

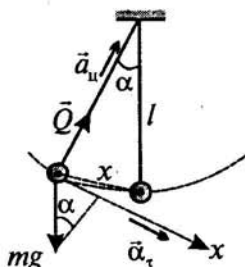
Кинетическая энергия переходит в энергию потенциальную и наоборот, то есть энергия периодически меняется.

Затухающие колебания.

Затухающими колебаниями называются колебания, энергия (а значит, и амплитуда) которых уменьшается с течением времени. Затухание свободных механических гармонических колебаний связано с убыванием механической энергии за счет действия сил сопротивления и трения.

Колебания математического маятника

Математический маятник — материальная точка, подвешенная на невесомой нерастяжимой нити (физическая модель).



$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$, l — длина маятника, g — ускорение свободного падения, T — период колебаний.

Период колебаний математического маятника не зависит от массы тела

Полная механическая энергия равна максимальной потенциальной или кинетической:

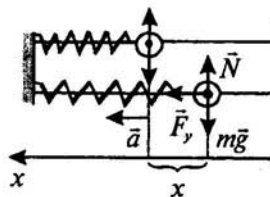
$$E_{p \max} = E_{k \max} = E_{\text{полная}}$$

Колебания пружинного маятника

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

k — жесткость пружины,

T — период колебаний.



Полная механическая энергия равна максимальной потенциальной или кинетической:

$$E_{p \max} = E_{k \max} = E_{\text{полная}}$$

Вынужденные колебания.

Вынужденными колебаниями называются незатухающие колебания системы, которые вызываются действием внешней периодической силы.

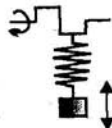
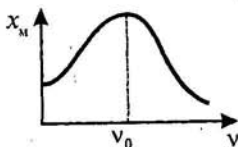
Примеры: колебания гребных винтов, лопаток турбины, качелей при раскачивании, мостов и балок при ходьбе и т. д.

Сила, вызывающая вынужденные колебания, называется вынуждающей (возмущающей) силой.

Резонанс

Явление возрастания амплитуды колебаний при приближении частоты вынуждающей силы ω к собственной частоте колебательной системы ω_0 , называется **резонансом**.

Соответственно данная частота называется резонансной частотой.



При наличии трения резонансная частота несколько меньше собственной частоты колебательной системы. С энергетической точки зрения при резонансе создаются наилучшие условия для передачи энергии от внешнего источника к колебательной системе.

Резонанс применяется для измерения частоты (частотомеры) вибраций, в акустике. Резонанс необходимо учитывать при расчете балок, мостов, станков и т. д.

Автоколебания

Колебательная система, совершающая незатухающие колебания за счет действия источника энергии, не обладающего колебательными свойствами (периодичностью), называется автоколебательной.

Примеры: часы, орган, духовые инструменты, сердечно-сосудистая система, паровые машины и двигатели внутреннего сгорания и т. д.

Любая автоколебательная система состоит из 4 частей:

1. Колебательная система;
2. Источник энергии, компенсирующий потери энергии на преодоление сопротивления;
3. Клапан — устройство, регулирующее поступление энергии в колебательную систему определенными порциями и в определенный промежуток времени;
4. Обратная связь — устройство для обратного воздействия автоколебательной системы на клапан, управляющее работой клапана за счет процессов в самой колебательной системе.

ВОЛНЫ

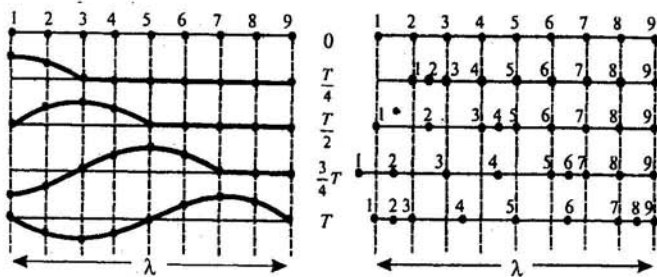
Волна — распространяющиеся колебания.

Волнами называются всякие возмущения состояния вещества или поля, распространяющиеся в пространстве с течением времени.

Основное свойство волны — перенос энергии без переноса вещества.

Виды волновых процессов:

1. Механические волны (см. рисунки):



а) упругие.

б) поверхностные (под действием сил тяжести и поверхностного натяжения).

2. Электромагнитные волны (колебания векторов напряженности электрического и индукции магнитного полей, распространяющиеся в пространстве). В отличие от механических, могут распространяться в вакууме.

Основные характеристики волны

Гармоническим колебаниям соответствуют монохроматические волны, обладающие двойной периодичностью:

1. во времени $T = \frac{1}{\nu}$ — период, частота;
2. в пространстве; λ — длина волны:
 λ — расстояние между точками, колеблющимися с разностью фаз 2λ ;
 или расстояние, на которая волна распространяется за один период.

$$\lambda = \nu T \Leftrightarrow \nu = \frac{\lambda}{T} \Leftrightarrow \nu = \lambda \nu$$

Скорость волны конечна и меняется при переходе в другую среду.

Например, при нормальных условиях в воздухе — 330 м/с, в дождь — 1430 м/с, в меди 3910 м/с, для алюминия 4880 м/с.

Скорость продольной волны в твердом теле больше, чем поперечной (применяется при исследовании землетрясений).

Волны в среде

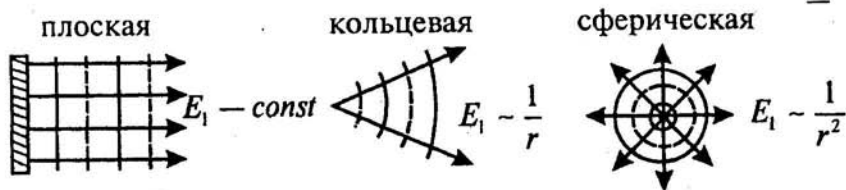
Волновая поверхность — геометрическое место точек, колеблющихся в одинаковой фазе.

Волновой фронт (фронт волны) — геометрическое место точек, до которых доходят колебания к данному моменту времени.

Луч — линия, перпендикулярная волновой поверхности. Показывает направление распространения волны (переноса энергии).

По виду волновые поверхности бывают:

- сферические;
- плоские и т. д.



Для сферической волны амплитуда колебаний и энергия через единицу поверхности уменьшаются с ростом расстояния от источника, при этом амплитуда уменьшается обратно пропорционально расстоянию от точки наблюдения до источника, а энергия — обратно пропорционально квадрату этого расстояния.

Для плоской волны — амплитуда колебаний и энергия через единицу площади поверхности не меняются при отсутствии трения.

Интерференция волн

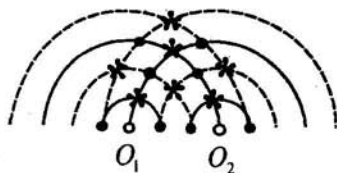
Явление интерференции возникает при наложении когерентных волн.

Когерентные волны — это волны, имеющие одинаковые частоты, постоянную разность фаз, а колебания происходят в одной плоскости.

Результат суперпозиции волн зависит от того, в каких фазах накладываются друг на друга колебания.

Если волны от источников А и Б придут в точку С в одинаковых фазах, то произойдет усиление колебаний; если же — в противоположных фазах, то наблюдается ослабление колебаний.

Постоянное во времени явление взаимного усиления и ослабления колебаний в разных точках среды в результате наложения когерентных волн называется **интерференцией**. В результате в пространстве образуется устойчивая картина чередования областей усиленных и ослабленных колебаний.

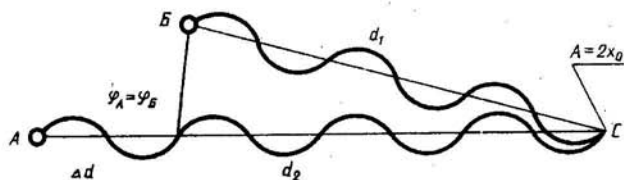


Условие максимума

Если колебания вибраторов А и Б совпадают по фазе и имеют равные амплитуды, то они усилят друг друга.

$$\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2} = k\lambda$$

Если разность хода волн равна целому числу волн (т. е. четному числу полуволн), то в точке наложения этих волн образуется интерференционный максимум.

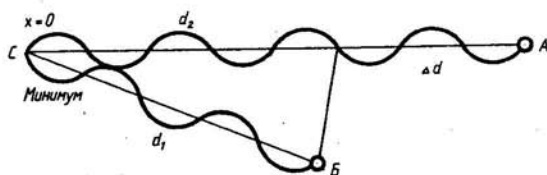


Условие минимума

Если волны от вибраторов A и B придут в точку C в противофазе,

то они погасят друг друга: $A = 0$. $\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$

Если разность хода волн равна нечетному числу полуволн, то в точке наложения этих волн образуется интерференционный минимум.



Распределение энергии при интерференции.

Наличие минимума в точке C означает: энергия W сюда не поступает.

Наличие максимума в точке C означает: происходит увеличение за счет перераспределения энергии в пространстве. Так как энергия пропорциональна квадрату амплитуды, то при увеличении амплитуды в 2 раза энергия увеличивается в 4 раза. Это означает, что в точку C поступает энергия в 4 раза больше энергии одного вибратора при условии: энергии вибраторов равны.

Интерференция присуща волнам любой природы (механическим, электромагнитным).

Звуковые волны

Звук — колебательное движение частиц упругой среды, распространяющееся в виде волн (колебания плотности, давления).

Не может распространяться в вакууме! Продольная волна в жидкостях и газах!

Инфразвуки (до 16 Гц)	Слышимые звуки (16 — 20 000 Гц)	Ультразвуки (более 20 000 Гц)	Гиперзвуки (10^9 — 10^{13} Гц)
Шум атмосферы, леса, моря. Гром. Взрывы, орудийные выстрелы. Сейсмические волны	Колебания твердого тела (мембраны, деки, диффузоры громкоговорителей). Колебания ограниченных объемов среды (воздух в музыкальных духовых инструментах, органах, свистках). Головной аппарат человека и животных	Пьезоэлектрические материалы. Некоторые животные (дельфины, летучие мыши и др.)	Тепловое движение атомов. Пьезоэлектрические материалы

Применение

Определение места взрыва, выстрела. Предсказание цунами. Исследование атмосферы	Ориентация в пространстве. Общение, речь, получение информации	Дефектоскопия, медицина, экология. Физика твердого тела. Получение эмульсий. Ускорение диффузии, некоторых химических реакций. Ориентация в пространстве у некоторых животных	Изучение состояния вещества. Линии задержки (цветное телевидение, ЭВМ и т. п.)
---	--	---	--

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Периодические изменения во времени электрического заряда (силы тока, напряжения) называются **электромагнитными колебаниями**.

Электрическая цепь, состоящая из последовательно соединенных конденсатора с емкостью C и катушки с индуктивностью L , называется **колебательным контуром**.

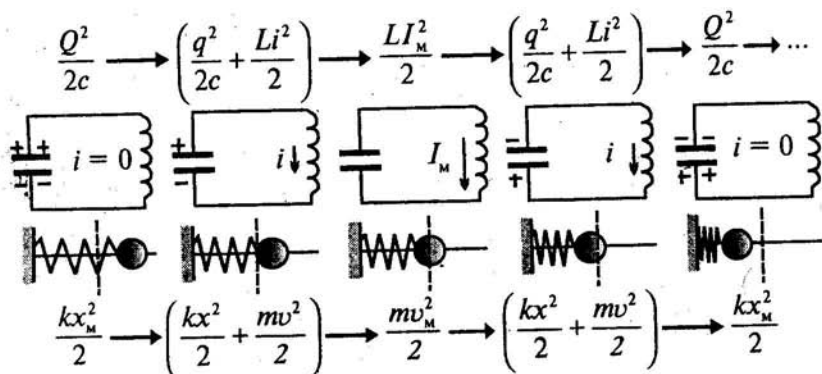
Если активное сопротивление $R \rightarrow 0$, то колебания являются свободными незатухающими. Возбудить колебания в контуре можно либо сообщив заряд конденсатору (электрическое поле), либо с помощью электромагнитной индукции возбуждая ток в катушке (магнитное поле).

Закономерности электромагнитных и механических колебаний математически одинаковы.

Общий вид уравнения колебательного движения: $q'' = -\omega^2 q$.

Уравнение гармонического колебания заряда (изменение величины электрического заряда!): $q = q_m \cos(\omega t + \varphi_0)$.

Колебания тока: $i = q' = \omega \cdot q_m \sin(\omega t + \varphi_0)$, т. о. $I_m = q_m \omega$



В колебательном контуре происходят периодические превращения энергии электрического поля конденсатора в энергию магнитного поля катушки и обратно:

энергия электрического поля $W_{эл} = \frac{q^2}{2C}$,

энергия магнитного поля катушки $W_{маг} = \frac{Li^2}{2}$.

$$\dots \rightarrow W_{эл} \rightarrow W_{маг} \rightarrow \dots$$

$$\dots \rightarrow W_{маг} \rightarrow W_{эл} \rightarrow \dots$$

Формула Томсона $T = 2\pi \sqrt{LC}$; $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

Получение незатухающих колебаний в контуре

Если конденсатор колебательного контура заряжен, то в контуре возникают затухающие колебания.

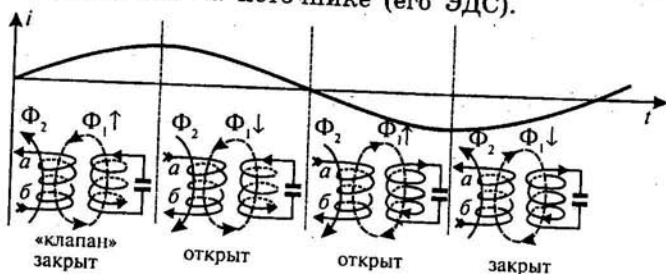
Электрическая энергия W переходит во внутреннюю энергию:

$$\frac{CU^2}{2} = \frac{LI^2}{2} + Q.$$

Пополнять энергию колебательного контура можно, подзаряжая конденсатор. Для этого контур подключают к источнику тока. Контур подключается к источнику тока только в те интервалы времени, когда пластина конденсатора, присоединенная к положительному полюсу источника, заряжена положительно.

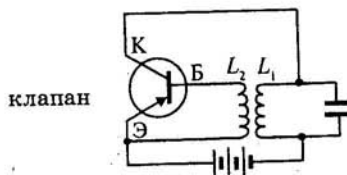
Если источник постоянного тока будет все время подключен к контуру, то в $\frac{1}{2}T$ энергия поступает в контур, а следующую $\frac{1}{2}T$ возвращается в источник, т. е. колебания затухают.

Частота колебаний, возникающих в контуре, определяется его параметрами (индуктивностью и емкостью), а амплитуда колебаний — напряжением на источнике (его ЭДС).



Незатухающие колебания установятся в том случае, если контур будет подключаться к источнику только в первую половину периода.

Для выполнения такого условия ключ должен замыкать и размыкать цепь с частотой, соответствующей частоте электромагнитных колебаний контура. Безынерционным ключом является транзистор. Транзистор обеспечивает поступление энергии к колебательному контуру, если напряжение на электронном переходе меняется синфазно с напряжением на контуре.



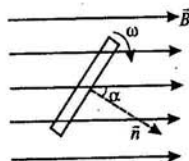
Переменный электрический ток

Вынужденными электромагнитными колебаниями называются незатухающие колебания заряда, напряжения, силы тока, вызванные периодически изменяющейся синусоидальной ЭДС

$$e = \varepsilon_m \cdot \sin \omega t.$$

Синусоидальная ЭДС возникает при вращении рамки с угловой скоростью ω в стационарном магнитном поле с индукцией B .

$$e = -\Phi' = \varepsilon_m \sin \omega t$$



Если цепь замкнута, то возникает индукционный ток, который непрерывно меняется по модулю, а каждые полпериода — по направлению.

В России промышленная частота переменного тока — 50 Гц.

Активное сопротивление в цепи переменного тока

Электрические устройства, преобразующие электрическую энергию во внутреннюю, называются активными сопротивлениями.

$R = \rho \frac{l}{S}$, где ρ — удельное сопротивление.

Высокоомные провода, спирали нагревательных приборов, резисторы — активные сопротивления.

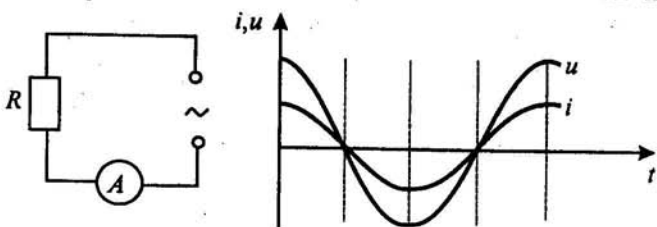
Мгновенное значение напряжения меняется по гармоническому закону

$$u = U_0 \cos \omega t.$$

Мгновенное значение силы, тока пропорционально мгновенному значению напряжения и совпадает по фазе:

$$i = \frac{u}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t = I_0 \cos \omega t$$

Колебания тока и напряжения в цепи с активной нагрузкой совпадают



Мгновенное значение тепловой мощности равно:

$$p = iu = i^2 R$$

Среднее значение мощности за период в цепи переменного тока равно:

$$\bar{p} = \bar{i}^2 R = \frac{I_0^2 R}{2}, \text{ следовательно, } \bar{i}^2 = \frac{I_0^2}{2}.$$

Величина, равная квадратному корню из среднего значения квадрата мгновенного тока, называется действующим значением силы переменного тока: $I_d = \frac{I_0}{\sqrt{2}}$.

Действующее значение переменного тока равно силе постоянного тока, выделяющего в проводнике то же количество теплоты, что и переменный ток за то же время.

Действующее значение переменного напряжения определяется аналогично действующему значению силы тока: $U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.

Например, в осветительной сети $U_d = 220$ В.

Закон Ома для цепи с активным сопротивлением выполняется.

Емкостное сопротивление

При включении конденсатора в цепь постоянного напряжения сила тока $I = 0$, а при включении конденсатора в цепь переменного напряжения сила тока $I \neq 0$. Следовательно, конденсатор в цепи переменного напряжения создает сопротивление меньше, чем в цепи постоянного тока.

Мгновенное значение напряжения равно $u = U_0 \cos \omega t$.

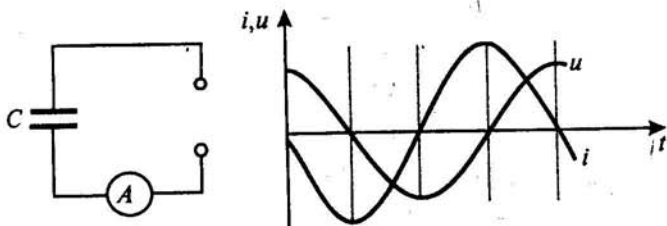
Мгновенное значение силы тока равно: $i = i' = I_0 \cos(\omega t + \frac{\pi}{2})$.

Колебания напряжения отстают от колебаний тока по фазе на $\pi/2$.

$I_0 = CU_0 \omega = \frac{U_0}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{U_0}{X_C}$, где $X_C = \frac{1}{\omega C}$ — емкостное сопротивление.

Емкостное сопротивление не является характеристикой проводника, т. к. зависит от параметров цепи (частоты).

Чем больше частота переменного тока, тем лучше пропускает конденсатор ток (тем меньше сопротивление конденсатора переменному току).



Т. к. разность фаз между колебаниями тока и напряжения равна $\pi/2$, то мощность в цепи равна 0: энергия не расходуется, а происходит обмен энергией между источником напряжения и емкостной нагрузкой. Такая нагрузка называется **реактивной**.

Индуктивное сопротивление

В катушке, включенной в цепь переменного напряжения, сила тока меньше силы тока в цепи постоянного напряжения для этой же катушки. Следовательно, катушка в цепи переменного напряжения создает большее сопротивление, чем в цепи постоянного напряжения.

Мгновенное значение силы тока: $i = I_0 \sin \omega t$.

Мгновенное значение напряжения

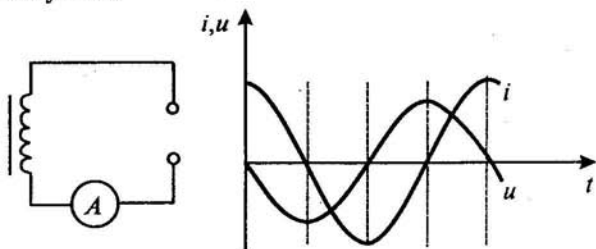
$$u = L\omega I_0 \cos \omega t = U_0 \cos \omega t = U_0 \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right).$$

$U_0 = I_0 \cdot \omega L$ — амплитуда напряжения.

Напряжение опережает ток по фазе на $\pi/2$.

$X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление.

Индуктивное сопротивление не является характеристикой проводника, т. к. зависит от параметров цепи (частоты): чем больше частота переменного тока, тем больше сопротивление, которое ему оказывает катушка.



Т. к. разность фаз между колебаниями тока и напряжения равна $\pi/2$, то мощность в цепи равна 0: энергия не расходуется, а происходит обмен энергией между источником напряжения и индуктивной нагрузкой. Такая нагрузка называется **реактивной**.

Закон Ома для полной цепи переменного тока

Если в цепи переменного тока имеются нагрузки разных типов, то закон Ома выполняется только для максимальных (амплитудных) и действующих значений тока и напряжения.

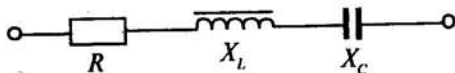
$$U = \sqrt{U_R^2 + (U_L - U_C)^2}$$

Z — полное сопротивление переменному току.

$$Z = \frac{U_0}{I_0} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \frac{1}{\omega C}\right)^2}.$$

Сдвиг фаз в цепи переменного тока определяется характером нагрузки:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_L - U_C}{U_R} = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \text{или} \quad \cos \varphi = \frac{U_R}{U} = \frac{R}{Z}.$$



Мощность в цепи переменного тока

Активной мощностью переменного тока называется средняя за период мощность необратимых преобразований в цепи переменного тока (преобразование энергии электрического тока во внутреннюю энергию): $\bar{p} = \overline{i \cdot u} = \frac{1}{2} I_0 U_0 \cos \varphi$.

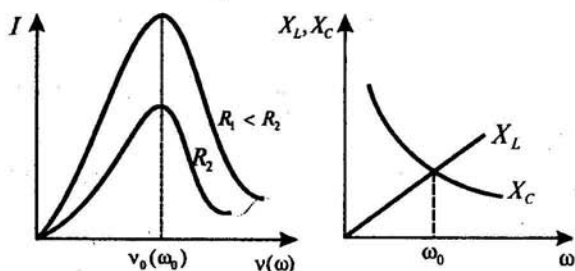
$$\bar{p} = I_d U_d \cos \varphi.$$

Величина $\cos \varphi = \frac{R}{Z}$ называется коэффициентом мощности.

При малом коэффициенте мощности потребляется лишь малая часть мощности, вырабатываемой генератором. Остальная часть мощности периодически перекачивается от генератора к потребителю и обратно и рассеивается в линиях электропередач.

Резонанс в электрической цепи

Резонанс в электрической цепи — явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний тока при приближении частоты внешнего напряжения (ЭДС) и собственной частоты колебательного контура.



Сопротивление будет минимальным (сила тока при заданном напряжении — максимальной) при условии $X_L = X_C$ или

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

$\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ — т. е. частота изменения внешнего напряжения равна собственной частоте колебаний в контуре.

Резкое уменьшение амплитуды силы тока во внешней цепи, питающей параллельно соединенные емкостное и индуктивное сопротивления при приближении частоты внешнего напряжения к собственной частоте колебательного контура называется **резонансом токов**.

Применение: одно из основных применений резонанса в электрической цепи — настройка радио и телевизионных приемников на частоту передающей станции. Необходимо учитывать резонансные явления, когда в цепи, не рассчитанной на работу в условиях резонанса, возникают чрезмерно большие токи или напряжения (расплавление проводов, пробой изоляции и т. д.).

Трансформатор

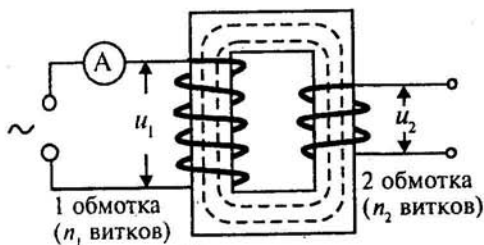
Трансформатор преобразует переменный ток: изменяются напряжение и сила тока, не изменяются мощность и частота тока.

Изобрел в 1878 г. — П. Н. Яблочков.

Устройство

1. Замкнутый сердечник (магнитопровод): набор пластин из трансформаторной стали.

2. Две обмотки: первичная (к генератору) и вторичная (к нагрузке).



Эффект трансформации возникает из-за неодинакового количества витков в первичной и вторичной обмотках!

При холостом ходе трансформатор потребляет из сети небольшую энергию, которая затрачивается на перемагничивание его сердечника.

Работа под нагрузкой.

При включении во вторичную цепь нагрузки R в ней возникает ток I_2 той же частоты, что и ток I_1 . Напряжение во вторичной цепи $U_2 = \mathcal{E}_2 - I_2 r_2$. Т. к. участки нагрузки присоединяются ко вторичной обмотке трансформатора параллельно, то при увеличении нагрузки сопротивление уменьшается, а сила тока согласно закону Ома увеличивается. Значит, напряжение на нагрузке уменьшается.

Магнитное поле тока I_2 приводит к размагничиванию катушки, ее индуктивное сопротивление уменьшается, следовательно, при неизменном напряжении в первичной обмотке сила тока в ней увеличивается.

$k = \frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2}$, k — коэффициент трансформации, если $k > 1$ —

то трансформатор понижающий, а если $k < 1$ — то повышающий.

Производство электроэнергии

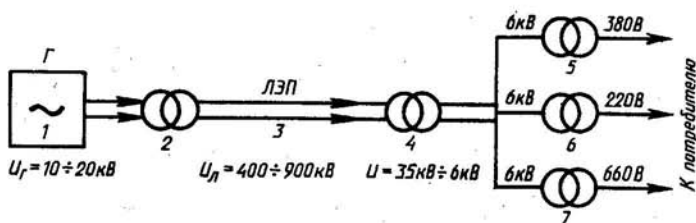
Осуществляется производство в основном с помощью электро-механических индукционных генераторов.

Электростанции: тепловые (ТЭЦ) и гидроэлектрические (ГЭС), атомные (АЭС). Существуют также приливные, ветровые.

Источники энергии ТЭЦ: уголь, газ, мазут, сланцы, торф.

ГЭС используют потенциальную энергию воды.

Атомные электростанции — тепловые станции, но использующие вместо энергии сгорающего органического топлива энергию распада атомов.



- 1 — генератор переменного тока;
 2 — повышающие трансформаторы;
 3 — линия электропередачи (ЛЭП);
 4, 5, 6, 7 — понижающие трансформаторы

Потери энергии в линии электропередач

Теплота, выделяемая током на ЛЭП, $Q = I^2 R t$.

Спротивление ЛЭП; $R = \rho \frac{l}{S}$.

Мощность в цепи переменного тока $P = IU \cos \varphi$.

Следовательно: $I = \frac{P}{U \cos \varphi}$ и $Q = \frac{P^2 \rho l}{U^2 S \cos^2 \varphi}$.

Для уменьшения количества теплоты нужно либо увеличить площадь сечения проводов, что экономически невыгодно, либо увеличить напряжение. Используются повышающие трансформаторы.

Использование электроэнергии

Промышленность, транспорт, сельское хозяйство, бытовое потребление (освещение, холодильники, телевизоры). Большая часть электроэнергии превращается в механическую (электродвигатели), 1/3 используется на технические цели (электросварка, плавление, электролиз и т. п.).

Электромагнитные волны

М. Фарадей ввел понятие поля:

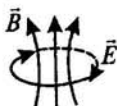
— вокруг покоящегося заряда возникает электростатическое поле,

— вокруг движущихся зарядов (тока) возникает магнитное поле.

В 1830 г. М. Фарадей открыл явление электромагнитной индукции: при изменении магнитного поля возникает вихревое электрическое поле.

В 1862 г. Д. К. Максвелл выдвинул гипотезу: при изменении электрического поля возникает вихревое магнитное поле.

Переменное магнитное поле создает вихревое электрическое поле.



Переменное электрическое поле создает вихревое магнитное поле.



Электромагнитное поле — это особая форма материи — совокупность электрических и магнитных полей. Переменные электрические и магнитные поля существуют одновременно и образуют единое электромагнитное поле. Оно материально: проявляет себя в действии как на покоящиеся, так и на движущиеся заряды; распространяется с большой, но конечной скоростью; существует независимо от нашей воли и желаний.

При скорости заряда, равной нулю, существует только электрическое поле. При постоянной скорости заряда возникает электромагнитное поле.

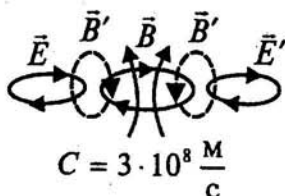
При ускоренном движении заряда происходит излучение электромагнитной волны, которая распространяется в пространстве с конечной скоростью.

Разработка идеи электромагнитных волн принадлежит Максвеллу.

Электромагнитная волна — распространяющаяся в пространстве

электромагнитное поле (колебания векторов \vec{E} и \vec{B}).

Вблизи заряда электрическое и магнитное поля изменяются со сдвигом фаз $\pi/2$.



На большом расстоянии от заряда электрическое и магнитные поля изменяются синфазно.

$$\vec{v} \perp \vec{E} \perp \vec{B}$$

Электромагнитная волна поперечна. Направление скорости электромагнитной волны совпадает с направлением движения правого винта при повороте ручки буравчика вектора \vec{E} к вектору \vec{B} .

Причем в электромагнитной волне выполняется соотношение, $B = \frac{E}{c}$ где c — скорость света в вакууме.

Энергия электромагнитных волн

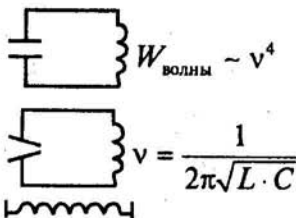
Максвелл теоретически рассчитал энергию и скорость электромагнитных волн. Энергия волны прямо пропорциональна четвертой степени частоты.

$$W \propto \omega^4$$

Электромагнитные волны

Были открыты Г. Герцем (1887).

Частота колебаний определяется параметрами колебательного контура: $\nu = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.



Герц обнаружил электромагнитные волны на опыте и измерил их скорость, которая совпала с рассчитанной Максвеллом и равной $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Радио

Радиосвязь — передача информации с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

Радиовещание — передача речи и музыки с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

Телевидение — передача изображения, речи и музыки с помощью электромагнитных волн радиодиапазона.

А. С. Попов повторил опыты Герца и в апреле 1895 г. создал первый приемник (грозоотметчик). «Генрих Герц» — первая в мире радиограмма (передавалась азбукой Морзе).

7 мая 1895 г. демонстрация прибора на заседании Русского физико-химического общества. Дальность — 250 м; 1899 г. — 20 км; 1901 г. — 150 км. Попов впервые использовал когерер и приемную антенну.

Принцип радиотелефонной связи

Структурная схема радиопередатчика и радиоприемника.

1. Задающий генератор (генератор высокой частоты) вырабатывает гармонические колебания высокой частоты ВЧ (несущая частота более 100 тыс. Гц).

2. Микрофон преобразует механические звуковые колебания в электрические той же частоты.

3. Модулятор изменяет (модулирует) по частоте или амплитуде высокочастотные колебания с помощью электрических колебаний низкой частоты НЧ.

4. Усилители высокой и низкой частоты УВЧ и УНЧ усиливают по мощности высокочастотные и звуковые (низкочастотные) электрические колебания.

5. Передающая антенна излучает модулированные электромагнитные волны.

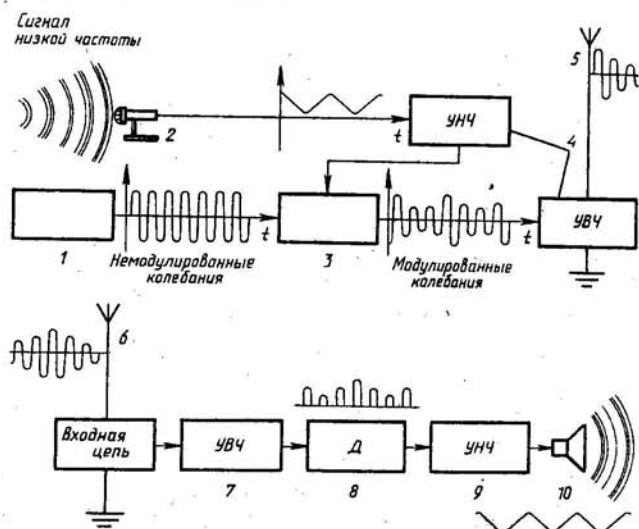
6. Приемная антенна принимает электромагнитные волны. Электромагнитная волна, достигшая приемной антенны, индуцирует в ней переменный ток той же частоты, на которой работает передатчик.

7. УВЧ.

8. Детектор выделяет из модулированных высокочастотных колебаний низкочастотные колебания.

9. УНЧ.

10. Динамик преобразует электромагнитные колебания в механические звуковые колебания.



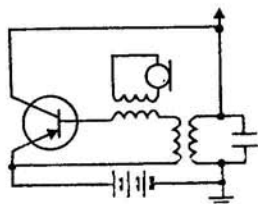
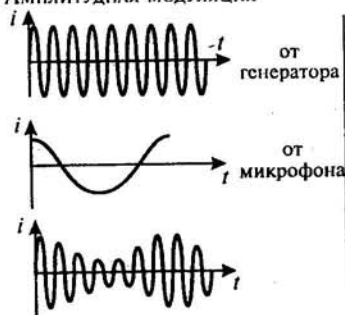
Амплитудная модуляция

Изменение амплитуды колебаний высокой (несущей) частоты колебаниями низкой (звуковой) частоты называется амплитудной модуляцией. Для получения амплитудно-модулированных электромагнитных колебаний в цепь транзисторного генератора последовательно с колебательным контуром включают катушку трансформатора.

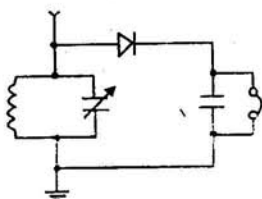
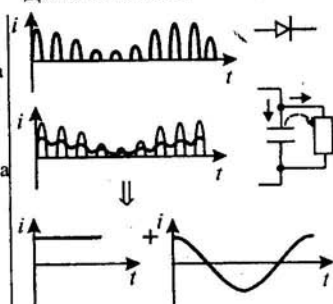
Детектирование (демодуляция)

Детектирование осуществляется устройством, содержащим элемент с односторонней проводимостью: вакуумный или полупроводниковый диод — детектор.

АМПЛИТУДНАЯ МОДУЛЯЦИЯ

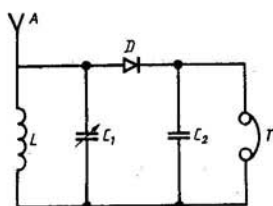


ДЕТЕКТИРОВАНИЕ



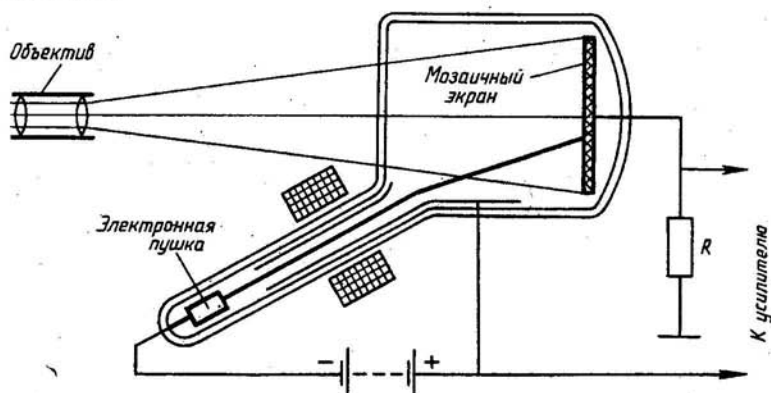
Радиоприемник

Детекторный радиоприемник состоит из колебательного контура, антенны, детектора (диода), конденсатора постоянной емкости, телефона. В контуре принятая радиоволна возбуждает модулированные колебания. Конденсатор переменной емкости настраивает контур в резонанс с принятой радиоволной. Модулированные колебания высокой частоты (ВЧ) поступают на детекторный каскад. После прохождения детектора составляющая тока ВЧ идет через конденсатор постоянной емкости, а составляющая тока низкой частоты (НЧ) идет на обмотки катушек телефона. Таким образом, по катушкам телефона идет ток низкой частоты, вызывающий колебания мембраны с той же звуковой частотой.



Телевидение

Схема телевидения в основном совпадает со схемой радиовещания. Разница заключается в том, что в передатчике колебания модулируются не только звуковыми сигналами, но и сигналами изображения. Оптические сигналы в передающей телекамере преобразуются в электрические. Модулированная электромагнитная волна переносит информацию на большие расстояния. В телевизионном приемнике высокочастотный сигнал делится на три сигнала: сигнал изображения, звуковой сигнал и сигнал управления. После усиления эти сигналы поступают в свои блоки и используются по назначению.



Для воспроизведения движения используют принцип кино: изображение движущегося объекта (кадра) передают десятки раз в секунду (в телевидении 50 раз). Преобразование изображения кадра в электрические сигналы производится с помощью иконоскопа. На экран иконоскопа проецируется изображение объекта с помощью оптической системы (объектива). Такой же сигнал получается в телевизионном приемнике, где сигнал преобразуется в видимое изображение на экране кинескопа. Телевизионные радиосигналы передаются в диапазоне ультракоротких волн, т. е. в пределах прямой видимости антенны.

Зона уверенного приема телевидения увеличивается благодаря использованию ретрансляционных спутников.

Первый практический телевизионный приемник был изобретен В. К. Зворыкиным в 1934 г. В России (да и в мире) первые опыты по передаче изображения были проведены под руководством Б. Л. Розинга в Петрограде.

Распространение радиоволн

Длинные и средние волны (длина более 100 м) — распространяются на большие расстояния, поскольку способны огибать выпуклую поверхность Земли за счет дифракции и рефракции

Короткие волны $10 < \lambda < 100$ м — тоже позволяют осуществлять радиосвязь между удаленными точками земного шара благодаря многократному отражению от ионосферы и от поверхности Земли.

Ультракороткие волны $\lambda < 10$ м — обеспечивают радиосвязь

ОПТИКА

ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

Закон прямолинейного распространения света

Свет в однородной среде распространяется прямолинейно.

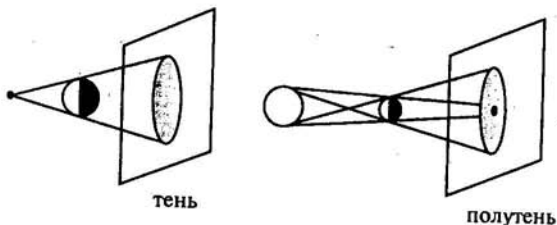
Луч — часть прямой, указывающей направление распространения света.

Прямолинейностью распространения света объясняется образование тени и полутени.

При малых размерах источника (источник, находится на расстоянии, по сравнению с которым размерами источника можно пренебречь) получается только тень (область пространства, в которую свет не попадает).

При больших размерах источника света (или, если источник находится близко к предмету) создаются нерезкие тени (тень и полутень).

В астрономии — объяснение затмений.



Световые пучки распространяются независимо друг от друга. Например, проходя один через другой, они не влияют на взаимное распространение.

Световые пучки обратимы, т. е., если поменять местами источник света и изображение, полученное с помощью оптической системы, то ход лучей от этого не изменится.

Оптические явления на границе раздела двух сред

На границе раздела двух сред наблюдаются: отражение, преломление и поглощение света. Отражение, преломление и поглощение падающего на тело излучения зависит от рода вещества, состояния поверхности, состава излучения и угла падения.

Угол между падающим лучом и перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча, называется углом падения (α).

Угол между перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча, и отраженным лучом называется углом отражения (γ).

Угол между перпендикуляром, восстановленным в точку падения луча, и преломленным лучом называется углом преломления (β).

Отражение света.

Отражение, при котором пучок параллельных лучей преобразуется в расходящийся, называется **диффузным**.

Диффузное, или рассеянное, отражение позволяет нам видеть тела.

Отражение, при котором пучок параллельных лучей остается параллельным, называется **зеркальным**.



зеркальное



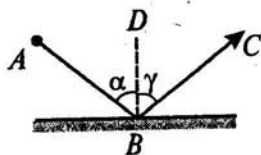
диффузное

Законы отражения света

1. Луч падающий и луч отраженный лежат в одной плоскости с перпендикуляром к отражающей поверхности.

2. Угол отражения луча равен углу его падения $\alpha = \gamma$.

Законы отражения света были известны еще древним грекам, но теоретическое доказательство стало возможно только на основе принципа Гюйгенса.



Изображение в плоском зеркале

Изображение любого предмета в плоском зеркале равно по размерам самому предмету и расположено относительно зеркала симметрично предмету.

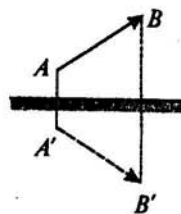
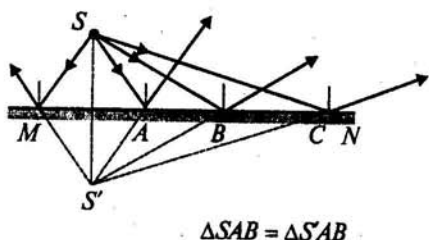
Для построения изображения предмета в плоском зеркале достаточно построить точки, симметричные точкам предмета.

Изображение в плоском зеркале:

мнимое — т. е. находится на пересечении продолжений лучей, а не самих лучей;

прямое — т. е. не перевернутое;

равное.



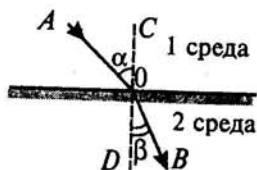
Преломление

На границе раздела двух сред падающий световой поток делится на две части: одна часть отражается, другая — преломляется.

Преломление света подчиняется закону:

1. Луч падающий и луч преломленный лежат в одной плоскости с перпендикуляром, восстановленным в точке падения луча к поверхности раздела двух сред.

2. Отношение синуса угла падения к синусу угла преломления для двух данных сред есть величина постоянная (для монохроматического света).



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

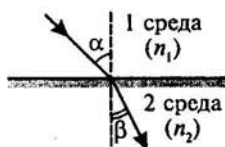
Причиной преломления является различие скоростей распространения волн в различных средах.

Величина, равная отношению скорости света в вакууме к скорости света в данной среде, называется **абсолютным показателем преломления** среды. Это табличная величина — характеристика данной среды.

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

Величина, равная отношению скорости света в одной среде к скорости света в другой, называется **относительным показателем преломления** второй среды относительно первой.

$$n_{2,1} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{n_2}{n_1}$$



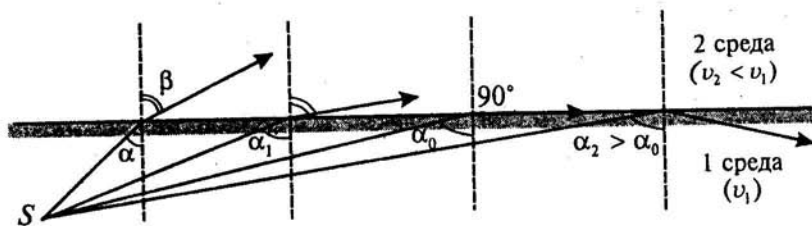
Полное отражение

Если свет падает из оптически более плотной среды в оптически менее плотную, то при определенном для каждой среды угле падения, преломленный луч исчезает. Наблюдается только преломление. Это явление называется полным внутренним отражением.

Угол падения, которому соответствует угол преломления 90° , называют **предельным углом** полного внутреннего отражения (α_0).

Из закона преломления следует, что при переходе света из какойлибо среды в вакуум (или воздух).

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{1}{n}; \quad \sin \alpha_0 = \frac{1}{n}$$



При переходе между двумя любыми средами:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin 90^\circ} = \frac{n_2}{n_1} ; \quad \sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1}$$

Явление полного отражения света используется в призмах, в волоконной оптике (световодах), в водолазном деле, в ювелирной промышленности.

Линзы

Прозрачное для света тело, ограниченное выпуклыми или вогнутыми преломляющими поверхностями, называется линзой.

Собирающие (положительные) линзы — это линзы, преобразующие пучок параллельных лучей в сходящийся: двояковыпуклые поверхности, плоско-выпуклые (2), выпукло-вогнутые (3).

Рассеивающие (отрицательные) линзы — это линзы, преобразующие пучок параллельных лучей в расходящийся: вогнуто-выпуклые (4), двояковогнутые (5), плоско-вогнутые (6).



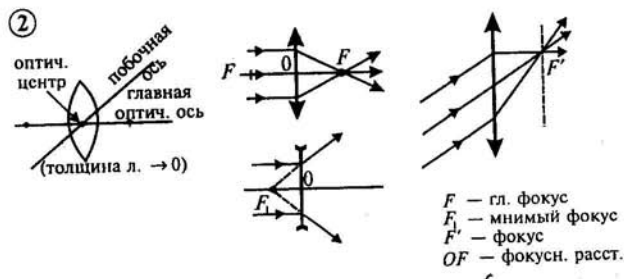
Линзы, у которых середины толще, чем края — собирающие, а у которых толще края — рассеивающие. Эти условия выполняются, если показатель преломления стекла, из которого изготовлена линза, больше показателя преломления среды, в которой используется линза.

Линзы, в которых можно пренебречь смещением луча при прохождении внутри линзы, называют тонкими линзами.

Главные фокусы и фокусное расстояние линзы

Точка F на главной оптической оси, в которой пересекаются после преломления лучи, параллельные этой оси, называется главным фокусом.

Плоскость, которая перпендикулярна главной оптической оси линзы, а также проходит через ее главный фокус, называется фокальной плоскостью.



Побочный фокус F' — это точка на фокальной плоскости, в которой собираются лучи, падающие на линзу параллельно побочной оси.

У собирающей линзы фокусы — действительные, у рассеивающей — мнимые. Расстояние между линзой и главным фокусом (OF) — фокусное расстояние. $-F$.

У собирающей линзы считают $F > 0$, у рассеивающей — $F < 0$.

Оптическая сила линзы: $D = \frac{1}{F}$

Единица оптической силы линзы в СИ — диоптрия: 1 дптр = 1 м⁻¹.

Оптическая сила линзы определяется кривизной ее поверхности, а также показателем преломления ее вещества относительно окружающей среды:

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

где R_1 и R_2 — радиусы сферических поверхностей линзы; n — относительный показатель преломления.

Формула тонкой линзы

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

где d — расстояние предмета от линзы; f — расстояние от линзы до изображения, F — фокусное расстояние.

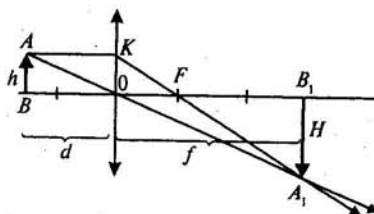
Оптическая сила тонкой линзы равна:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

При расчетах числовые значения действительных величин всегда подставляются со знаком «плюс», а мнимых — со знаком «минус».

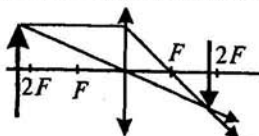
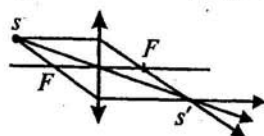
Линейное увеличение

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \left| \frac{f}{d} \right|.$$

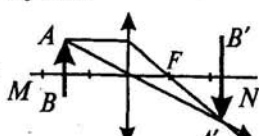


Построение изображения в тонкой линзе

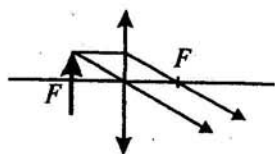
1. Луч, параллельный главной оптической оси, проходит через точку главного фокуса.
2. Луч, параллельный побочной оптической оси, проходит через побочный фокус (точку на побочной оптической оси).
3. Действительное изображение — пересечение лучей. Мнимое изображение — пересечение продолжений лучей.



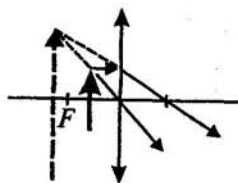
действ.,
перевернутое,
уменьшенное



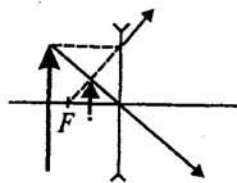
действ.,
перевернутое,
увеличенное



изображ.
в бесконеч.



мнимое, прямое,
увеличенное



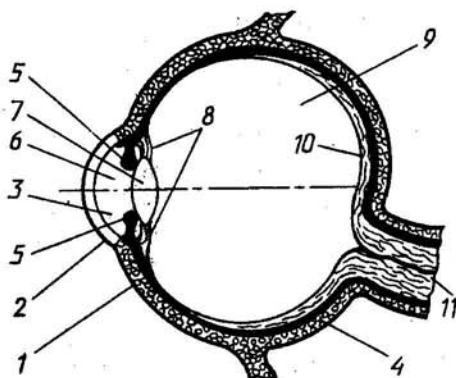
мнимое, прямое,
уменьшенное

Построение изображения в тонкой линзе

Глаз

Глаз — это система линз. Диаметр глаза ≈ 23 мм. Через глаз мы получаем до 90% информации.

Состоит из склеры 1 (защитная оболочка из эластичной ткани), роговицы 2, камеры 3 (полость, заполненная прозрачной жидкостью), сосудистой оболочки 4, радужной оболочки 5, зрачка 6 (d от 2 до 8 мм), хрусталика 7 ($n = 1,44$), мышц, изменяющих оптические свойства глаза 8, прозрачной студенистой массы 9 (глазное дно), сетчатки 10 (7 млн. колбочек, 130 млн. палочек, которые реагируют на свет разной частоты неодинаково), разветвлений зрительного нерва 11.



Основные свойства и оптические характеристики глаза:

Аккомодация — свойство глаза, обеспечивающее четкое восприятие разноудаленных предметов. Изменяется главный фокус глаза от 16 до 13 мм. Оптическая сила глаза от 60 до 75 дптр.

Предельный угол зрения ($\varphi = 1'$) с приближением предмета увеличивается угол зрения, под которым мы видим две близкие точки предмета.

Адаптация — приспособляемость к различным условиям освещенности: диаметр зрачка меняется от 2 до 8 мм.

Поле зрения: по оси OX 150° , по оси OY 125° . Спектральная чувствительность от 380 до 760 нм. Самая большая чувствительность 555 нм (зеленый цвет).

Острота зрения — свойство глаза разделять две близкие точки.

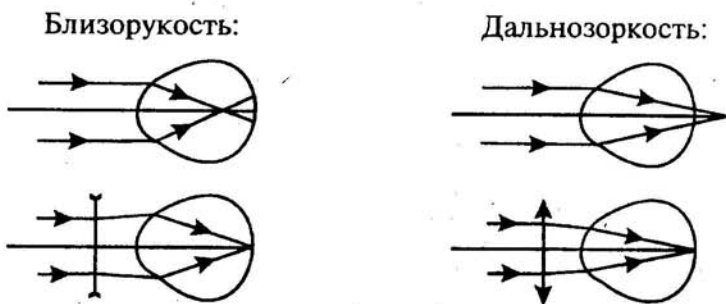
Расстояние наилучшего зрения $d_0 = 250$ мм. Дальние предметы глаз видит без напряжения.

Дефекты зрения:

Глаз не может создать резкое изображение на сетчатке.

Дальнозоркость — дефект зрения, состоящий в том, что изображение предмета в ненапряженном состоянии глаза получается за сетчаткой. При рассматривании близких предметов предел аккомодации исчерпывается при расстояниях больше 25 см. Исправляется ношением очков с собирающими линзами.

Близорукость — дефект зрения, при котором глаз в ненапряженном состоянии создает изображение удаленного предмета не на сетчатке, а перед ней, т. е. не может видеть удаленные предметы. Исправляется ношением очков с рассеивающими линзами.



Подбор очков:

$$D_{\text{оч}} = D_{\text{гл}} = D_{\text{оч}} + D_{\text{гл}} \in D_{\text{оч}} = D_{\text{оч}} + D_{\text{гл}} - D_{\text{гл}}$$

$$D_{\text{оч}} = \frac{1}{d_0} + \frac{1}{f} - \frac{1}{d_{\text{гл}}} - \frac{1}{f}$$

где f — глубина глаза; $d_{\text{гл}}$ — расстояние, на которое видит глаз без очков; $d_0 = 25$ см — расстояние наилучшего зрения глаза;

$$D_{\text{оч}} = \frac{1}{d_0} - \frac{1}{d_{\text{гл}}}$$

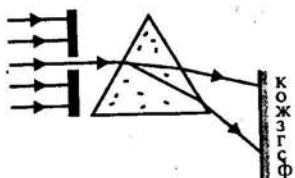
Близорукость и дальнозоркость могут быть исправлены с помощью современной хирургии по изменению формы роговицы или хрусталика, а также подбором контактных линз.

ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

Дисперсия света

Зависимость показателя преломления света от частоты колебаний (или длины волны) называется дисперсией.

Разложение белого света есть следствие дисперсии. Впервые исследовал дисперсию И. Ньютон.



Зависимость показателя преломления света от частоты.

Скорость света в вакууме не зависит от частоты или длины волны и равна $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Фиолетовый луч преломляется больше, чем красный.

$$n_{\text{Ф}} > n_{\text{К}}$$

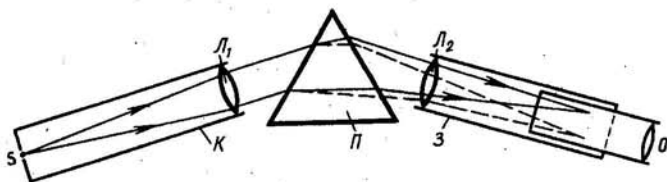
Абсолютный показатель преломления связан со скоростью распространения света в этой среде формулой: $n = \frac{c}{v}$

В одном и том же веществе скорости света для разных частот (или длин волн) различны.

Показатель преломления света в среде зависит от его частоты.

Приборы спектроскоп и спектрограф позволяют получить и исследовать спектры.

Спектроскоп: S — источник излучения, находящийся в фокальной плоскости линзы L_1 , линза L_2 фокусирует параллельные пучки лучей на экране; П — призма; К — коллиматор со щелью (на призму падает параллельный пучок); З — зрительная труба, О — объектив. Вместо призмы может использоваться дифракционная решетка.



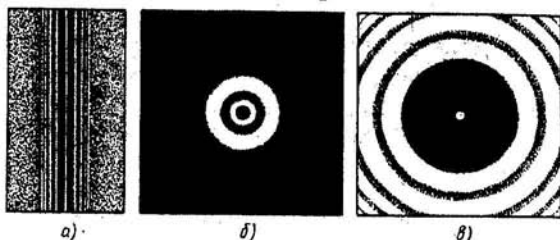
Дифракция света

Характерным проявлением волновых свойств света является дифракция света — отклонение света от прямолинейного распространения на резких неоднородностях среды.

Дифракция была открыта Ф. Гримальди в конце XVII в. Объяснение явления дифракции света дано Т. Юнгом и О. Френелем, которые не только дали описание экспериментов по наблюдению явлений интерференции и дифракции света, но и объяснили свойство прямолинейности распространения света с позиций волновой теории.

Дифракция от различных препятствий:

- а) от тонкой проволоочки;
- б) от круглого отверстия;
- в) от круглого непрозрачного экрана.



Дифракция происходит на предметах любых размеров, а не только соизмеримых с длиной волны λ . Трудности наблюдения заключаются в том, что вследствие малости длины световой волны интерференционные максимумы располагаются очень близко друг к другу, а их интенсивность быстро убывает.

Дифракционная решетка

Дифракционная решетка — система препятствий (параллельных штрихов), сравнимых по размерам с длиной волны.

$d = a + b$ — постоянная (период) дифракционной решетки, где a — ширина щели; b — ширина непрозрачной части. Угол φ — угол отклонения световых волн вследствие дифракции.

$\varphi = k\lambda$ — формула дифракционной решетки.

Величина k — порядок дифракционного максимума (равен 0, ± 1 , ± 2 и т. д.).

Определение длины волны с помощью дифракционной решетки

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{x}{y},$$

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{k} = d \frac{x}{ky}.$$

Если $OM = y$, $MN = x$, то

$$\operatorname{tg} \varphi \approx \sin \varphi = \frac{x}{y} \text{ ввиду малости угла.}$$

Интерференция света

Явление интерференции свидетельствует о том, что свет — это волна.

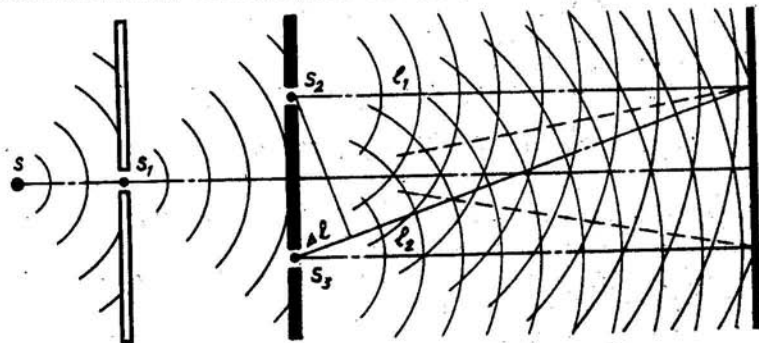
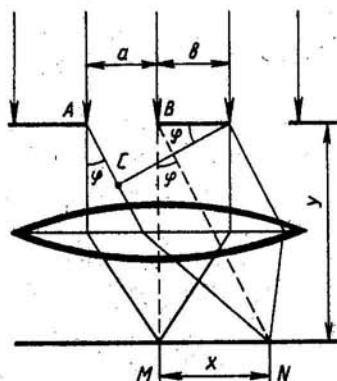
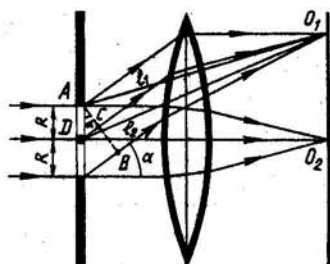
Интерференцией световых волн называется сложение двух когерентных волн, вследствие которого наблюдается усиление или ослабление результирующих световых колебаний в различных точках пространства.

Условия интерференции

Волны должны быть когерентны.

Когерентность — согласованность. В простейшем случае когерентными являются волны одинаковой длины, между которыми существует постоянная разность фаз.

Все источники света, кроме лазера, некогерентны.



Условие максимума

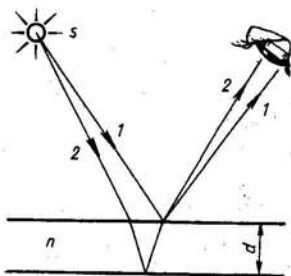
Пусть разность хода между двумя точками $\Delta d = l_1 - l_2$, тогда условие максимума: $\Delta d = 2k \frac{\lambda}{2}$, т. е. на разности хода волн укладывается четное число полуволен ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Условие минимума

Пусть разность хода между двумя точками $\Delta d = l_1 - l_2$, тогда условие минимума: $\Delta d = (2k + 1) \frac{\lambda}{2}$, т. е. на разности хода волн укладывается нечетное число полуволен ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Интерференция света в тонких пленках

Различные цвета тонких пленок — результат интерференции двух волн, отражающихся от нижней и верхней поверхностей пленки. При отражении от верхней поверхности пленки происходит потеря полуволны. Следовательно, оптическая разность хода $\Delta d = 2dn - \frac{\lambda}{2}$. Тогда условие максимального усиления интерферирующих лучей в отраженном свете следующее: $2dn - \frac{\lambda}{2} = k\lambda$. Если потерю полуволны не учитывать, то $2dn = k\lambda$.

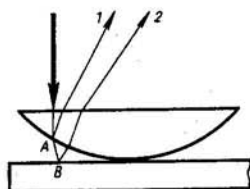


Кольца Ньютона

Интерференционная картина в тонкой прослойке воздуха между стеклянными пластинами — кольца Ньютона.

Волна 1 — результат отражения ее от точки А (граница стекло — воздух). Волна 2 — отражение от плоской пластины (точка В, граница воздух — стекло). Волны когерентны: возникает интерференционная картина в прослойке воздуха между точками А и В

в виде концентрических колец. Зная радиусы колец, можно вычислить длину волны, используя формулу $\{r = \sqrt{Rk\lambda}$, где r — радиус кольца, R — радиус кривизны выпуклой поверхности линзы.



Использование интерференции в технике

Проверка качества обработки поверхности до одной десятой длины волны. Несоввершенство обработки определяют по искривлению интерференционных полос, образующихся при отражении света от проверяемой поверхности. Интерферометры служат для точного измерения показателя преломления газов и других веществ, длин световых волн.

Поляризация

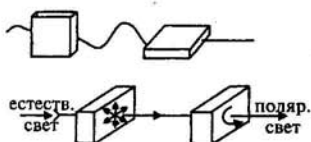
Свет, испускаемый лампой накаливания, не поляризован. Пройдя сквозь первый кристалл турмалина, свет становится плоскополяризованным. Второй кристалл пропускает поляризованный свет при определенной ориентации кристалла относительно плоскости поляризации. Поворот второй пластины относительно первой приводит к изменению интенсивности света.

Если анализатор повернуть на 90° , то поляризованный свет проходить не будет. Этот опыт обнаруживает поперечность световых волн.

Поляризация присуща только поперечным волнам. Продольные волны не поляризуются. Световые волны имеют электромагнитную природу, колебания E и B происходят в двух определенных плоскостях.

Но не только кристаллы турмалина способны поляризовать свет. Таким же свойством обладают поляроиды в виде тонкой (0,1 мм) пленки кристаллов герпатита, нанесенной на целлулоид или стекло.

Применение поляризованного света: регулировка освещенности, гашение зеркальных бликов при фотографировании, предупреждение ослепления водителя встречным транспортом, наблюдение ярких источников света в астрономии (например, солнечной короны), в геологии и ряде других областей науки и техники.



Шкала электромагнитных волн

Длины электромагнитных волн, которые могут быть зарегистрированы приборами, лежат в очень широком диапазоне. Все эти волны обладают общими свойствами: поглощение, отражение, интерференция, дифракция, дисперсия. Свойства эти могут, однако, проявляться по-разному. Различными являются источники и приемники волн.

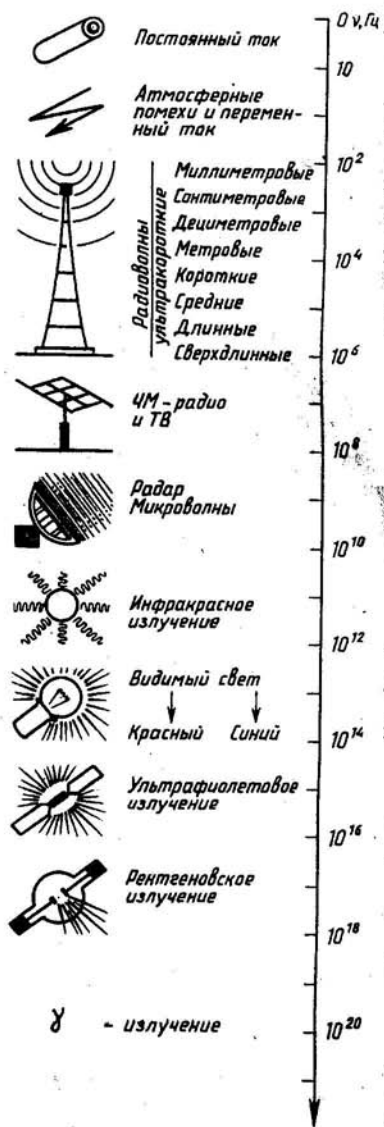
Радиоволны

$$\nu = 10^5 - 10^{11} \text{ Гц}, \lambda = 10^{-3} - 10^3 \text{ м.}$$

Получают с помощью колебательных контуров и макроскопических вибраторов.

Свойства. Радиоволны различных частот и с различными длинами волн по-разному поглощаются и отражаются средами.

Применение: радиосвязь, телевидение, радиолокация. В природе радиоволны излучаются различными внеземными источниками (ядра галактик, квазары).



Инфракрасное излучение (тепловое)

$$\nu = 2 \cdot 10^{11} - 4 \cdot 10^{14} \text{ Гц}, \lambda = 8 \cdot 10^{-7} - 2 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

Излучается атомами и молекулами вещества.

Инфракрасное излучение дают все тела при любой температуре.

Человек излучает электромагнитные волны $\lambda \approx 9 \cdot 10^{-6} \text{ м.}$

Свойства:

1. Проходит через некоторые непрозрачные тела, а также сквозь дождь, дымку, снег.
2. Производит химическое действие на фотопластинки.
3. Поглощаясь веществом, нагревает его.
4. Вызывает внутренний фотоэффект у германия.
5. Невидимо.

Регистрируют тепловыми методами, фотоэлектрическими и фотоскопическими.

Применение. Получают изображения предметов в темноте, приборах ночного видения (ночные бинокли), тумане. Используют в криминалистике, в физиотерапии, в промышленности для сушки крашенных изделий, стен зданий, древесины, фруктов.

Видимое излучение

Часть электромагнитного излучения, воспринимаемая глазом (от красного до фиолетового):

$$\nu = 4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14} \text{ Гц},$$

$$\lambda = 8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

Свойства. Воздействует на глаз.

Ультрафиолетовое излучение

$$\nu = 8 \cdot 10^{14} - 3 \cdot 10^{16} \text{ Гц},$$

$$\lambda = 10^{-8} - 4 \cdot 10^{-7} \text{ м.}$$

(Меньше, чем у фиолетового света.)

Источники: газоразрядные лампы с трубками из кварца (кварцевые лампы).

Излучается всеми твердыми телами, у которых $T > 1000^\circ \text{ C}$, а также светящимися парами ртути.

Свойства. Высокая химическая активность (разложение хлорида серебра, свечение кристаллов сульфида цинка), невидимо, большая

проникающая способность, убивает микроорганизмы, в небольших дозах благотворно влияет на организм человека (загар), но в больших дозах оказывает отрицательное биологическое воздействие. Изменения в развитии клеток и обмене веществ, действие на глаза.

Рентгеновские лучи

Излучаются при большом ускорении электронов, например торможение в металлах. Получают при помощи рентгеновской трубки: электроны в вакуумной трубке ($p = 10^{-3} - 10^{-5}$ Па) ускоряют электрическим полем при высоком напряжении, достигая анода при соударении резко тормозятся. При торможении электроны движутся с ускорением и излучают электромагнитные волны малой длиной (от 100 до 0,01 мм).

Свойства. Интерференция, дифракция рентгеновских лучей в кристаллической решетке, большая проникающая способность. Облучение в больших дозах вызывает лучевую болезнь.

Применение. В медицине (диагностика заболеваний внутренних органов), в промышленности (контроль внутренней структуры различных изделий, сварных швов).

γ -излучение

Источники: атомное ядро (ядерные реакции).

Свойства. Имеет огромную проникающую способность, оказывает сильное биологическое воздействие. Применение. В медицине, промышленности (γ -дефектоскопия).

Общим свойством электромагнитных волн является также то, что все излучения обладают одновременно квантовыми и волновыми свойствами. Квантовые и волновые свойства в этом случае не исключают, а дополняют друг друга. **Волновые свойства** ярче проявляются при малых частотах и менее ярко — при больших. И наоборот, **квантовые свойства** ярче проявляются при больших частотах и менее ярко — при малых. Чем меньше длина волны, тем ярче проявляются квантовые свойства, а чем больше длина волны, тем ярче проявляются волновые свойства.

СПЕКТРЫ

Спектры испускания

Совокупность частот (или длин волн), которые содержатся в излучении какого-либо вещества, называют **спектром испускания**. Они бывают трех видов.

Сплошной — это спектр, содержащий все длины волн определенного диапазона от красного с $\lambda \approx 7,6 \cdot 10^{-7}$ м до фиолетового с $\lambda \approx 4 \cdot 10^{-7}$ м. Сплошной спектр излучают нагретые твердые и жидкие вещества, газы, нагретые под большим давлением.

Линейчатый — это спектр, испускаемый газами, парами малой плотности в атомарном состоянии. Состоит из отдельных линий разного цвета (длины волны, частоты), имеющих разные расположения. Каждый атом излучает набор электромагнитных волн определенных частот. Поэтому каждый химический элемент имеет свой спектр.

Полосатый — это спектр, который испускается газом в молекулярном состоянии.

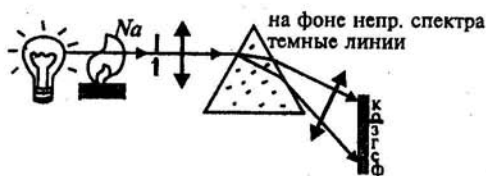


Линейчатые и полосатые спектры можно получить путем нагрева вещества или пропускания электрического тока.

Спектры поглощения

Спектры поглощения получают, пропуская свет от источника, дающего сплошной спектр, через вещество, атомы которого находятся в невозбужденном, состоянии.

Спектр поглощения — это совокупность частот, поглощаемых данным веществом.



Согласно закону Кирхгофа вещество поглощает те линии спектра, которые и испускает, являясь источником света.

Спектральный анализ

Исследование спектров испускания и поглощения позволяет установить качественный состав вещества. Количественное содержание элемента в соединении определяется путем измерения яркости спектральных линий. Метод определения качественного и количественного состава вещества по его спектру называется **спектральным анализом**. Зная длины волн, испускаемых различными парами, можно установить наличие тех или иных элементов в веществе.

Этот метод очень чувствителен. Отдельные линии в спектрах различных элементов могут совпадать, но в целом спектр каждого элемента является его индивидуальной характеристикой. Спектральный анализ сыграл большую роль в науке. С его помощью был изучен состав Солнца и звезд.

В спектре Солнца (1814) были открыты фраунгоферовы темные линии.

Солнце — раскаленный газовый шар ($T \approx 6000^\circ \text{C}$), испускающий сплошной спектр. Солнечные лучи проходят через атмосферу Солнца, где $t \approx 2000\text{--}3000^\circ \text{C}$.

Корона поглощает из сплошного спектра определенные частоты, а мы на Земле принимаем солнечный спектр поглощения. По нему можно определить, какие элементы присутствуют в короне Солнца.

Спектральный анализ помог обнаружить все земные элементы, а также неизвестный элемент, который назвали гелий. Через 26 лет (1894) открыли гелий на Земле. Благодаря спектральному анализу открыто 25 элементов.

Благодаря сравнительной простоте и универсальности спектральный анализ является основным методом контроля состава вещества в металлургии и машиностроении. С помощью спектрального анализа определяют химический состав руд и минералов.

Спектральный анализ можно производить как по спектрам испусканий, так и по спектрам поглощения.

Состав сложных смесей анализируется по молекулярному спектру.

ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ

Специальная теория относительности (СТО)

Постулаты теории относительности

А. Эйнштейн пришел к выводу, что обнаруженные им в электромагнитной теории противоречия обусловлены предположением существования абсолютного пространства.

Первый постулат: законы физики имеют одинаковую форму во всех инерциальных системах отсчета. Этот постулат явился обобщением принципа относительности Ньютона не только на законы механики, но и на законы остальной физики.

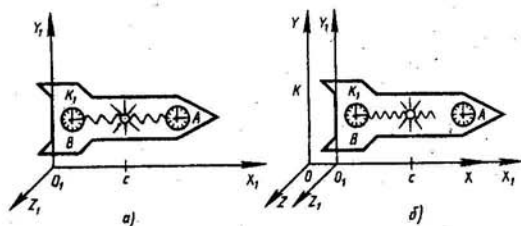
Второй постулат: свет распространяется в вакууме с определенной скоростью c , не зависящей от скорости источника или наблюдателя. $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Эти два постулата образуют основу теории относительности А. Эйнштейна.

Кинематические следствия СТО

1. Относительность одновременности

Из второго постулата теории относительности, согласно которому скорость распространения сигналов является величиной конечной, следует, что в разных ИСО время течет по-разному. Поэтому согласно теории относительности события, являющиеся одновременными в одной ИСО, неодновременны в другой ИСО, движущейся относительно первой.



Например, для наблюдателя внутри ракеты будильники А и В, срабатывающие по световому сигналу от источника, находящегося от них на одинаковом удалении, зазвонят одновременно. Для наблюдателя, относительно которого ракета движется, будильник А

удаляется от точки вспышки, а будильник В — приближается. Следовательно, будильник А зазвенит позже (скорость света во всех ИСО одинакова, а до А свету надо пройти большее расстояние, чем до В).

2. Относительность промежутков времени (замедление времени)

Промежуток времени между двумя событиями имеет наименьшее значение в системе отсчета, связанной с движущимся объектом, где происходит исследуемое явление, которое определяется по формуле

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$
 Время, отсчитываемое по часам, которые дви-

жутся вместе с телом, называют собственным временем. Оно самое короткое; наблюдается релятивистский эффект замедления времени ($\Delta t > \Delta t_0$).

Например, если космонавты отправляются к звездной системе (и обратно), находящейся на расстоянии 500 световых лет от Земли, со скоростью $v = 0,9999 c$, то на это потребуется по их часам 14,1 года; в то время как на Земле пройдет 10 веков.

Этот результат является основой «парадокса близнецов» в СТО. Пусть один из двух близнецов решает стать космонавтом и летит на корабле со скоростью v относительно Земли. Тогда по возвращении он окажется младше своего брата, все время оставшегося на Земле. С другой стороны, так как все ИСО равноправны, можно считать, что Земля двигалась относительно корабля с той же скоростью. Тогда помолодеть должен другой близнец. Разрешить парадокс можно, если понять, что на самом деле системы, связанные с Землей и кораблем неравноправны, т. к. корабль не все время являлся ИСО (в процессах старта, поворота, приземления он двигался с ускорением).

Процессы в неинерциальных СО рассматриваются в общей теории относительности, где доказывается, что на самом деле $\Delta t > \Delta t_0$.

3. Относительность длин (расстояний)

В классической механике считается очевидным, что длина стержня имеет одинаковое значение во всех ИСО. Согласно же теории относительности длина тела не является абсолютной величиной, а зависит от скорости движения тела относительно ИСО и определяется по формуле $l = l_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, где l_0 — собственная длина стержня;

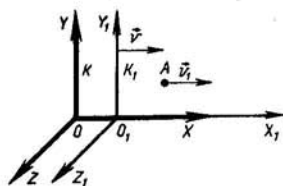
l — длина этого стержня в системе отсчета K_1 относительно которой стержень движется со скоростью v . Из этой формулы следует $l < l_0$, что значит: в ИСО, движущихся друг относительно друга со

скоростью, близкой к скорости света в вакууме, наблюдается релятивистский эффект сокращения длины тела.

4. Релятивистский закон сложения скоростей

$$u = \frac{v_1 + v}{1 + \frac{v_1 \cdot v}{c^2}}$$

Если скорости v и v_1 много меньше скорости света, то величина $\frac{v_1 \cdot v}{c^2} \rightarrow 0$. В результате получим классический закон сложения скоростей $u = v_1 + v$



Релятивистская динамика

Динамика, основанная на принципах СТО, называется релятивистской динамикой.

Основной закон динамики (второй закон Ньютона) для материальной точки имеет вид:

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

Релятивистский импульс

В теории относительности импульс определяется по формуле

$$\vec{p} = m\vec{v}; \quad m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Величину m называют релятивистской массой, измеренной в ССО, относительно которой движется тело со скоростью v .

$$\text{Следовательно, } p = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = F \cdot t$$

При $v = c$ получим, что $m_0 = m \cdot 0$. Это уравнение имеет единственное решение: $m_0 = 0$. Т. е. со скоростью, равной скорости света может двигаться только тело, имеющее массу покоя, равную нулю. Это говорит о предельном характере скорости света для материальных тел.

Закон взаимосвязи массы и энергии

Полную энергию свободного тела можно определить как произведение его релятивистской массы на квадрат скорости света вакууме:

$$E = mc^2 = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Полная энергия тела пропорциональна его массе. В той ИСО, где тело покоится, его собственная энергия (энергия покоя или внутренняя энергия) равна: $E_0 = m_0 c^2$. Энергия покоя тела является его внутренней энергией. Она состоит из суммы энергий покоя всех частиц тела, кинетической энергии всех частиц относительно общего центра масс и потенциальной энергии их взаимодействия. Следовательно, энергия покоя (и масса покоя) тела не равна сумме энергий покоя (масс покоя) частиц, из которых состоит тело.

В релятивистской механике не выполняется закон сохранения массы покоя.

При малых скоростях $E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p^2}{2m}$. Кинетическая энергия значительно меньше энергии покоя. В случае релятивистских частиц — наоборот, можно считать, что полная энергия частицы равна кинетической энергии.

Между полной энергией, энергией покоя и импульсом существует следующая связь: $E^2 = E_0^2 + p^2 c^2$.

Если изменяется энергия системы, то изменяется и ее масса: $\Delta m = \frac{\Delta E}{c^2}$. Всякое изменение любой энергии (тела, частицы, системы тел) на ΔE сопровождается пропорциональным изменением массы на Δm .

Нельзя говорить, что при этом масса переходит в энергию.

В действительности энергия переходит из одной формы (механической) в другие (электромагнитную и ядерную), но любое превращение энергии сопровождается превращением массы:

АТОМНАЯ ФИЗИКА

КВАНТОВАЯ ФИЗИКА

Гипотеза Планка

Стремясь преодолеть затруднения классической теории при объяснении излучения черного тела, М. Планк в 1900 г. высказал гипотезу: атомы испускают электромагнитную энергию отдельными порциями — квантами.

Энергия E каждой порции прямо пропорциональна частоте излучения:

$$E = h\nu$$

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

$$h = 4,136 \cdot 10^{-15} \text{ эВ} \cdot \text{с}.$$

$$h = \frac{h}{2\pi} = 1,055 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,59 \cdot 10^{-16} \text{ эВ} \cdot \text{с}.$$

1 эВ — энергия, которую приобретает элементарный заряд, проходя ускоряющую разность потенциалов 1 В. 1 эВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж

Фотон и его свойства

Фотон — материальная, электрически нейтральная частица, квант электромагнитного поля (переносчик электромагнитного взаимодействия).

Основные свойства фотона

1. Является частицей электромагнитного поля.
2. Двигается со скоростью света.
3. Существует только в движении.
4. Остановить фотон нельзя: он либо движется со скоростью равной скорости света, либо не существует; следовательно, масса покоя фотона равна нулю.

$$v = c$$

Энергия фотона: $E = h\nu$ или $E = \hbar \omega$.

Масса фотона $m = \frac{h\nu}{c^2}$.

Импульс фотона $p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$. Импульс фотона направлен по световому пучку.

Наличие импульса подтверждается экспериментально: существованием светового давления.

Давление света

В 1873 г. Дж. Максвелл, исходя из представлений об электромагнитной природе света, пришел к выводу: свет должен оказывать давление на препятствие (благодаря действию силы Лоренца). Квантовая теория света объясняет световое давление как результат передачи фотонами своего импульса атомам или молекулам вещества.

Световое давление: $p = \frac{h\nu N}{Sc}$

Это давление оказалось $\sim 4 \cdot 10^{-6}$ Па. Предсказание Дж. Максвеллом существования светового давления было экспериментально подтверждено П. Н. Лебедевым, который в 1900 г. измерил давление света на твердые тела, используя чувствительные крутильные весы. Теория и эксперимент совпали.

Опыты П. Н. Лебедева — экспериментальное доказательство факта: фотоны обладают импульсом.

Корпускулярно-волновой дуализм

Свет обладает двумя свойствами:

1. При распространении он проявляет волновые свойства.
2. При взаимодействии с веществом проявляет корпускулярные свойства.

Его свойства не сводятся ни к волнам, ни к частицам.

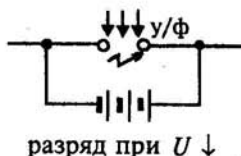
Чем больше частота, тем ярче выражены квантовые свойства света и менее — волновые.

Всякому излучению присущи одновременно волновые и квантовые свойства.

Фотозффект

Фотозффектом называется испускание электронов с поверхности металла под действием света.

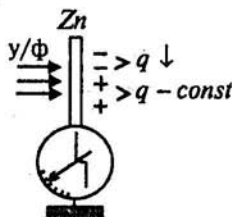
В 1888 г. Г. Герц обнаружил, что при облучении ультрафиолетовыми лучами электродов, находящихся под высоким напряжением, разряд возникает при большем расстоянии между электродами, чем без облучения.



Фотозффект можно наблюдать в следующих случаях:

1. Цинковую пластину, соединенную с электроскопом, заряжая отрицательно и облучают ультрафиолетовым светом. Она быстро разряжается. Если же ее зарядить положительно, то заряд пластины не изменится.

2. Ультрафиолетовые лучи, проходящие через сетчатый положительный электрод, попадают на отрицательно заряженную цинковую пластину и выбивают из нее электроны, которые устремляются к сетке, создавая фототок, регистрируемый чувствительным гальванометром.



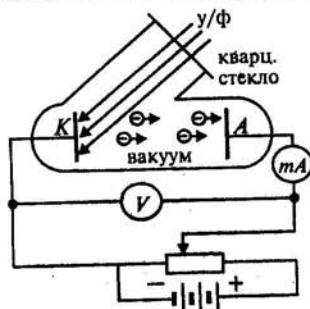
Законы фотозффекта

Количественные закономерности фотозффекта (1888–1889) были установлены А. Г. Столетовым.

Он использовал вакуумный стеклянный баллон с двумя электродами. Через кварцевое стекло на катод попадает свет (в том числе ультрафиолетовое излучение). С помощью потенциометра

можно регулировать напряжение между электродами. Ток в цепи измерялся миллиамперметром.

В результате облучения электроны, выбитые из электрода, могут достигнуть противоположного электрода и создать некоторый начальный ток.



При увеличении напряжения, поле разгоняет электроны, и ток увеличивается, достигая насыщения, при котором все выбитые электроны достигают анода.

Если приложить обратное напряжение, то электроны тормозятся и ток уменьшается. При так называемом запирающем напряжении фототок прекращается. Согласно закону сохранения энергии

$eU_s = \frac{mv_{\max}^2}{2}$, где m — масса электрона, а v_{\max} — максимальная скорость фотоэлектрона.

Важнейшим свойством фотоэффекта является его безынерционность, которая не может быть объяснена с точки зрения волновой теории.

Первый закон фотоэффекта

Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл.

Т. к. сила тока определяется величиной заряда, а световой поток — энергией светового пучка, то можно сказать:

число электронов, выбиваемых за 1 с из вещества, пропорционально интенсивности света, падающего на это вещество.

Второй закон фотоэффекта

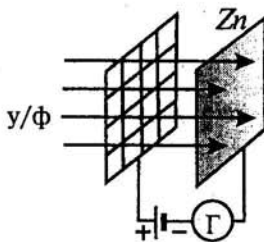
Кинетическая энергия фотоэлектронов не зависит от интенсивности падающего света, а зависит от его частоты.

Если частоту света увеличить, то при неизменном световом потоке запирающее напряжение увеличивается, а, следовательно, увеличивается и кинетическая энергия фотоэлектронов. Таким об-

разом, кинетическая энергия фотоэлектронов линейно возрастает с частотой света.

Третий закон фотоэффекта

Для каждого вещества существует красная граница фотоэффекта, т. е. существует наименьшая частота ν_{\min} , при которой еще возможен фотоэффект.



При $\nu < \nu_{\min}$ ни при какой интенсивности волны падающего фотокаатода света фотоэффект не произойдет. Т. к. $\lambda = \frac{c}{\nu}$, то минимальной частоте света соответствует максимальная длина волны.

Теория фотоэффекта

А. Эйнштейн, развив идею М. Планка (1905), показал, что законы фотоэффекта могут быть объяснены при помощи квантовой теории. Явление фотоэффекта экспериментально доказывает: свет имеет прерывистую структуру. Излученная порция $E = h\nu$ сохраняет свою индивидуальность и поглощается веществом только целиком.

1. Один фотон может выбить только один электрон (это верно для всех процессов с небольшой интенсивностью излучения).

2. На основании закона сохранения энергии:

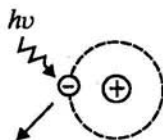
$$h\nu = A + \frac{mv^2}{2} \text{ — уравнение Эйнштейна.}$$

Энергия кванта тратится на работу выхода электрона из металла и сообщение электрону кинетической энергии.

В этом уравнении: ν — частота падающего света, m — масса электрона (фотоэлектрона), v — скорость электрона, h — постоянная Планка, A — работа выхода электронов из металла.

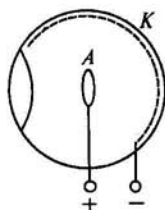
Работа выхода — это характеристика материала (табличная величина). Она показывает, какую работу должен совершить эле

трон, чтобы преодолеть поверхностную разность потенциалов и выйти за пределы металла. Работа выхода обычно измеряется в электронвольтах (эВ).



Фотоэлементы и их применение

Приборы, в основе принципа действия которых лежит явление фотоэффекта, называют фотоэлементами.



Применение в технике

1. Кино: воспроизведение звука.
2. Фототелеграф, фототелефон.
3. Фотометрия: для измерения силы света, яркости, освещенности.
4. Управление производственными процессами.

Внутренний фотоэффект:

Изменение концентрации носителей тока в веществе и как следствие изменение электропроводности данного вещества под действием света.

Фоторезистор — устройство, сопротивление которого зависит от освещенности.

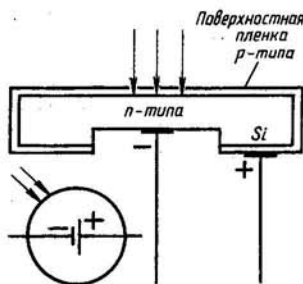
Используется при автоматическом управлении электрическими цепями с помощью световых сигналов и в цепях переменного тока

Вентильный фотоэффект. Возникновение ЭДС под действием света в системе, содержащей контакт двух различных полупроводников.

Используется в солнечных батареях, которые имеют КПД 12-16% и применяются в искусственных спутниках Земли, при получении энергии в пустыне.

Принцип действия солнечной батареи: при поглощении кванта энергии $h\nu$ полупроводником освобождается дополнительная пара носителей (электрон и дырка), которые движутся в разных направлениях: дырка — в сторону полупроводников р-типа, а электрон — в сторону полупроводников n-типа.

В результате образуется в полупроводнике n-типа избыток свободных электронов, а в полупроводнике р-типа — избыток дырок. Возникает разность потенциалов.



Радиоактивность

1896 г. Французский физик А. Беккерель, изучая явление люминесценции солей урана, установил, что урановая соль испускает лучи неизвестного типа, которые проходят через бумагу, дерево, тонкие металлические пластины, ионизируют воздух.

1897-1998 г. Мария Склодовская-Кюри и Пьер Кюри, исследуя урановые руды, обнаружили новые химические элементы: полоний, радий.

Явление самопроизвольного превращения неустойчивых изотопов в устойчивые, сопровождающееся испусканием частиц и излучением энергии, называется **естественной радиоактивностью**. Все химические элементы, начиная с порядкового номера 83, являются радиоактивными.

СТРОЕНИЕ АТОМА

Гипотеза о том, что все вещества состоят из большого числа атомов, зародилась свыше двух тысячелетий тому назад. Сторонники атомистической теории (Демокрит, Левкипп, Анаксагор, Анаксимандр, Эпикур, Лукреций Кар) рассматривали атом как мельчайшую неделимую частицу и считали, что все многообразие мира есть не что иное, как сочетание неизменных частиц — атомов.

Толчком к подробному изучению строения атома послужили:

- открытие рентгеновского излучения (1895 г., В. К. Рентген);
- открытие радиоактивности и новых радиоактивных элементов (1896 г., А. Беккерель, М. и П. Кюри);
- открытие электрона (1896 г., Дж. Дж. Томсон).

Дж. Томсон в 1898 г. предложил модель атома в виде положительно заряженного шара радиусом 10^{-10} м. в котором плавают электроны, нейтрализующие положительный заряд.

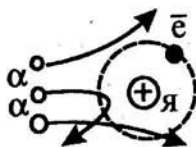
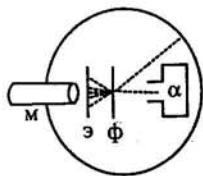
Опыт Резерфорда

Резерфорд предложил ядерную (планетарную) модель строения атома:

1. Атом имеет ядро, размеры которого малы по сравнению с размерами самого атома ($\sim 10^{-15}$ м).
2. В ядре сконцентрирована почти вся масса атома.
3. Отрицательный заряд всех электронов распределен по всему объему атома и компенсирует положительный заряд ядра.

Расчеты показали, что α -частицы, которые взаимодействуют с электронами в веществе, почти не отклоняются.

Только некоторые α -частицы проходят вблизи ядра и испытывают резкие отклонения. Диаметр ядра $10^{-15} - 10^{-14}$ м, атома 10^{-10} м.



Однако предложенная модель строения атома не позволила объяснить устойчивость атома. Ускоренное движение электрона согласно теории Максвелла сопровождается электромагнитным излучением.

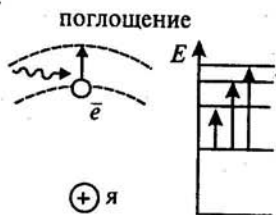
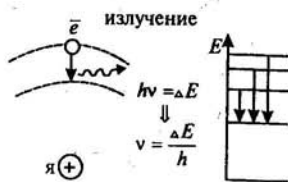
ем, поэтому энергия электрона уменьшается, и он движется по спирали, приближаясь к ядру. Электрон должен упасть на ядро (расчет показывает, что это должно произойти за 10^{-8} с), так как при движении по спирали уменьшается энергия электрона, в действительности атомы являются устойчивыми системами.



Постулаты Бора

1. Атомная система может находиться только в особых стационарных квантовых состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия E_n . В стационарном состоянии атом не излучает.

2. При переходе атома из стационарного состояния с большей энергией E_k в стационарное состояние с меньшей энергией E_n излучается квант энергии: $h\nu = E_k - E_n$.



3. К этим постулатам следует добавить правило квантования орбит: в стационарном состоянии атома электрон, двигаясь по круговой орбите, должен иметь дискретные, квантованные значения момента импульса

$$m_e v_n r_n = n \frac{h}{2\pi} = nh, \text{ где } r_n \text{ — радиус } n\text{-ой орбиты; } v_n \text{ — скорость}$$

электрона на этой орбите; m_e — масса электрона, n — целое число — номер орбиты или главное квантовое число.

Трудности теории Бора

Правило квантования Бора применимо не всегда. Представление об определенных орбитах, по которым движется электрон в атоме Бора, оказалось условным. Теория Бора неприменима для многоэлектронных атомов и не объясняет ряд спектральных закономерностей.

В 1917 г. А. Эйнштейн предсказал возможность перехода атома с высшего энергетического состояния в низшее под влиянием внешнего воздействия. Такое излучение называется **вынужденным излучением** и лежит в основе работы лазеров.

Лазеры

В 1940 г. В. А. Фабрикант указал на возможность использования вынужденного излучения для усиления электромагнитных волн. Отечественные ученые Н. Г. Басов и А. М. Прохоров и независимо американец Ч. Таунс изобрели квантовый оптический генератор (1954) и получили Нобелевскую премию.

Излучение атома

Фотон, имеющий энергию $h\nu$, возбуждает атом и переводит электрон в состояние с более высокой энергией. Электрон произвольно возвращается в первоначальное состояние, испуская фотон энергией $h\nu$.

Вынужденное излучение

Падающий фотон с энергией $h\nu$ взаимодействует с атомом, находящимся в возбужденном состоянии, и стимулирует его высвечивание. Возникают два фотона с энергией $h\nu$ каждый, которые движутся в одном направлении и одной фазе.

Населенность уровней

В условиях теплового равновесия большая часть атомов обладает минимумом энергии, населенность верхних уровней меньше населенности нижних. Под влиянием энергетических воздействий (повышение температуры, освещение) возбуждение атомов возрастает и населенность верхних уровней увеличивается, но получить распределение частиц по уровням, при котором населенность верхних уровней больше, чем нижних, таким способом невозможно, так как увеличение населенности верхних уровней способствует увеличению спонтанных переходов на нижний уровень. Атомы могут находиться в возбужденном состоянии 10^{-8} с.

Чтобы получить когерентное излучение в результате вынужденного испускания, необходимы два условия:

1. Населенность верхних уровней должна быть больше, чем нижних.

2. Один из верхних уровней с состоянием E_2 должен быть метастабильным, т. е. электроны в нем должны находиться не 10^{-8} с, а порядка 10^{-5} – 10^{-3} с. Уровень с состоянием E_2 метастабильный. Если вещество (например, кристалл рубина) длительное время освещать, то произойдет очень плотное заселение метастабильных уровней. При наличии уровня с состоянием E_2 возможны спонтанные переходы из состояния E_3 не только в основное состояние E_1 , но и на метастабильный уровень с состоянием E_2 .

Оба перехода сопровождаются выделением энергии. Большое различие во временах жизни в состояниях E_2 и E_3 приводит к тому, что под действием возбуждающих фотонов с энергией $h\nu \geq E_3$ E_1 атомы переходят в состояние E_3 , а затем самопроизвольно — в состояние E_2 . Без излучения света (энергия поглощается кристаллом) и происходит накопление атомов на метастабильном уровне с состоянием E_2 . Для создания в лазере инверсной населенности используют Al_2O_3 , смесь гелия (15%), неона (85%) и другие вещества. Переход из состояния E_2 в состояние E_3 под действием внешней электромагнитной волны сопровождается излучением, что и используется в лазерах.



Свойства лазерного излучения

1. Малый угол расхождения пучка света,
2. Исключительная монохроматичность,
3. Самые мощные источники света — 10^{14} Вт/с,
Солнце — $7 \cdot 10^3$ Вт/с,
4. КПД около 100%.

В настоящее время лазеры применяются:

1. Медицина (в физиотерапии, лазерные скальпели в микрохирургии, для лечения глаз);

2. Лазерная резка и сварка металлов;
3. Оптические системы наводки в военных и локационных целях;
4. При изучении оптических явлений;
5. Лазерный термоядерный синтез и т. д.

ЯДРА И ЧАСТИЦЫ

Строение атомного ядра

В 1911 г. в результате исследований, проведенных Резерфордом по рассеянию α -частиц при прохождении через вещество, был открыт протон — ядро атома водорода, который обладает положительным электрическим зарядом, равным модулю заряда электрона.

Заряд ядра атома

Английский физик Г. Мозли в 1913 г. предсказал, что заряд ядра атома $q = Ze$, где e — элементарный электрический заряд; Z — порядковый номер элемента в таблице Менделеева, определяет число электронов в атоме. Химические свойства зависят только от зарядового числа.

В 1932 г. английский физик Дж. Чэдвик выдвинул гипотезу: бериллиевые лучи состоят из нейтральных частиц, масса которых близка к массе протона. Их назвали нейтронами.

Нейтрон — нестабильная частица: свободный нейтрон за время 15 мин распадается на протон, электрон и нейтрино — частицу, лишенную массы покоя.

Масса нейтрона $m_n = 1838,6$ электронных масс, масса протона $m_p = 1836,1$ электронных масс, $m > m_p$ приблизительно на 2,5 массы электрона.

После открытия нейтрона Д. Д. Иваненко и В. Гейзенберг выдвинули гипотезу о протонно-нейтронном строении ядра.

В ядре протон и нейтрон неразличимы, поэтому их называют нуклонами (ядерными частицами). Число протонов Z , число нейтронов N , массовое число — это суммарное число нуклонов в ядре A .

$$A = Z + N, Z_p = Z_0$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 1/12 \cdot \frac{0,012 \text{ кг}}{6,022 \cdot 10^{23}} = 1,66058 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Обозначение химических элементов (ядер) в атомной и ядерной физике.

A_ZX , где X — символ химического элемента.

${}^1_1H = {}^1_1p$ — протон; 1_0n — нейтрон; ${}^0_{-1}e$ — электрон (β -частица).

Типы радиоактивного распада (правила смещения)

Альфа-распад

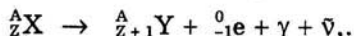
Преобразование атомных ядер, сопровождаемое испусканием α -частиц, называется альфа-распадом.

Если A_ZX — материнское ядро, то превращение этого ядра при α -распаде происходит по следующей схеме (правило смещения): ${}^A_ZX \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}Y + {}^4_2\alpha + h\nu$, где ${}^{A-4}_{Z-2}Y$ — символ дочернего ядра; ${}^4_2\alpha$ — ядро атома гелия 4_2He ; $h\nu$ — квант энергии, испускаемой ядром.

При альфа-распаде происходит смещение химического элемента на две клетки влево в таблице Менделеева.

Бета-распад

Теория создана в 1930г. Энрико Ферми.

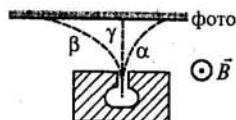


При β -распаде химический элемент перемещается на одну клетку вправо в периодической системе Менделеева и, кроме электронов, испускается антинейтрино.

Гамма-излучение

Возникает при ядерных превращениях и представляет собой электромагнитное излучение. Имеет высокую энергию.

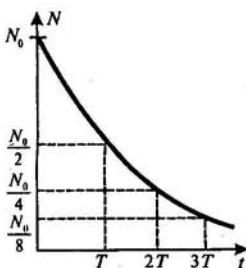
Э. Резерфорд установил, что воздух сильнее всего ионизируют α -лучи, в меньшей степени — β -лучи и совсем плохо — γ -лучи. Поэтому проникающая способность оказалась самая малая у α -лучей (лист бумаги; несколько сантиметров слоя воздуха), а β -лучи проходят сквозь алюминиевую пластину толщиной в несколько миллиметров. Очень велика проникающая способность у γ -лучей (например, алюминий — толщина пластины десятки сантиметров).



Закон радиоактивного распада

Закон радиоактивного распада установлен Ф. Содди.

Опытным путем Э. Резерфорд установил, что активность радиоактивного распада убывает с течением времени. Для каждого радиоактивного вещества существует интервал времени, на протяжении которого активность убывает в 2 раза, т. е. период полураспада T данного вещества. Например, для ядра ${}^{226}_{88}\text{Ra}$ период $T = 1600$ лет. Следовательно, если взять 1 г Ra, через 1600 лет его будет 1/2 г, а через 3200 лет — 1/4 г. Таким образом, исходное количество радия должно обратиться в нуль спустя бесконечный промежуток времени.



$N = N_0 \cdot 2^{-t/T}$. Это закон, которому подчиняется распад большого количества радиоактивных ядер.

У радиоактивных элементов период имеет различную величину, например, ${}^{233}_{90}\text{R}$ имеет период полураспада $T = 1,4 \cdot 10^{10}$ лет, а у криптона период полураспада $T = 1,4$ с.

У искусственно созданных элементов с $Z > 100$ период полураспада составляет сотые и тысячные доли секунды.

Ядерные силы (сильное или ядерное взаимодействие — т. к. во много раз больше кулоновских сил).

Силы притяжения, связывающие протоны и нейтроны в ядре, называются **ядерными силами**.

Свойства:

1. На расстояниях порядка 10^{-13} см сильные взаимодействия соответствуют притяжению, при уменьшении расстояния — отталкиванию.

2. Независимы от наличия электрического заряда (свойство зарядовой независимости). Одинаковая сила действует и на протон и на нейтрон.

3. Взаимодействуют с ограниченным числом нуклонов (свойство насыщения).

4. Короткодействующие: быстро убывают, начиная с $r \approx 2,2 \cdot 10^{-15}$ м.

Энергия связи ядра

Энергия, которая необходима для полного расщепления ядра на отдельные нуклоны, называется энергией связи. Энергия связи очень велика. При синтезе 4 г гелия выделяется такое же количество энергии, как при сжигании двух вагонов каменного угля.

$$E = \Delta mc^2,$$

$$\Delta mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2. \Delta m = \frac{E_{\text{св}}}{c^2} \text{ — дефект массы.}$$

В атомной физике массу удобно выражать в атомных единицах массы:

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

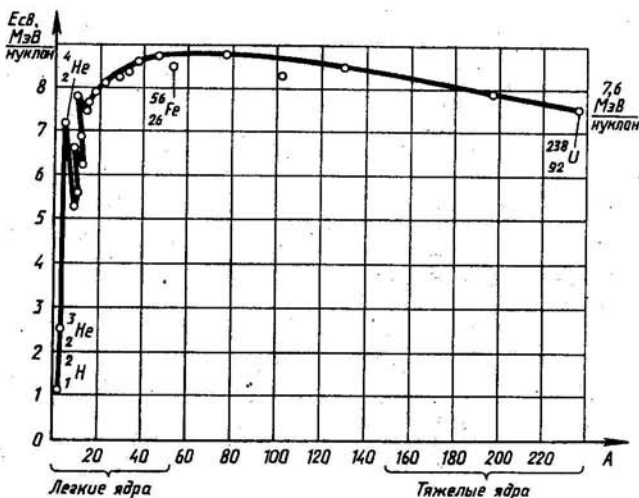
Массе в 1 а.е.м. соответствует энергия 931,5 МэВ/а.е.м.

Удельная энергия связи

Энергия связи, приходящаяся на один нуклон в ядре, т. е. энергия, которую необходимо затратить, чтобы удалить из ядра один нуклон называется удельной энергией связи;

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

где A — массовое число.



1. У ядер средней части периодической системы Менделеева с массовым числом $40 \geq A \geq 100$ удельная энергия максимальна. Наиболее устойчивы от 50 до 60.

2. У ядер, для которых $A > 100$, удельная энергия связи плавно убывает.

3. У ядер, для которых $A < 40$, удельная энергия скачкообразно убывает.

4. Максимальной удельной энергией обладают ядра, у которых число протонов и нейтронов четное (${}^4_2\text{He}$, ${}^8_4\text{Be}$, ${}^{12}_6\text{C}$), а минимальной — ядра, у которых число протонов и нейтронов нечетное (${}^3_3\text{Li}$, ${}^{10}_5\text{B}$, ${}^{14}_7\text{N}$).

Таким образом, энергетически выгодны два способа высвобождения внутренней энергии: деление тяжелых ядер (цепная ядерная реакция) и синтез легких ядер (термоядерная реакция).

Ядерные реакции — превращения атомных ядер, вызванные их взаимодействиями с различными частицами или друг с другом.

Символическая запись: $A + a \rightarrow B + b$. При написании ядерных реакций используются законы сохранения заряда и массового числа (числа нуклонов).

Энергетический выход ядерной реакции — разность между суммарной энергией связи частиц, участвующих в реакции и продуктов реакции.

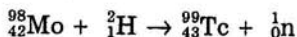
Реакции, происходящие с выделением энергии, называются экзотермическими, с поглощением — эндотермическими.

Изотопы

В 1911 г. Ф. Содди предположил, что ядра с одинаковым числом протонов, но различным числом нейтронов являются ядрами одного и того же химического элемента. Такие ядра он назвал изотопами. Изотопы имеют одинаковые химические свойства, что обусловлено одинаковым электрическим зарядом ядра, но разные физические свойства, обусловленные массой (числом нейтронов). Обнаруживают при помощи масс-спектрометра.

Получение радиоактивных изотопов

Радиоактивные изотопы получают в атомных реакторах и на ускорителях элементарных частиц. Первым элементом, созданным искусственным путем, был технеций. Он был получен в 1937 г. при бомбардировке молибдена дейтерием:



Радиоактивные изотопы, введенные в изучаемый объект, дают возможность исследовать свойства вещества и ход разнообразных процессов: метод меченых атомов. Химические свойства радиоактивных изотопов не отличаются от свойств нерадиоактивных изотопов тех же элементов, но они являются источниками радиоактивного излучения.

Метод меченых атомов широко используется в медицине (исследование обмена веществ, постановка диагноза, для терапевтических целей, лечение раковых заболеваний), промышленности (контроль износа деталей, диффузия в металлах, исследование внутренней структуры, обнаружение дефектов), сельском хозяйстве, биологии (облучение γ -лучами семян, борьба с вредными насекомыми, консервация пищевых продуктов), археологии (определение возраст Земли, древних предметов).

Биологическое действие радиоактивных излучений

На организм влияет только та часть радиоактивного излучения, которая поглощается его тканями. Поэтому биологическое действие излучений характеризуется поглощенной дозой излучения.

Поглощенной дозой излучения D называют величину, равную отношению энергии ионизирующего излучения, поглощенной облучаемым веществом, к массе этого вещества:

В СИ единица поглощения дозы излучения — грей (Гр).

1 Гр равен дозе поглощенного излучения, при которой облучаемому веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения, равная 1 Дж:

$$1 \text{ Дж} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Отношение поглощенной дозы ко времени облучения называется **мощностью дозы излучения**. Ее единица в СИ — $\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$. Естественный

фон на человека равен $2 \cdot 10^{-3}$ Гр/год. Предельно допустимая норма для лиц, работающих с излучением, равна 0,05 Гр/год или 10^{-3} Гр в неделю. Смертельная доза 3–10 Гр, полученная за короткое время.

Физическое воздействие любого ионизирующего излучения на вещество связано прежде всего с ионизацией атомов или молекул. Количественной мерой действия ионизирующего излучения служит экспозиционная доза. Она равна отношению электрического заряда

ионов одного знака, возникающих в сухом воздухе при его облучении фотонами, к массе воздуха. Единица в СИ: $\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$. внесистемная единица — рентген. Доза в один рентген ионизует $2 \cdot 10^9$ пар ионов в 1 см^3 .

При облучении мягких тканей человеческого организма рентгеновским или гамма-излучением экспозиционной дозе 1Р соответствует поглощенная доза 8,8 мГр.

Различие биологического действия разных видов излучения характеризуется коэффициентом относительной биологической эффективности (коэффициентом качества) k , который принимает значения от 1 до 20.

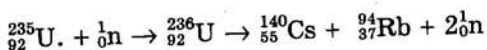
Поглощенная доза, умноженная на коэффициент качества, характеризует биологическое действие поглощенной дозы и называется эквивалентной дозой. Единица в СИ зиверт (Зв).

Среднее значение эквивалентной дозы облучения, обусловленное естественным радиационным фоном, составляет около 2мЗв за 1 год.

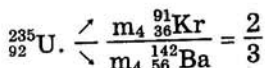
Цепная ядерная реакция

Цепная реакция деления ядер урана

В 1938 г. О. Ган и Ф. Штрассман открыли: ядра урана при бомбардировке его нейтронами образуют другие элементы.



Позже обнаружили, что при бомбардировке нейтронами U образуются 80 различных ядер. Наиболее вероятное деление оказалось:



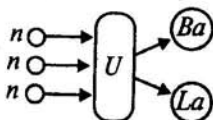
Этот процесс происходит с выделением энергии $200 \text{ МэВ} = 3,2 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$.

Энергия выделяется в виде:

1. E_k осколков $\approx 2,6 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$.
2. E_k нейтронов $\approx 0,1 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$.
3. γ -излучения $\approx 0,5 \cdot 10^{11} \text{ Дж}$.
4. β -излучения.

Механизм деления

Н. Бор, Я. И Френкель предложил капельную модель ядра атома. Она дает представление о ядре как о положительно заряженной капле жидкости. Ядро, поглотившее нейтрон, находится в возбужденном состоянии и подобно капле ртути при толчке начинает колебаться, изменяя свою форму. Когда энергия возбуждения станет больше энергии связи, то за счет кулоновских сил ядро разорвется на две части, которые разлетятся в противоположные стороны. Таким образом, кинетическая энергия новых ядер выделяется кулоновскими силами.



Цепная реакция деления ядер урана — это реакция, в которой частицы (нейтроны), вызывающие эту реакцию, образуются в процессе деления ядра. Для осуществления цепной реакции пригодны лишь ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$. Естественный уран состоит из ${}_{92}^{235}\text{U}$ (0,7%) и ${}_{92}^{238}\text{U}$ (97,3%). Ядра ${}_{92}^{235}\text{U}$ делятся как быстрыми, так и медленными нейтронами, ${}_{92}^{238}\text{U}$ — только быстрыми с энергией 1 МэВ. Нейтрон с такой энергией при делении 60%, но только один из пяти производит деление.

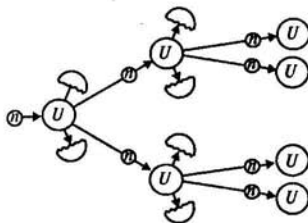
Цепную реакцию чистого изотопа осуществить медленными нейтронами невозможно. Для ее течения необходимо, чтобы коэффициент размножения к нейтронов был $k \geq 1$. В этом случае число нейтронов 1_0n увеличивается или остается постоянным и цепная реакция протекает. При $k < 1$ число 1_0n убывает и цепная реакция невозможна.

Коэффициент размножения увеличивается при захвате медленных 1_0n ядром ${}_{92}^{235}\text{U}$ или быстрых 1_0n ядрами ${}_{92}^{238}\text{U}$ и ${}_{92}^{235}\text{U}$ с последующим делением, уменьшается при захвате нейтрона ядром б-последующего деления, при вылете нейтрона из делящегося вещества, при захвате нейтрона продуктами деления, замедлителями конструктивными элементами установки.

Минимальное значение массы урана, при которой возможна цепная реакция, называется **критической массой**. В зависимости

от устройства установок и типа горючего критическая масса изменяется от 250 г до сотен килограммов.

Существуют два вида ядерных реакций: неуправляемая цепная реакция и управляемая цепная реакция.



Неуправляемая цепная реакция протекает, если $k > 1$.

В качестве ядерного горючего используется в основном $^{235}_{92}\text{U}$ или $^{239}_{94}\text{Pu}$, если их масса больше или равна критической массе.

Если каждый из нейтронов, вылетевший при делении, взаимодействует с соседними ядрами делящегося вещества и вызывает в них следующую реакцию деления, то происходит лавинообразное нарастание числа актов деления: один нейтрон — первое поколение, два нейтрона — второе поколение, четыре нейтрона — третье поколение, восемь нейтронов — четвертое поколение и т. д.

Быстрое выделение энергии в такой системе приводит к взрыву.

Ядерный реактор

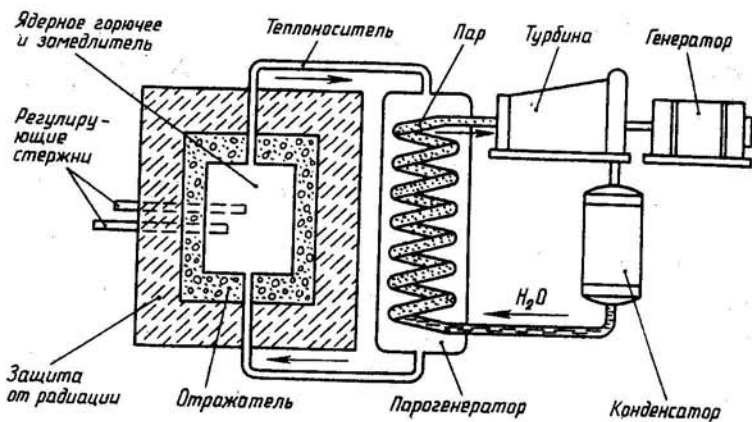
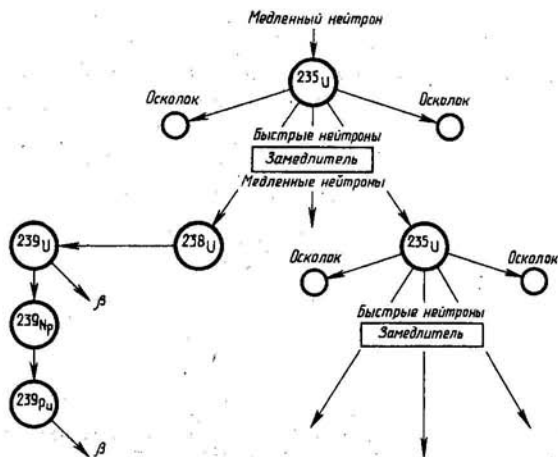
Устройство, в котором осуществляется управляемая цепная реакция деления, называется **ядерным реактором**.

По назначению они делятся на следующие типы:

1. Исследовательские.
2. Энергетические.
3. Воспроизводящие (реакторы на быстрых нейтронах).
4. Транспортные.
5. Реакторы для промышленного получения изотопов различных химических элементов.

Условием возникновения цепной реакции в реакторе является наличие размножения нейтронов при делении ядер и при $k = 1$.

Управление реактором осуществляется стержнями, которые поглощают нейтроны. Если эти стержни полностью ввести в активную зону, то $k < 1$, если их постепенно выводить из активной зоны, то $k > 1$.



Энергия деления ядер выделяется в виде тепла, которое используется для получения пара, вращающего турбину.

Термоядерная реакция

Реакция слияния легких ядер при очень высокой температуре сопровождающаяся выделением энергии, называется термоядерной реакцией.

Для слияния необходимо, чтобы расстояние между ядрами приблизительно было равно 10^{-12} см.

Управляемая термоядерная реакция — энергетически выгодная реакция. Может идти при больших температурах (порядка несколько сотен млн. градусов). При большой плотности вещества такая температура может быть достигнута путем создания в плазме мощных электронных разрядов. Проблема: трудно удержать плазму.

Самоподдерживающиеся термоядерные реакции происходят в звездах. В настоящее время в России и ряде других стран ведутся работы по осуществлению управляемой термоядерной реакции.

Элементарные частицы

Элементарные частицы — мельчайшие частицы вещества, которые при столкновениях друг с другом не распадаются на части, а испытывают взаимные превращения.

Чтобы при столкновениях рождались новые частицы, кинетическая энергия сталкивающихся частиц должна быть сравнимой с энергией покоя рождающихся частиц

Такие частицы находят в космических лучах или разгоняют в ускорителях.

Общее количество открытых элементарных частиц исчисляется сотнями

Для каждой частицы существует античастица, то есть частица с такой же массой, но противоположной величины электрического заряда (электрон-позитрон, протон-антипротон, нейтрон-антинейтрон). При столкновении частиц со своей античастицей происходит их аннигиляция, то есть превращение в излучение. При аннигиляции протона и нейтрона происходит рождение двух фотонов.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимова Т. И., Фирсов А. В. «Физика. Формулы. Формулировки». издательство Вербум-М.
2. Физика — полный школьный курс. Издательство «АСТ-Пресс».
3. Физика. Справочник абитуриента. Филологическое общество «Слово».

СОДЕРЖАНИЕ

Механика	
Кинематика	
Динамика	
Работа. Мощность	
Статика	
Гидростатика и аэростатика	
Молекулярная физика	
Основы термодинамики	
Основы электродинамики	
Электростатика	
Законы постоянного тока	
Электрический ток в разных средах	
Магнитные поля	
Колебания и волны	
Механические колебания	
Звуковые волны	
Электромагнитные колебания	
Переменный электрический ток	
Электромагнитное поле	
Радио. Принципы радиосвязи	
Оптика	
Геометрическая оптика	
Линзы	
Глаз	
Волновая оптика	
Шкала электромагнитных волн	
Спектры	
Теория относительности	
Специальная теория относительности	
Атомная физика	
Квантовая физика. Гипотеза. Планка	
Фотоэффект	
Радиоактивность	
Строение атома. Опыты Резерфорда	
Лазеры	
Ядра и частицы	
Строение атомного ядра	
Биологическое действие радиоактивных излучений	
Ядерные реакции	
Элементарные частицы	