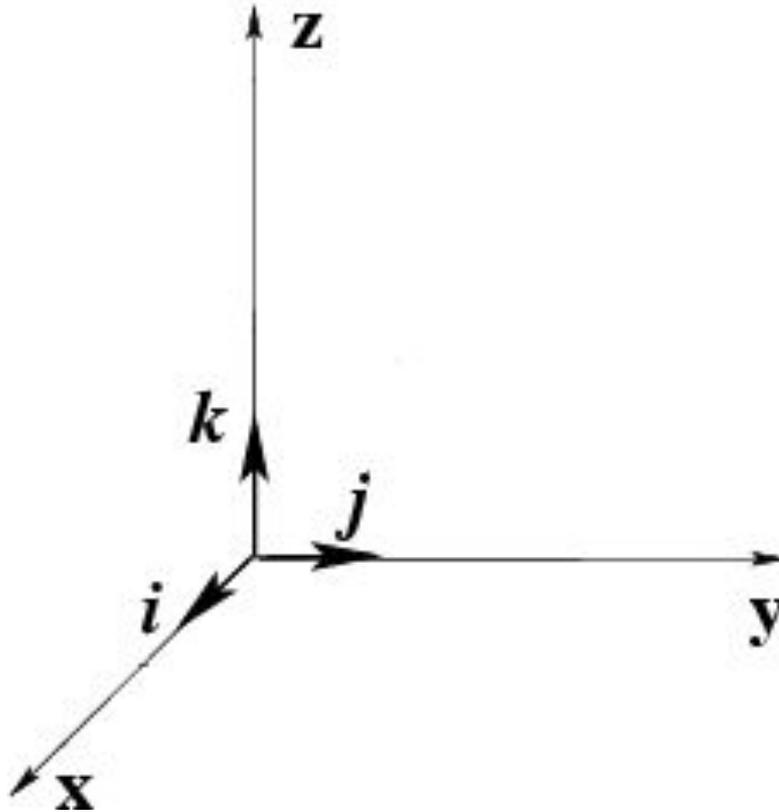


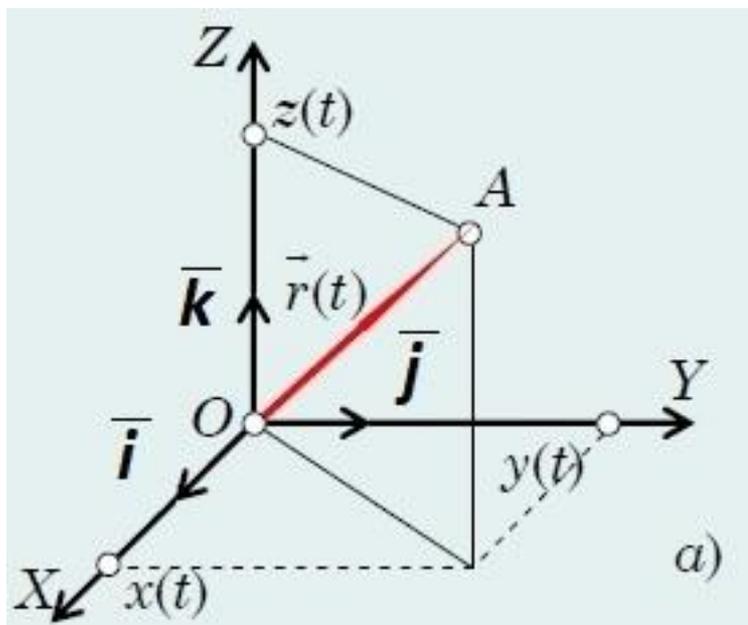
Физика

(механика, молекулярная, электричество и магнетизм, квантовая и ядерная физика)

Механика

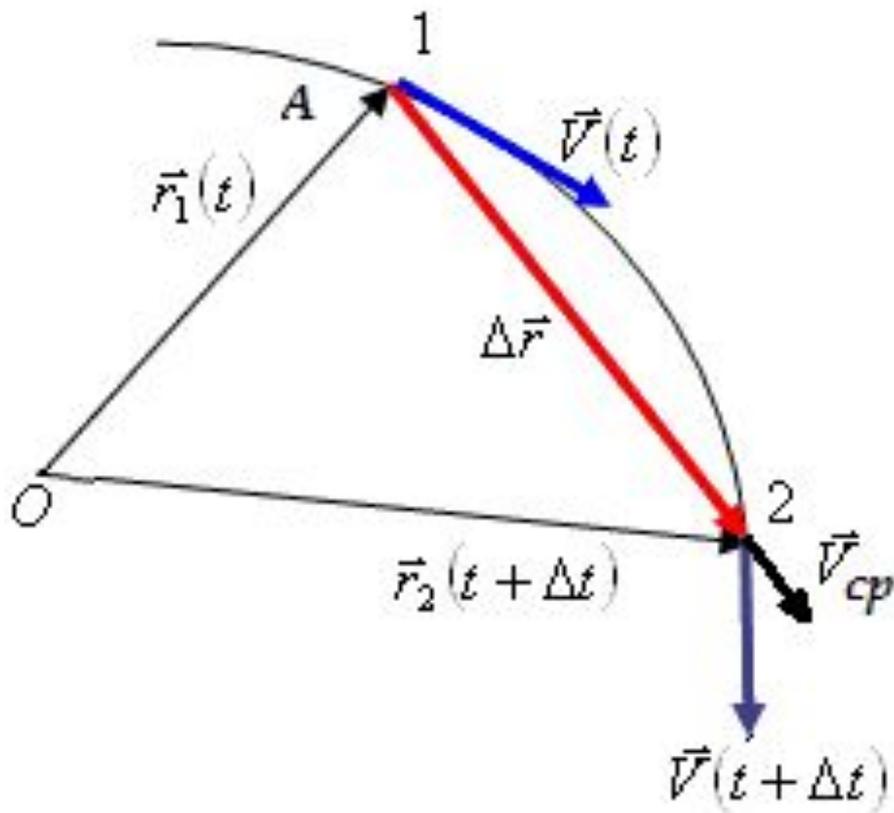
Декартова система координат — ортонормированный базис которой образован тремя единичными по модулю и взаимно ортогональными (перпендикулярными) векторами \hat{i} , \hat{j} , \hat{k} проведенными из начала координат.





$$\bar{r}(t) = x(t)\bar{i} + y(t)\bar{j} + z(t)\bar{k}$$

Радиус-вектор - вектор, проведенный из начала системы координат в рассматриваемую точку и характеризующий положение точки в пространстве в момент времени t



$\bar{r}_1(t)$ - радиус-вектор, характеризующий положение точки в пространстве в момент времени t

$\bar{r}_2(t + \Delta t)$ - радиус-вектор, характеризующий положение точки в пространстве в момент времени $(t + \Delta t)$

Рассмотрим скорость точки: пусть за время Δt точка A переместилась из положения 1 в положение 2.

Вектор перемещения $\Delta \mathbf{r}_{12}$ материальной точки A за время $\Delta t = t_2 - t_1$:

$$\Delta \mathbf{r}_{12} = \mathbf{r}_2 - \mathbf{r}_1$$

- **Скорость** — это **векторная** величина, которая определяет быстроту и направление движения в данный момент времени [м/с].

- **Средний вектор скорости**
$$\bar{V}_{cp} = \frac{\Delta \bar{r}_{12}}{\Delta t}$$

- Вектор скорости в данный момент времени \mathbf{v} , **мгновенная скорость**, характеризует быстроту изменения положения материальной точки в пространстве и с течением времени:

$$\bar{V} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{d\bar{r}}{dt}$$

$d\bar{r}$ – элементарное приращение – перемещение за бесконечно малое время dt .

- **Модуль вектора скорости:**

$$|\bar{V}| = V = \frac{|d\bar{r}|}{dt} = \frac{dS}{dt}$$

dS - элементарный путь, пройденный материальной точкой, S – весь путь или длина траектории, линии описываемой материальной точкой при ее движении в пространстве

- **Ускорение a** ускорение характеризует быстроту изменения вектора скорости материальной точки в пространстве с течением времени равен производной вектора скорости по времени [м/с²]:

$$\bar{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{d\bar{v}}{dt} = \frac{d^2 S}{dt^2}$$

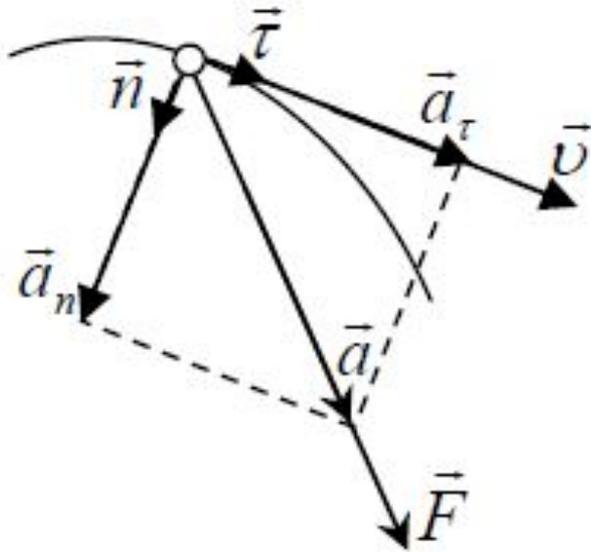
Пример: радиус-вектор точки зависит по закону:

$$\mathbf{r} = A t^2 + 3D$$

где A и D постоянные вектора, тогда

$$\mathbf{v} = \frac{d\mathbf{r}}{dt} = 2A t \qquad \mathbf{a} = \frac{d\mathbf{v}}{dt} = 2A$$

Тангенциальное и нормальное ускорения



- Разложим вектор ускорения по двум направлениям: по касательной к траектории движения τ - a_τ и по направлению, перпендикулярному к касательной n - a_n .

$$\vec{a} = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau = \vec{n}a_n + \vec{\tau}a_\tau$$

- **Тангенциальное** ускорение a_τ характеризует быстроту изменения модуля скорости:

$$\bar{a}_\tau = \frac{dv}{dt} \bar{\tau}$$

- **Нормальное (центростремительное)** характеризует быстроту изменения направления вектора скорости точки:

$$\bar{a}_n = \frac{v^2}{R} \bar{n}$$

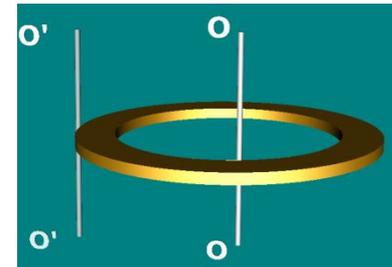
- **Модуль полного ускорения:**

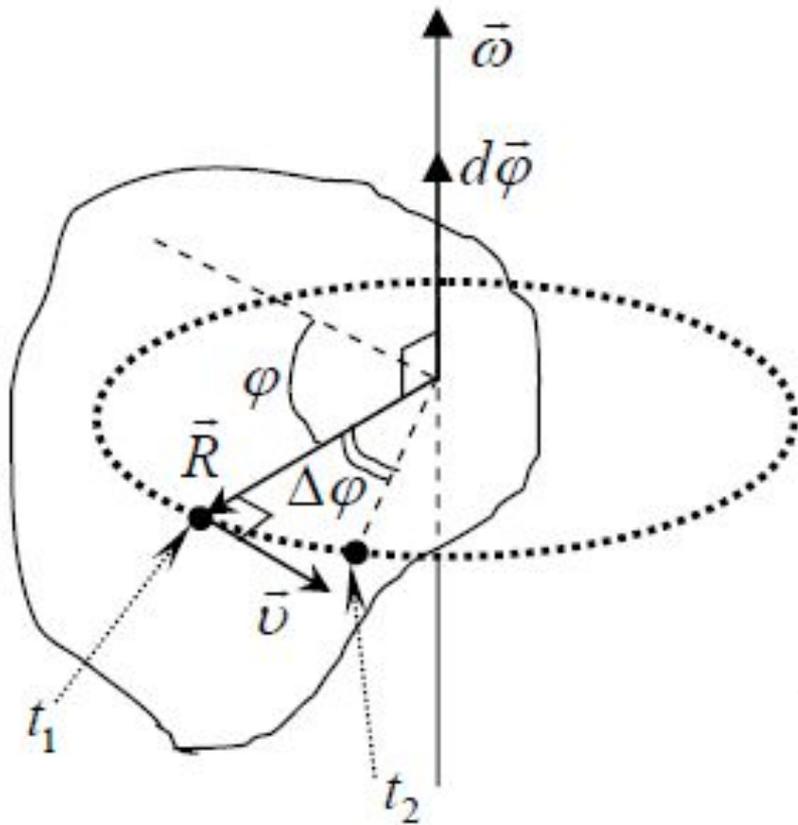
$$|\bar{a}| = \sqrt{\bar{a}_n^2 + \bar{a}_\tau^2}$$

Вращательное движение.

- В случае вращательного движения тела точки находятся на разном расстоянии R от оси вращения и, следовательно, имеют разную скорость.
- При этом траектории материальных точек представляют собой окружности радиусов R_i , расположенные в параллельных плоскостях, i - порядковый номер выбранной точки тела.
- Модули их скоростей остаются постоянными $V_i = \text{const}$. Центры всех окружностей лежат при этом на одной прямой, перпендикулярной к плоскостям окружностей и называемой **осью вращения**.

Ось вращения может располагаться внутри тела и за его пределами.





- Положение такого тела при вращении вокруг неподвижной оси можно охарактеризовать скалярной величиной – угловой координатой φ

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

- Пусть $d\varphi$ элементарное приращение угла поворота за время dt , тогда величина:

$$\bar{\omega} = \frac{d\bar{\varphi}}{dt}$$

Угловая скорость, которая характеризует быстроту вращения тела вокруг неподвижной оси.

- Модуль вектора угловой скорости равен

$$|\omega| = \frac{d\varphi}{dt}$$

- Вращение с постоянной угловой скоростью называется равномерным, при этом

$$\omega = \frac{\varphi}{t}$$

- Равномерное движение можно охарактеризовать периодом обращения T , под которым понимают время, за которое тело совершает один оборот:

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

- Вектор угловой скорости ω может изменяться за счёт изменения скорости вращения тела вокруг оси (изменяется по величине) за счёт поворота оси вращения в пространстве (изменяется по направлению). Изменение вектора угловой скорости со временем характеризуется **угловым ускорением**:

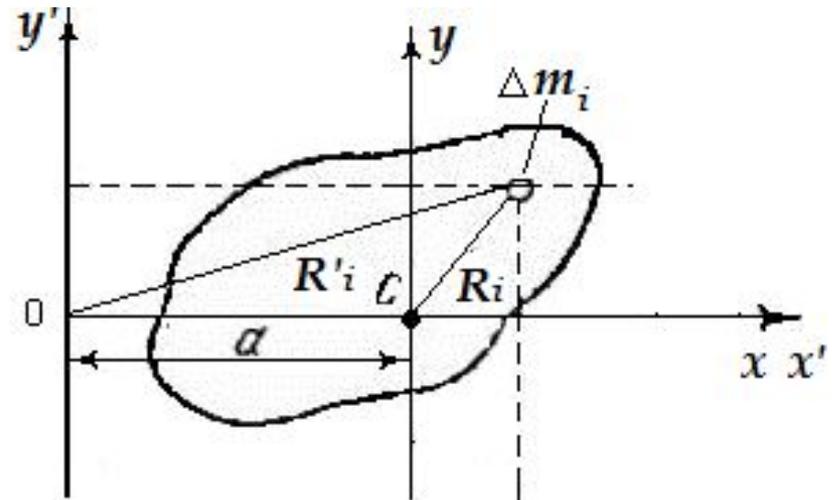
$$\beta = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = \frac{d\omega}{dt}$$

- **Угловое ускорение** - векторная физическая величина, характеризующая быстроту изменения угловой скорости тела. Вектор углового ускорения является аксиальным.
- **Вектор углового ускорения направлен вдоль оси вращения**: в ту же сторону, что и ω при ускоренном вращении и противоположно ω — при замедленном.

Масса \longrightarrow Момент инерции

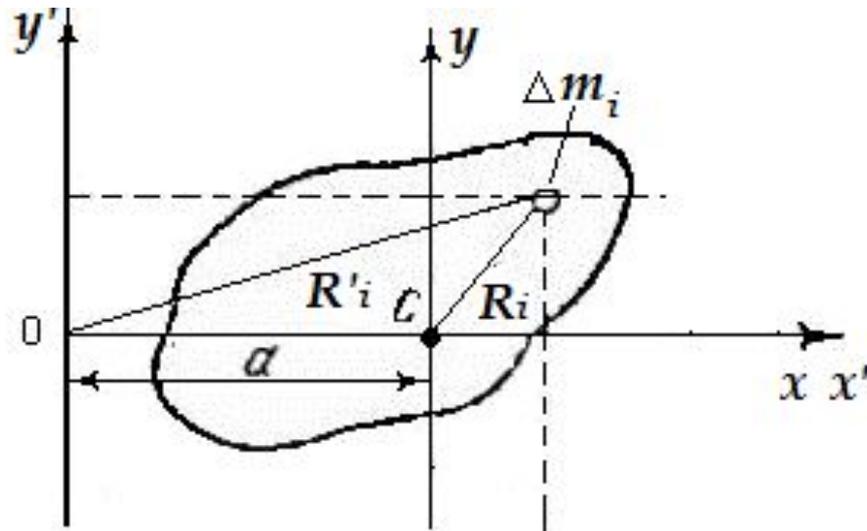
Момент инерции тела относительно оси проходящей через центр масс – сумму моментов инерций материальных точек, составляющих данное тело относительно этой оси

$$I = \sum_{i=1}^n I_i = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2$$



Если тело сплошное, оно представляет собой совокупность множества точек с бесконечно малыми массами dm

$$I = \int_0^m R^2 dm$$



Теорема Штерна: момент инерции относительно произвольной оси равен сумме момента инерции относительно оси, параллельной данной и проходящей через центр масс тела, и произведения массы тела на квадрат расстояния между осями.

$$I = I_c + ma^2$$

I – момент инерции относительно оси OY', I_c- момент инерции относительно OY

Поступательное движение	Вращательное движение
Перемещение – x [м]	Угол поворота φ [рад]
Линейная скорость – v [м/с]	Угловая скорость – ω [рад/с]
Ускорение – a [м/с ²]	Угловое ускорение – β [рад/с ²]
Масса – m кг	Момент инерции – I кг*м ²

Связь угловых и линейных величин

$$S = R\varphi$$

- путь, пройденный точкой при движении по окружности;

$$v = \frac{dS}{dt} = \frac{d(R\varphi)}{dt} = R \frac{d\varphi}{dt} = R\omega$$

- связь между линейной скоростью точки тела и угловой скоростью;

$$a_{\tau} = \frac{dv}{dt} = \frac{d(\omega R)}{dt} = R \frac{d\omega}{dt} = R\beta$$

- связь между тангенциальным ускорением и угловым ускорением;

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

- связь между нормальным ускорением и угловым ускорением;

Поступательное движение	Вращательное движение
Равномерное	
$s = vt$ $v = \text{const}$ $a = 0$	$\varphi = \omega t$ $\omega = \text{const}$ $\varepsilon = 0$
Равнопеременное	
$s = v_0 t + \frac{at^2}{2}$ $v = v_0 + at$ $a = \text{const}$	$\varphi = \omega_0 t + \frac{\varepsilon t^2}{2}$ $\omega = \omega_0 + \varepsilon t$ $\varepsilon = \text{const}$
Неравномерное	
$s = f(t)$ $v = \frac{ds}{dt}$ $a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$	$\varphi = f(t)$ $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$

Инерциальные системы отсчёта

- Пусть существует такая система отсчёта, в которой **ускорение** материальной точки **обусловлено только взаимодействием** её с другими телами. Т.е. свободная материальная точка, **не подверженная действию никаких других тел**, движется относительно такой системы отсчёта **прямолинейно и равномерно**, или, по инерции. Такие системы отсчёта – **инерциальные системы отсчёта (ИСО)**.
- **Первый закон Ньютона – закон инерции:** скорость любого тела остаётся постоянной, пока **не** будет оказано на это тело со стороны других тел **воздействие**, вызывающее изменение. В инерциальных системах отсчёта выполняется первый закон Ньютона.

- **Второй закон Ньютона:** произведение массы материальной точки на её ускорение равно действующей на неё силе:

$F=ma$ – уравнение движения материальной точки.

- Действие тел друг на друга носит характер взаимодействия: если тело А сообщает ускорение телу В, то в опыте непременно обнаруживается, что тело В сообщает ускорение телу А.
- **Третий закон Ньютона:** силы с которыми две материальные точки действуют друг на друга, всегда равны по модулю и направлены в противоположные стороны вдоль прямой, соединяющей эти точки, т.е.

$$\mathbf{F}_{12} = - \mathbf{F}_{21}$$

- Величины сохраняющие во времени: **энергия, импульс и момент импульса.**

- **$P=mv$ - импульс материальной точки**

- **Второй закон Ньютона:** производная импульса материальной точки по времени равна результирующей всех сил, действующих на точку:

$$\frac{dp}{dt} = \mathbf{f};$$

- **Замкнутая (изолированная) система-** система частиц, на которую не действуют никакие посторонние тела (или их воздействие пренебрежимо мало), т.е. если система замкнута, и внешние силы отсутствуют.

- **Закон сохранения импульса – импульс замкнутой системы частиц остаётся постоянным, т.е. не меняется со временем (при этом импульс отдельных частиц может меняться!):**

$$\mathbf{p} = \sum \mathbf{p}_i(t) = \text{const}$$

Потенциальная энергия:

- в поле силы тяжести:

$$U(z) = mgz$$

- в поле упругости:

$$U(r) = xr^2/2$$

- в гравитационном поле:

$$U(r) \propto \alpha/r$$

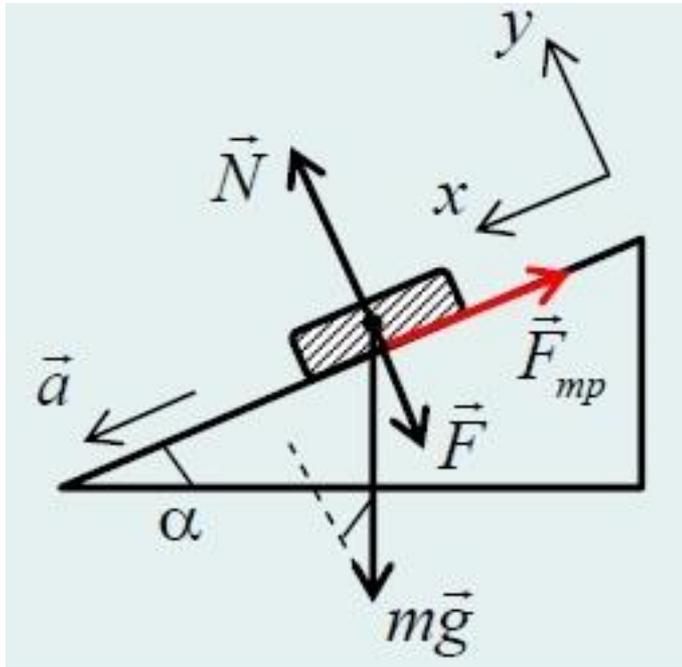
- **Кинетическая энергия T:**

$$T = mv^2/2$$

Закон сохранения механической энергии частицы:

Если сторонние силы отсутствуют или таковы, что не совершают работы в течение интересующего нас времени, то полная механическая энергия частицы в стационарном поле консервативных сил остаётся постоянной за это время, т.е. :

$$E = T + U = \text{const.}$$



Рассмотрим брусок движущийся по наклонной плоскости. По второму закону Ньютона

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

Используя второй закон Ньютона и введенную систему координат OXY , запишем проекции

$$ma_x = -F_{mp} + mg \sin \alpha$$

$$ma_y = 0 = N - mg \cos \alpha$$

Молекулярная физика

Основы МКТ:

- Все тела состоят из мельчайших частиц (молекул или атомов);
- Частицы эти непрерывно и хаотически движутся;
- Частицы взаимодействуют друг с другом;

Силы взаимодействия молекул:

Если выделить внутри каждой молекулы некоторую точку и условно принять её за центр молекулы, то силы и притяжения $F_{пр}$, и отталкивания $F_{от}$ оказываются очень сильно зависящими от расстояния между центрами частиц r , причем зависимость эта может быть грубо представлена в виде некоторой (отрицательной) степени m

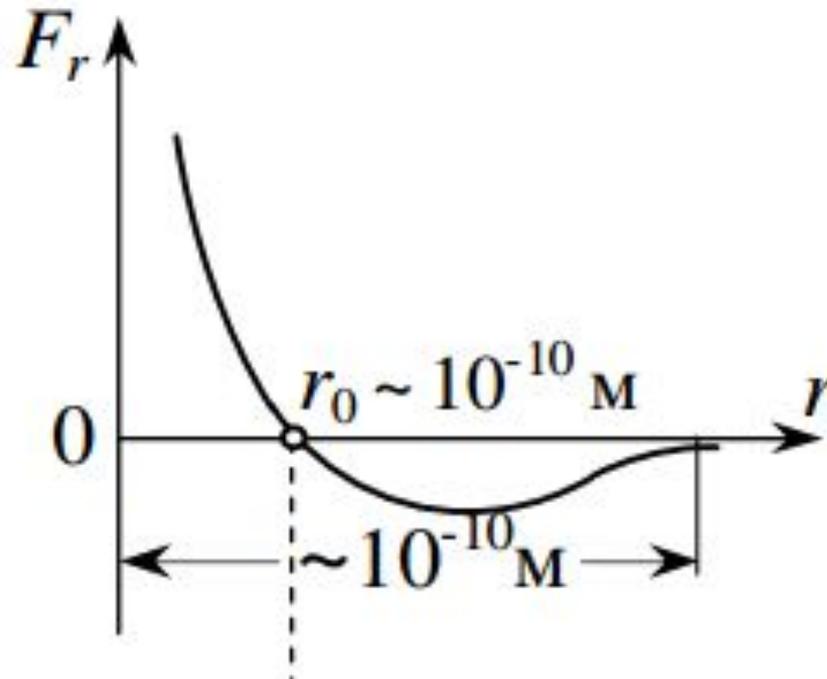
$$F \propto r^m$$

Для сил притяжения в большинстве случаев:

$$F_{пр} \propto \frac{1}{r^7}$$

Для сил отталкивания в большинстве случаев:

$$F_{от} \propto \frac{1}{r^9} \div \frac{1}{r^{15}}$$



- В т.О располагается центр фиксированной молекулы, r_0 радиус фиксированной молекулы;
- $F_{от}$ преобладают на малых r , с увеличением r большое воздействие оказывают $F_{пр}$

- **-Уравнение Клапейрона:** связывает параметры киломоля идеального газа и является уравнением состояния идеального газа, величина R -универсальная газовая постоянная:

Уравнение Клапейрона для любой массы газа m :

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

$\mu = \frac{m}{\nu}$ - молярная масса газа,

$$\mu = \frac{m}{\nu} = \frac{N}{N_A} = \frac{V}{V_A}$$

V_A - молярный объем, 22,4 л/моль, N_A - постоянная Авагадро
 $6,022\ 141\ 79(30) \cdot 10^{23}$ моль⁻¹

R - универсальная газовая постоянная

$$R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{дж}}{\text{град} \cdot \text{кмоль}} = 1,99 \frac{\text{кал}}{\text{град} \cdot \text{моль}}$$

Газовые законы. Изопроеесс-
 процесс, при котором один из
 макроскопических параметров
 состояния газа данной массы
 остается постоянным.

- **T=const – изотерма**

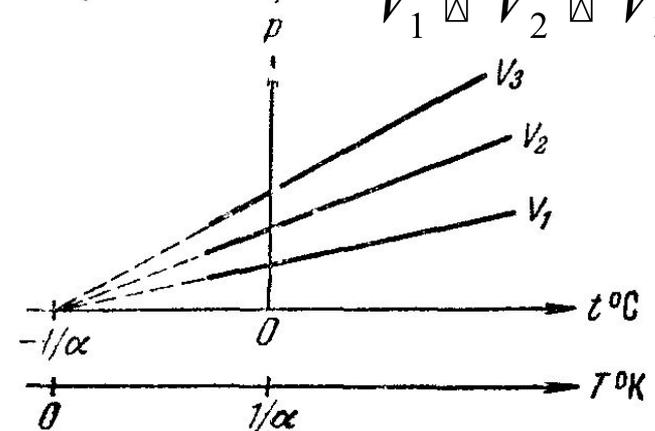
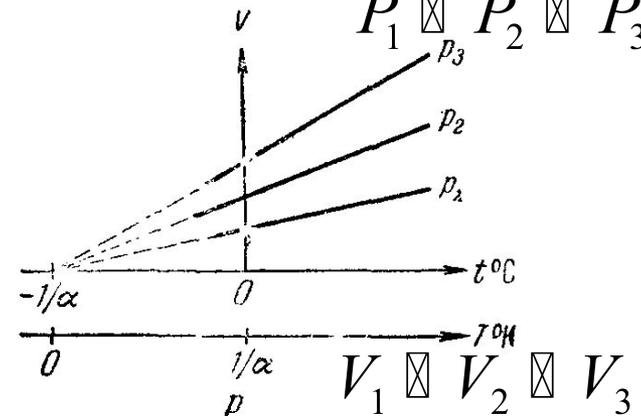
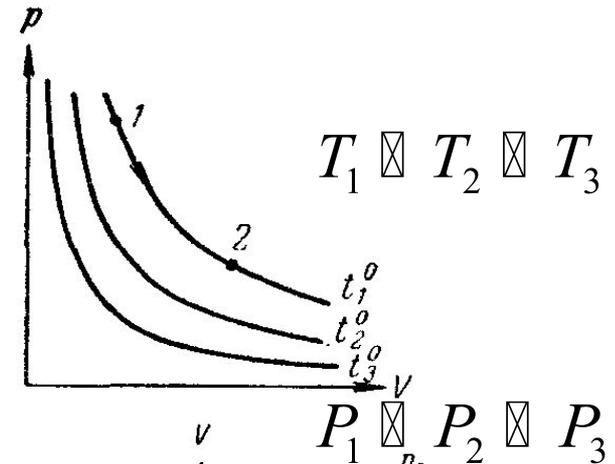
$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

- **P=const – изобара**

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

- **V=const - изохора**

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$



- Теплопередача есть совокупность микроскопических процессов, приводящих к передаче энергии от тела к телу.
- Первый закон термодинамики: количества тепла, сообщенное системе, идет на приращение внутренней энергии системы и на совершение системой работы над внешними телами:

$$Q = U_2 - U_1 + A.$$

- где U_1 и U_2 – начальное и конечное значения внутренней энергии системы.
- Внутренняя энергия тела U - это энергия тела за вычетом кинетической энергии тела как целого и потенциальной энергии тела во внешнем поле сил.

- Внутренняя энергия тела U :
 - кинетическая энергия поступательного движения молекул;
 - потенциальная энергия взаимодействия молекул;
 - энергия возбуждения колебаний и вращений молекул;
- Внутренняя энергия идеального газа U зависит только от температуры, которая и определяет среднюю кинетическую энергию молекул

- Изохорный процесс

$$V = \text{const}$$

$$A = P\Delta V = P(V_2 - V_1) = 0$$

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

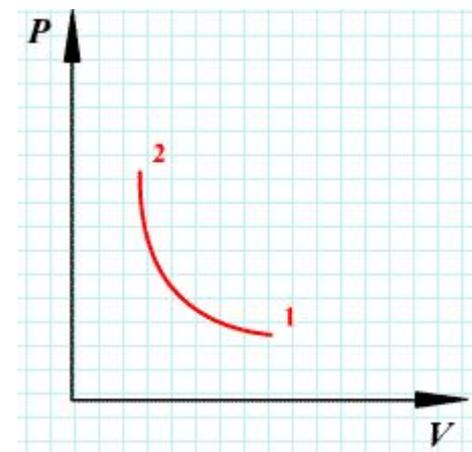
- Изотермическое расширение

$$T = \text{const} \quad V_2 \gg V_1$$

$$\Delta U = \frac{i}{2} \nu R \Delta T = 0$$

$$A = P \int_{V_1}^{V_2} PdV = \int_{V_1}^{V_2} \frac{\nu RT}{V} dV = \nu RT \ln V \Big|_{V_1}^{V_2} = \nu RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$Q = \nu RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$



- Адиабатический процесс – это процесс расширения или сжатия газа протекающий без теплообмена с окружающей средой.

$$Q = \Delta U + A = 0$$

$$A = -\Delta U$$

Внешняя работа газа происходит вследствие изменения его внутренней энергии.

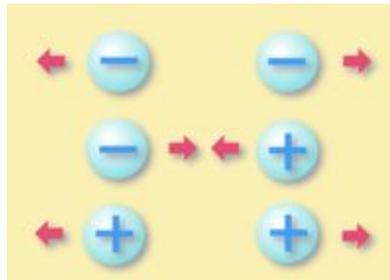
Адиабатическое расширение газа $dV > 0$,
 $A > 0$, $U_2 < U_1$, $T_2 < T_1$ – охлаждение газа

Адиабатическое сжатие газа $dV < 0$, $A < 0$,
 $U_2 > U_1$, $T_2 > T_1$ – нагревание газа

- Второй закон термодинамики:
 - Невозможен процесс, единственным результатом которого является превращение всей теплоты, полученной от нагревателя, в эквивалентную ей работу.
 - Формулировка Клаузиуса: теплота сама собой не может переходить от менее нагретого тела к более нагретому.

Электростатика

- Вильям Гильберт провел первый опыт по электризации (греч. elektron—янтарь), наблюдая, что натертый янтарь притягивает предметы, определил скалярность электрического заряда
- Электрический заряд - это физическая скалярная величина, характеризующая способность тел участвовать в электромагнитных взаимодействиях.

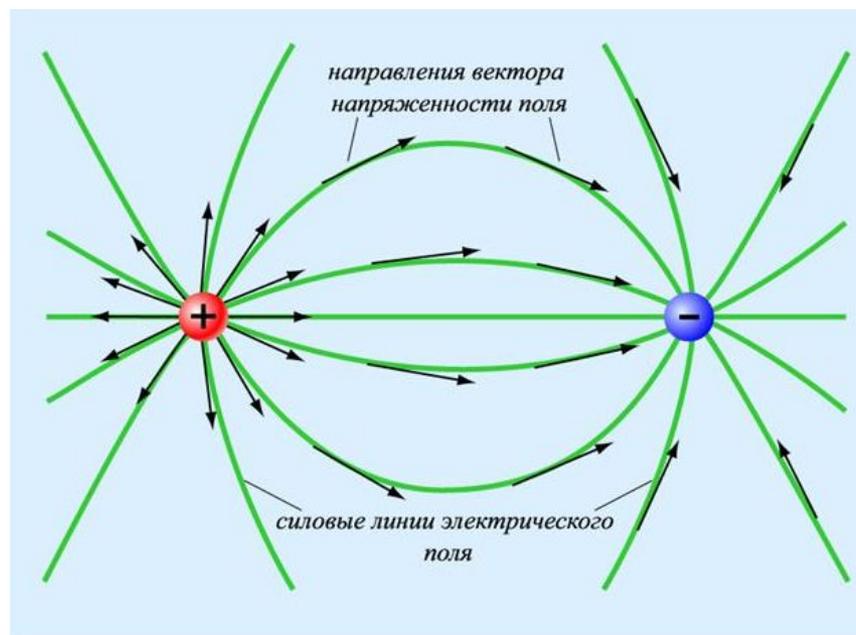


- Величина любого заряда $q = ne$, где величина элементарного заряда e :
$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$
- Закон сохранения заряда: В изолированной системе алгебраическая сумма электрических зарядов остается постоянной.

- В зависимости от концентрации свободных зарядов тела делятся на проводники, диэлектрики и полупроводники.
- Проводники— это тела, в которых электрический заряд может перемещаться по всему его объему (носители - электроны, ионы).
- Диэлектрики — тела, в которых практически отсутствуют свободные заряды (идеальных изоляторов в природе не существует)
- Полупроводники- занимают промежуточное положение между проводниками и диэлектриками.

- Закон Кулона: сила взаимодействия двух точечных зарядов q_1 и q_2 пропорциональна величине каждого из зарядов и обратно пропорциональна квадрату расстояния r между ними:
- где $k=4\pi\epsilon_0$ - коэффициент пропорциональности

$$f = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



Напряженность данной точки электрического поля E - это сила действующая на единичный положительный заряд, помещенный в эту точку.

- Напряженность поля- векторная величина равная:

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{f}}{q_{\text{пр}}}$$

- Из закона Кулона: напряженность поля неподвижного точечного заряда q на расстоянии r от него:

$$\mathbf{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \frac{\mathbf{r}}{r}$$

- СИ $[E] = \text{В/м}$
- Принцип суперпозиции:
- Если поле образовано не одним зарядом, а несколькими, то силы, действующие на пробный заряд, складываются по правилу сложения векторов, поэтому и напряженность системы зарядов в данной точке, поля равна векторной сумме напряженностей полей от каждого заряда в отдельности.

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

- Потенциал поля в данной точке есть скалярная величина, численно равная потенциальной энергии, которой обладает в данной точке поля единичный положительный заряд:

$$\varphi = \frac{W_p}{q_{пр}}$$

- Потенциал точечного заряда:

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

- Потенциал поля, создаваемого системой зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов, создаваемых каждым из зарядов в отдельности:

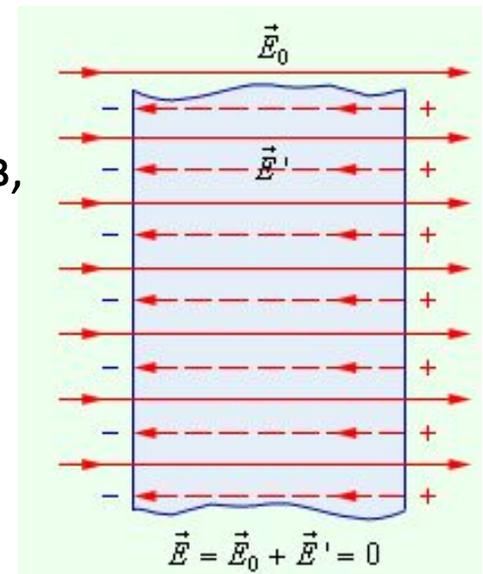
- Си $[\varphi] = \text{вольт}$

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum \frac{q_i}{r_i}$$

Напряженность электрического поля в проводниках

Напряженность электрического поля внутри проводника должна быть равна нулю, так как заряды скомпенсированы
т.е. $\vec{E} = 0$

В проводнике, внесенном в электрическое поле, происходит перераспределение свободных зарядов, в результате чего на поверхности проводника возникают нескомпенсированные положительные и отрицательные заряды. Этот процесс называют электростатической индукцией, а появившиеся на поверхности проводника заряды – индукционными зарядами.



Потенциал внутри проводника остается постоянным, а поверхность проводника является эквипотенциальной поверхностью, т.е. во всех точках которой потенциал электрического поля имеет одинаковые значения.

Потенциал поверхности уединенного проводника φ пропорционален находящемуся на нем заряду q

$$q \propto \varphi$$

$$q = C\varphi$$

- *Емкостью* C уединенного проводника называется мера его способности удерживать электрический заряд.

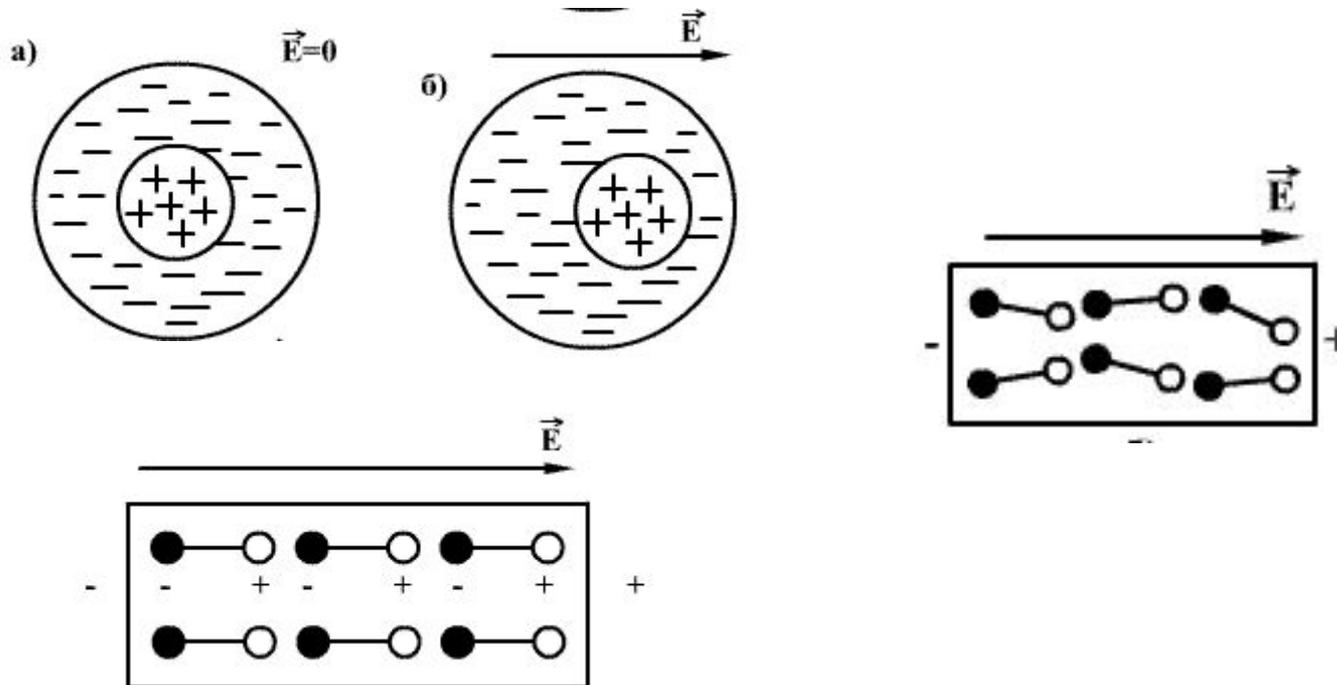
$$C = \frac{q}{\varphi}$$

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\xi\xi_0 R}$$

$$C = 4\pi\xi\xi_0 R$$

Поляризация диэлектриков:

- Электронный тип поляризации



Дипольные молекулы расположены цепочками, вдоль направления электрического поля E

- Ориентационный (дипольный) тип поляризации

Напряженность электрического поля в диэлектриках

Расположим диэлектрик между пластинами конденсатора и помести во внешнее электрическое поле E_0 .

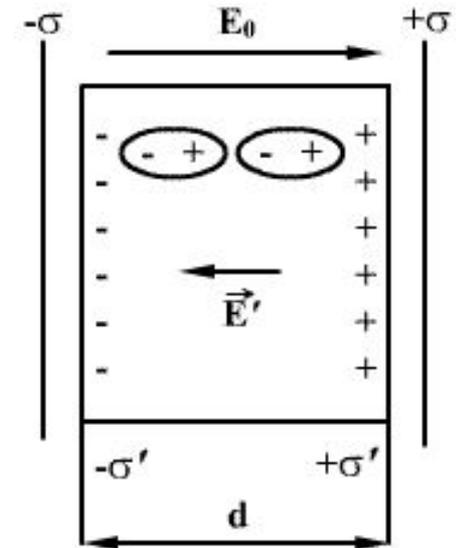
Результирующее электрическое поле E внутри диэлектрика равно

$$E = E_0 - E'$$

Взаимосвязь полей E и E_0

$$E = \frac{E_0}{\xi}$$

ξ - диэлектрическая проницаемость, которая показывает во сколько раз уменьшается напряженность в диэлектрике по сравнению с напряженностью в вакууме

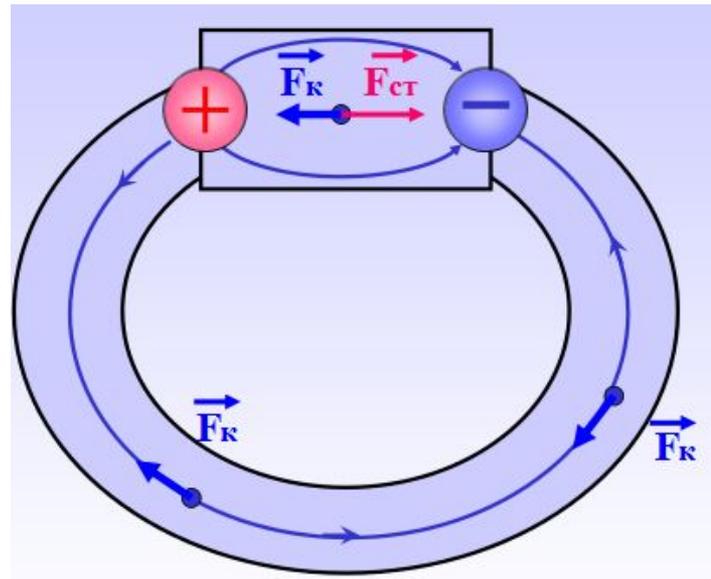


- Электрический ток – перенос заряда через поверхность S , упорядоченное движение зарядов (ионы в электролитах, электроны в металлах) :
 - «+» в направлении поля
 - «-» отрицательные против поля
- Электрический ток характеризуют силой тока – скалярной величиной, равной заряду, переносимому носителями через рассматриваемую поверхность в единицу времени.
- Пусть за время dt переносится заряд dq , тогда сила тока i :

$$i = \frac{dq}{dt}$$

В СИ [I]: ампер (А)

- Характеристика источника тока:
- ЭДС
- Внутреннее сопротивление



Если в проводнике создать электрическое поле, то если его не поддерживать, то ток прекратится. Для поддержания тока необходим круговорот зарядов. Перемещение зарядов против сил электростатического поля осуществляется с помощью сторонних сил.

- Величина, равная работе сторонних сил, отнесенной к единице положительного заряда называется электродвижущей силой (э.д.с.), действующей в цепи или на участке:

$$\mathcal{E} = \frac{A}{q}$$

- Величина, численно равная работе, совершаемой электростатическими и сторонними силами при перемещении единичного положительного заряда, называется падением напряжения или просто напряжением U на данном участке цепи:

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{12}$$

- Немецкий физик Г. Ом экспериментально установил закон Ома для участка цепи: сила тока, текущего по однородному (отсутствуют сторонние силы) металлическому проводнику, пропорциональна падению напряжения на проводнике:

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

- Однородным называется участок цепи, в котором не действуют сторонние силы.
- Величина R называется электрическим сопротивлением проводника
- В СИ $[R]$ – Ом
- $R = \rho \frac{l}{S}$ где l - длина проводника; S - площадь его поперечного сечения; ρ - коэффициент, зависит от свойств материала, называется удельным электрическим сопротивлением.
В СИ $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$;

- Если по проводнику течет постоянный ток, то работа тока на этом участке идет на преобразование электрической энергии во внутреннюю. Увеличение внутренней энергии проводника приводит к повышению его температуры (проводник нагревается).
- По закону сохранения энергии количество теплоты (Q), выделяющееся в проводнике при прохождении электрического тока, равно работе электростатических сил: $Q=A$

$$Q = RI^2t$$

$$Q = \int_0^t Ri^2 dt$$

- - закон Джоуля-Ленца для однородного участка цепи
- Если сила тока изменяется со временем:

- Закон Ома для неоднородного участка цепи (для участков, где действуют сторонние силы):

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \xi_{12}}{R}$$

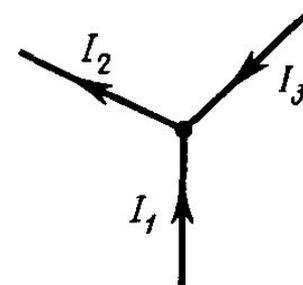


- $\xi_{12} < 0$ – если э.д.с. препятствует движению «+» носителей
- $\xi_{12} > 0$ – если э.д.с. способствует движению «+» носителей
- Закон Ома для замкнутой цепи:
- если необходимо найти силу тока в цепи, но при этом напряжение на ее концах не задано;
- известно сопротивление цепи и электродвижущая сила источника тока;
- То применить закон Ома для участка цепи невозможно;
- В этом случае применяют закон Ома для замкнутой цепи:

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

- Правила Кирхгофа:
- Первое правило относится к узлам цепи, т.е. к точкам, в которых проходит более чем два тока.
- Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum I_k = 0$$



$$I_1 - I_2 + I_3 = 0$$

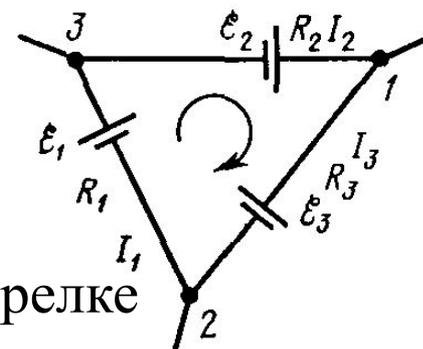
- Токи, текущие к узлу, считаются имеют
- один знак (плюс или минус), от узла –
- имеют другой знак (минус или плюс).
- Второе правило является следствием 3. Ома для неоднородных участков цепи: *алгебраическая сумма произведений сил токов в отдельных участках произвольного замкнутого контура на их сопротивления равна алгебраической сумме э.д.с., действующих в этом контуре:*

$$\sum I_k R_k = \sum \mathcal{E}_k$$

$$I_1 R_1 = \varphi_2 - \varphi_3 + \mathcal{E}_1,$$

$$I_2 R_2 = \varphi_3 - \varphi_1 + \mathcal{E}_2, \quad \text{Контур из 3-х участков;}$$

$$I_3 R_3 = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_3. \quad \text{Направление обхода по часовой стрелке}$$



Электромагнитные волны

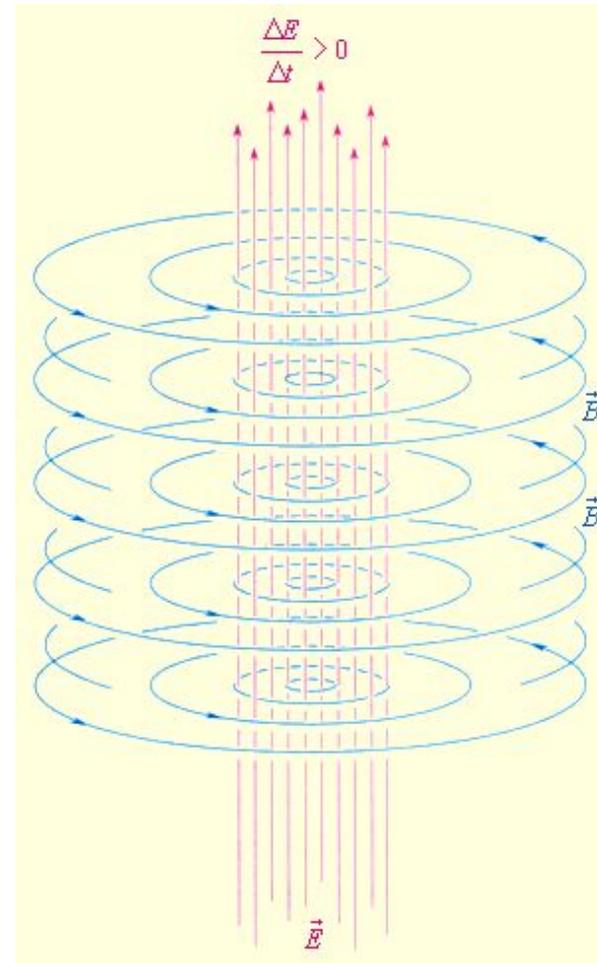
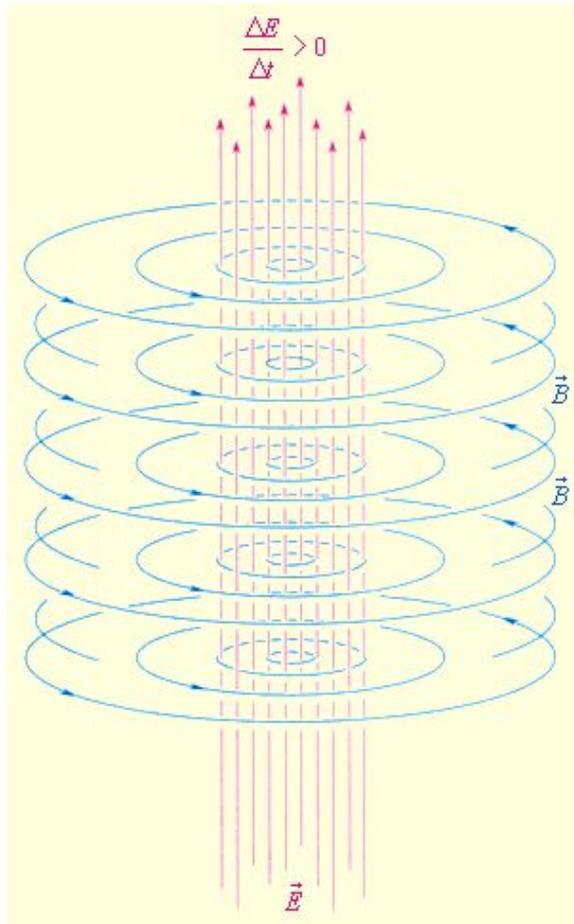
- Уравнения Максвелла в однородной нейтральной ($\rho=0$) непроводящей ($j=0$) среде с постоянными проницаемостями ϵ и μ :

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \mu\mu_0 \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}, \quad \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} = \epsilon\epsilon_0 \frac{\partial \mathbf{E}}{\partial t},$$

$$\operatorname{div} \mathbf{B} = \mu\mu_0 \operatorname{div} \mathbf{H} \quad \text{и} \quad \operatorname{div} \mathbf{D} = \epsilon\epsilon_0 \operatorname{div} \mathbf{E}$$

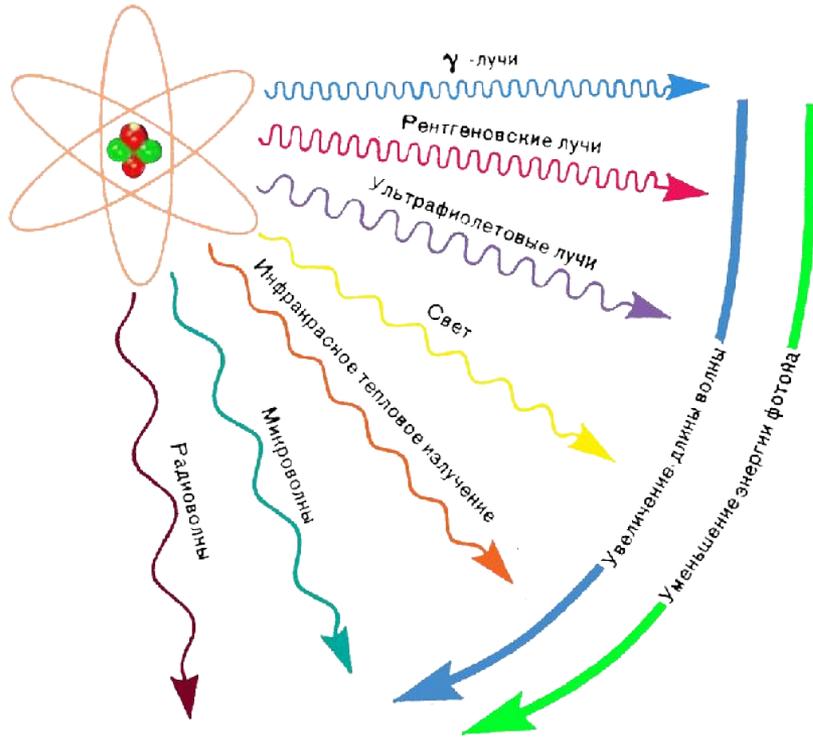
- Электромагнитные волны возникают вследствие связи между электрическими и магнитными полями. Всякое изменение напряженности электрического поля в какой-нибудь точке пространства вызывает появление переменного магнитного поля, изменение которого порождает меняющееся электрическое поле.

Изменяющееся во времени электрическое поле порождает в окружающем пространстве магнитное поле.



Электромагнитные волны

Электромагнитное излучение принято делить по частотным диапазонам:



Видимый: 0.38-0.76 мкм

Основными характеристиками электромагнитного излучения принято считать частоту ν , длину волны λ и поляризацию p .

$\nu = 1/T$, где T – период колебаний;

$$\lambda = cT$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Частота ν , Гц	Длина волны λ , м	Название диапазона	Источники. Основные методы возбуждения
10^3	$3 \cdot 10^6$	Радиоволны	Переменные токи в проводниках и электронных потоках (генераторы радиочастот, генераторы СВЧ)
10^{12}	$30 \cdot 10^{-4}$	ИК-излучение Видимый свет	Излучение молекул и атомов при тепловых и электрических воздействиях
$3,75 \cdot 10^{14}$	$8 \cdot 10^{-7}$		
$7,5 \cdot 10^{14}$	$4 \cdot 10^{-7}$	УФ излучение, мягкий рентген	Излучение атомов при воздействиях ускоренных электронов
$3 \cdot 10^{17}$	10^{-9}	Рентген, γ -излучение	Атомные процессы при воздействии ускоренных заряженных частиц
$3 \cdot 10^{20}$	10^{-12}	γ -излучение	Ядерные процессы, радиоактивный распад, космические процессы
10^{23}	$3 \cdot 10^{-15}$		

Интерференция

- **Интерференция** – это одно из явлений, где проявляются волновые свойства волн. Это интересное явление наблюдается при наложении двух или нескольких световых пучков.
- В общем случае при наложении световые волны выполняется **принцип суперпозиции**: результирующий световой вектор является суммой световых векторов отдельных волн. При этом может получиться волна, интенсивность которой не будет равна сумме интенсивностей складывающихся волн.
- Световую волну характеризуют **интенсивностью** I – это модуль среднего по времени значения плотности потока энергии (т.е. вектора Пойтинга S):

$$I = \langle S \rangle \propto E_m H_m$$

Учитывая связь H_m и E_m : $H_m \propto \sqrt{\epsilon} E_m = n E_m$

Имеем:

$$I \propto n E_m^2$$

Если разность фаз δ постоянна во времени, то такие колебания называются **когерентными**. В случае суперпозиции когерентных волн интенсивность результирующего колебания:

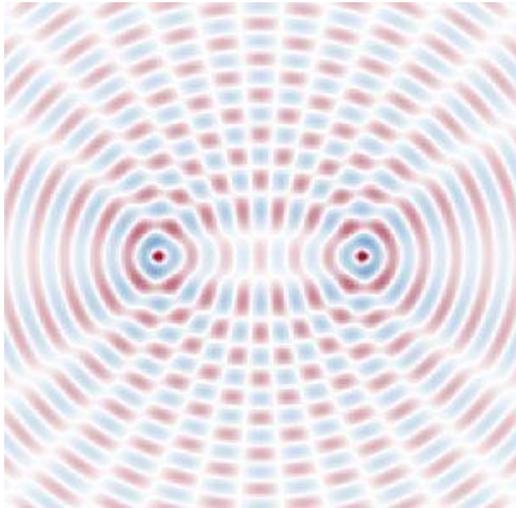
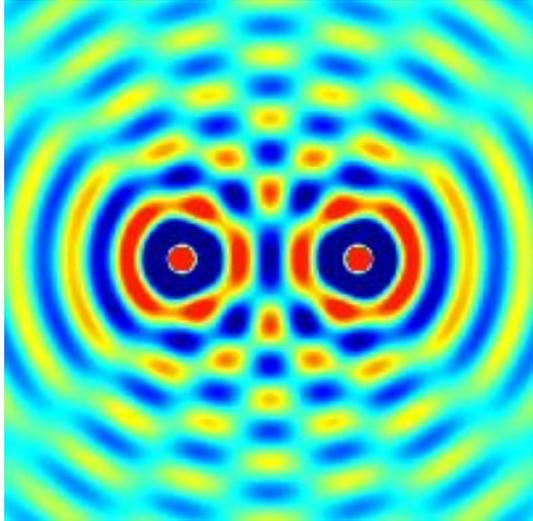
$$I = I_1 + I_2 + 2\sqrt{I_1 I_2} \cos \delta.$$

Последнее слагаемое – **интерференционный член**. В точках пространства:

$\cos \delta > 0, I > I_1 + I_2$ ➤ увеличение интенсивности
 $\cos \delta < 0, I < I_1 + I_2$ ➤ уменьшение интенсивности

➤ **перераспределение интенсивности в пространстве**

Интерференция света — перераспределение интенсивности в результате наложения (суперпозиции) нескольких когерентных волн. Это явление сопровождается чередующимися в пространстве максимумами ($I=4I_1$) и минимумами ($I=0$) интенсивности. Её распределение называется **интерференционной картиной**.



Если в некоторой однородной и изотропной среде два точечных источника возбуждают сферические волны, то в произвольной точке пространства M может происходить наложение волн. Интерференции волн от 2 точечных источников. Синий — максимумы, красный/желтый — минимумы.

- Необходимыми условиями возникновения интерференции являются **монохроматичность** и **когерентность** световых пучков
- **Монохроматичность** световых волн означает неизменность во времени их длин и частот колебаний
- Любой световой поток можно представить как суперпозицию монохроматичных волн
- Приборы, с помощью которых из света выделяют узкие спектральные интервалы называют [монохроматорами](#)

Излучение с высокой степенью монохроматичности — **лазерное излучение**

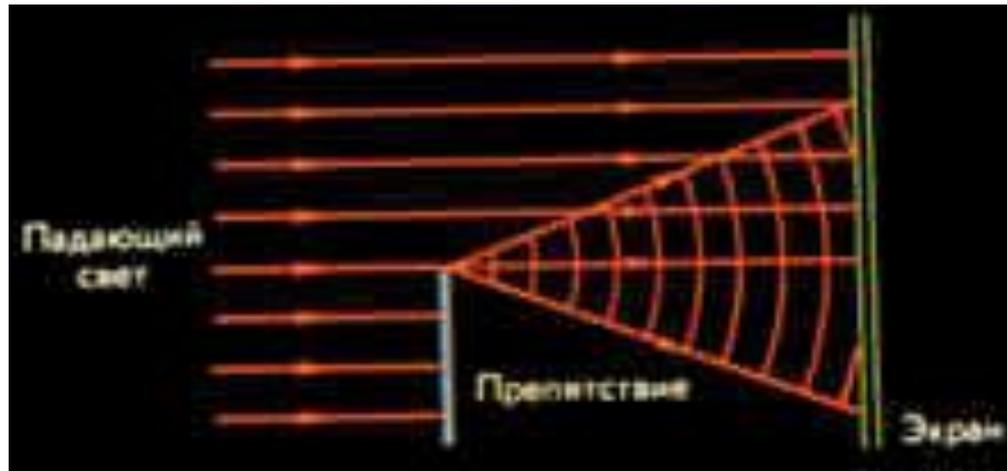


- Дифракция света – явление отклонения от прямолинейного распространения света в среде с резкими неоднородностями, что связано с отклонениями от законов геометрической оптики – проникновение света в область геометрической тени – отражает волновую природу!

Пример дифракции:

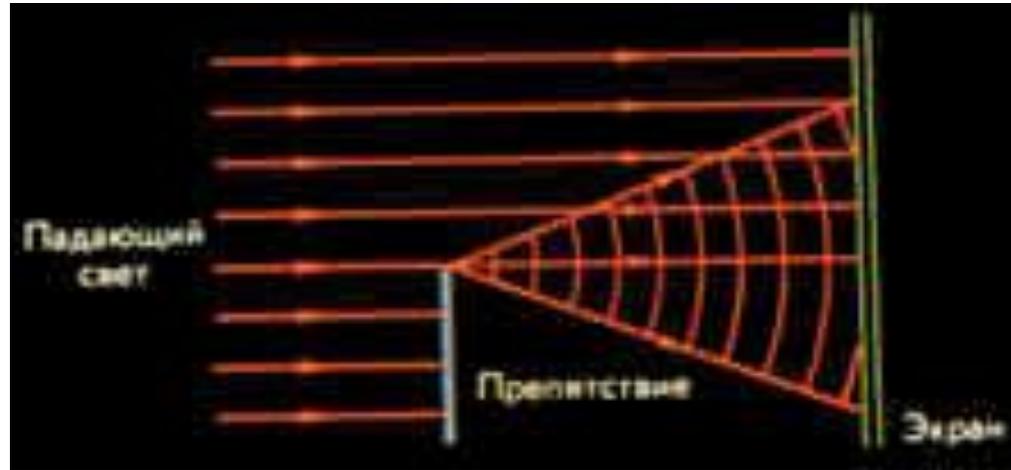
Венцы — это разноцветные кольца, наблюдаемые вокруг солнца или луны,





Дифракция света – явление отклонения от прямолинейного распространения света в среде с резкими неоднородностями, что связано с отклонениями от законов геометрической оптики – проникновение света в область геометрической тени – отражает волновую природу!

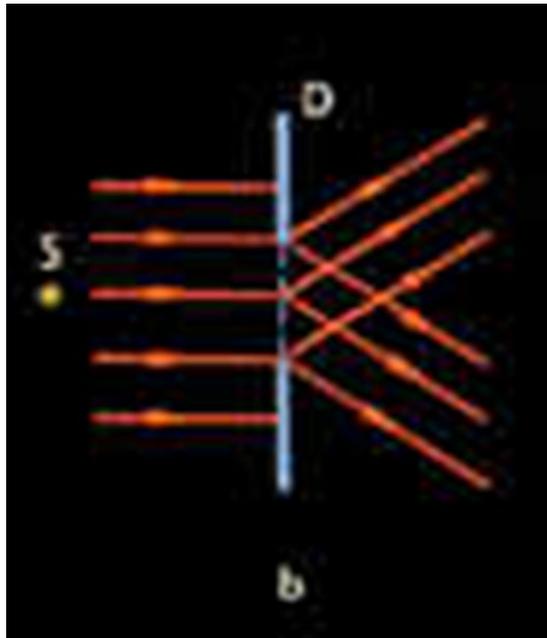
принцип Гюйгенса каждая точка среды, до которой дошло возмущение, сама становится источником вторичных волн.



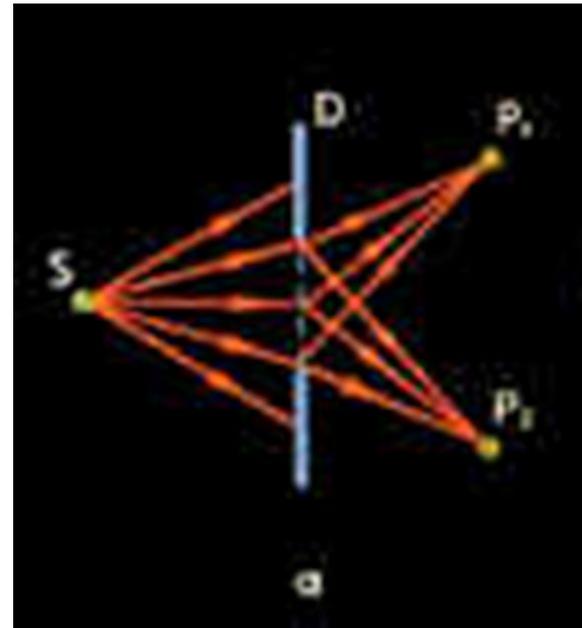
Дифракция света – явление отклонения от прямолинейного распространения света в среде с резкими неоднородностями, что связано с отклонениями от законов геометрической оптики – проникновение света в область геометрической тени – отражает волновую природу!

• Два случая дифракции:

Дифракция Фраунгофера-
дифракция в параллельных
лучах, дифракционная
картина наблюдается на
значительном расстоянии от
отверстия или преграды,
отверстие в экране меньше
зоны Френеля



Дифракция Френеля-
дифракция в сходящихся
лучах, дифракционная
картина, которая наблюдается
на небольшом расстоянии от
препятствия, размер отверстия
сравним с размером зоны
Френеля

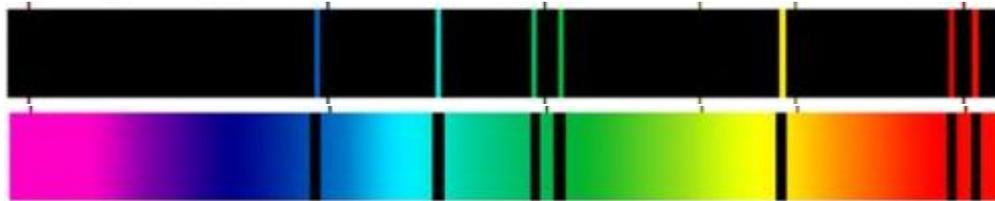


Пример

Взглянув на компакт-диск, можно увидеть радугу, возникающую из-за дифракции световых лучей на регулярно расположенных "дорожках", расстояние между которыми сравнимо с длиной волны света.



- **Спектр испускания- эмиссионный спектр** — набор линий, полос в электромагнитном спектре, испускаемым веществом.



Спектр испускания и поглощения для атома гелия

Темные линии на фоне непрерывного спектра — это линии поглощения, образующие в совокупности спектр поглощения.

- **Спектр поглощения**- это совокупность частот, поглощаемых данным веществом. Спектр поглощения связан с зависимостью показателя поглощения вещества от длины волны (частоты) излучения. Обусловлен энергетическими переходами в веществе. Для различных веществ спектры поглощения различны.
- Все вещества, атомы которых находятся в возбужденном состоянии, излучают световые волны, энергия которых определенным образом распределена по длинам волн.

- Серии линий атома водорода:

серия Лаймана $\omega = R \left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 2, 3, 4, \dots);$

серия Пашена $\omega = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 4, 5, 6, \dots);$

серия Брэкета $\omega = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 5, 6, 7, \dots);$

серия Пфунда $\omega = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (n = 6, 7, 8, \dots).$

- При возрастании n частота линии в каждой серии стремится к предельному значению R/m^2 , называемое границей серии.

- Рассмотрим ряд значений $T(n) = R/n^2$:

$$\frac{R}{1^2}, \frac{R}{2^2}, \frac{R}{3^2}, \dots$$

- Частота любой линии спектра водорода может быть представлена в виде разности двух чисел данного ряда. Эти числа называют спектральными термами.

- Постулаты Бора:

- Из бесконечного множества орбит, возможных с точки зрения классической механики, осуществляются только некоторые дискретные орбиты, удовлетворяющие определенным квантовым условиям.
- Излучение испускается или поглощается в виде светового кванта энергии $\hbar\omega$ при переходе электрона из одного стационарного (устойчивого) состояния в другое. Величина светового кванта равна разности энергий тех стационарных состояний, между которыми совершается квантовый скачок электрона:

$$\hbar\omega = E_n - E_m$$

- Частота излучаемой линии:

$$\omega = \frac{E_n}{\hbar} - \frac{E_m}{\hbar}$$

- Постулаты Бора подтверждаются опытами Франка и Герца.

- Ядро состоит из двух видов элементарных частиц:

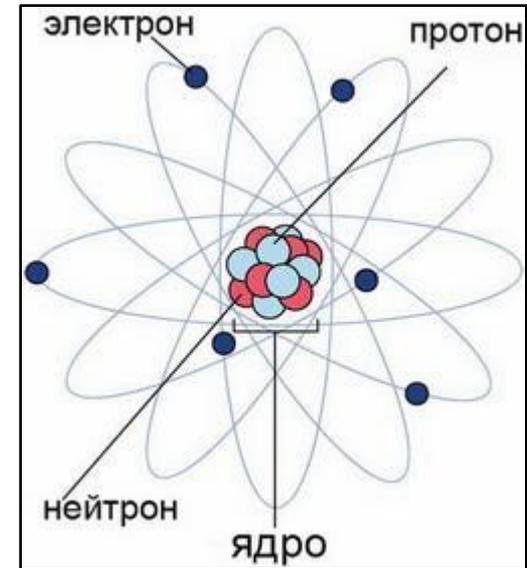
Резерфорд

- протонов

Чедвик

- нейтронов

} *нуклоны*



- Принято обозначать:

- Z – число протонов в ядре, атомный номер – зарядовое число
- $N = A - Z$ – число нейтронов в ядре
- A – число нуклонов ($p+n$) – массовое число ядра

- Атомы с одинаковым порядковым номером (т. е. атомы одного и того же элемента), но различными атомными числами называются изотопами.
- *Протон* – положительно заряженная частица ($|q_e| = |q_p|$), *нейтрон* – нейтральная частица
- Число протонов в ядре = числу электронов атома

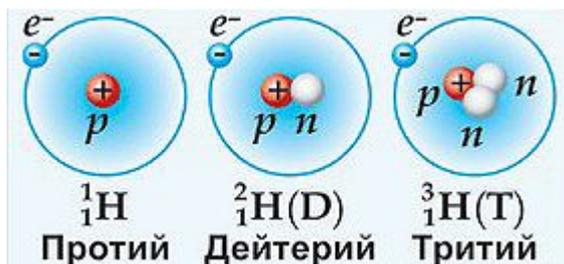
- В свободном состоянии нейтрон нестабилен (радиоактивен) – он самопроизвольно распадается, превращаясь в протон и испуская электрон (β - частицу) и частицу, называемую *антинейтрино* ($t \approx 12$ мин.): $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$.

- Масса покоя антинейтрино = 0
- Протоны — стабильные элементарные частицы
- Обозначение: ${}_Z^A X$, X – химический символ
- Изотопы водорода:

${}_1^1\text{H}$ – обычный водород, или протий ($Z = 1, N = 0$),

${}_1^2\text{H}$ – тяжелый водород, или дейтерий ($Z = 1, N = 1$),

${}_1^3\text{H}$ – тритий ($Z = 1, N = 2$)¹).



- Протоны и нейтроны являются фундаментальными частицами и состоят из *кварков*.



- Радиоактивность – самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотоп другого элемента, сопровождающееся испусканием элементарных частиц или ядер
- Пусть λ - вероятность для каждого радиоактивного ядра испытать превращение в единицу времени
- N - число атомов радиоактивного вещества
- dN – количество атомов, претерпевших превращение за время dt
- Тогда $dN = -\lambda N dt$ ➤ интегрируем ➤ $\ln N = -\lambda t + \text{const}$
- Закон радиоактивного распада:

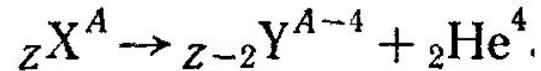
$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

- где N_0 – количество нераспавшихся атомов в начальный момент, N – количество нераспавшихся атомов в момент времени t , λ - *постоянная распада* -характерная для радиоактивного вещества константа
- Время, за которое распадается половина первоначального количества атомов, называется периодом полураспада T :

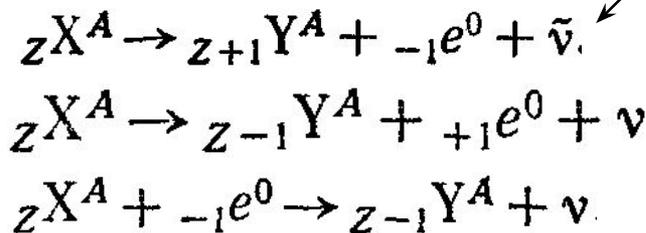
$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Основные распады:

1. α -распад - сопровождается испусканием альфа-частиц (${}^4_2\text{He}$), может сопровождаться излучением γ - лучей:



2. β -распад - сопровождается испусканием электрона, позитрона (античастицы электрона)), К-захват – ядро поглощает один из электронов к-слоя атома, может сопровождаться излучением γ - лучей. Три схемы:



antineutrino

3. протонная радиоактивность – ядро изменяется, испуская 1 или 2 протона
4. спонтанное деление тяжелых ядер – процесс самопроизвольного деления ядер урана на две примерные равные части.

