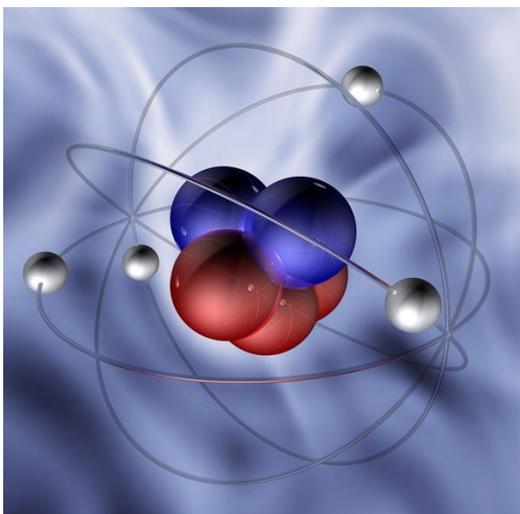


## ФИЗИКА. МАТЕМАТИКА.



## **Лекция 4**

# **ОСНОВЫ МЕДИЦИНСКОЙ И БИОЛОГИЧЕСКОЙ ФИЗИКИ**

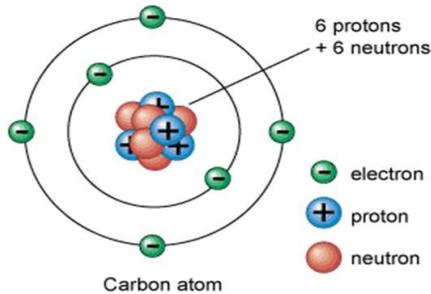
## **Часть II**

# ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПОЛЕ

Любое тело состоит из *молекул*, молекулы — из *атомов*.

Атомы состоят из положительно заряженного **ядра** и окружающих его отрицательно заряженных **электронов**. Ядро состоит из **нейтронов** не имеющих заряда и положительно заряженных **протонов**. В обычном состоянии количество положительных и отрицательных зарядов в атоме одинаково, а атом в целом нейтрален.

## Строение атома

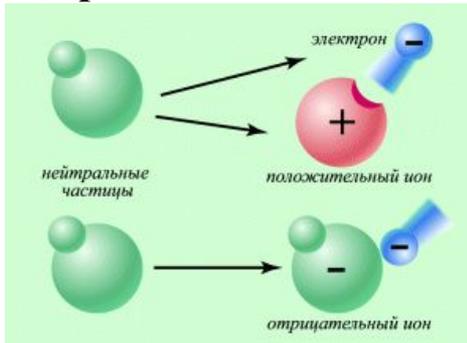


## Это интересно:



Тело взрослого человека состоит из 14 триллионов клеток, которые, в свою очередь, состоят из 7,000,000,000,000,000,000,000,000 (7 октильонов) атомов.

## Образование ионов



Элементарный заряд

(заряд электрона)

$$e \approx 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

В результате переходов электронов образуются **ионы** — атомы или группы атомов, в которых число электронов не равно числу протонов. Если ион содержит отрицательно заряженных частиц больше, чем положительно заряженных, то такой ион называют **отрицательным**. В противоположном случае ион называют **положительным**.

## Причины электризации

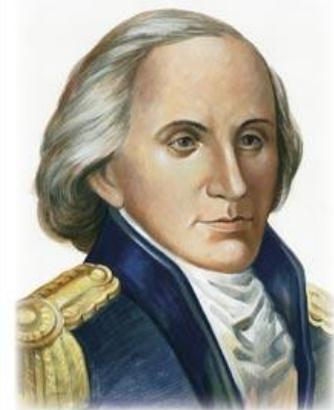


При электризации одни вещества отдают электроны, а другие их присоединяют.

# Закон Кулона

## Наблюдения показывают:

- разноименные заряды притягиваются,
- одноименные заряды отталкиваются



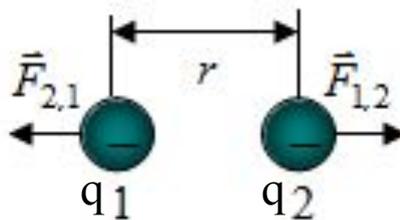
Кулон Шарль Огюстен  
(1736-1806)

**Закон Ш. Кулона:** Силы взаимодействия неподвижных зарядов прямо пропорциональны произведению модулей зарядов и обратно пропорциональны квадрату расстояния между ними:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$$

, где

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

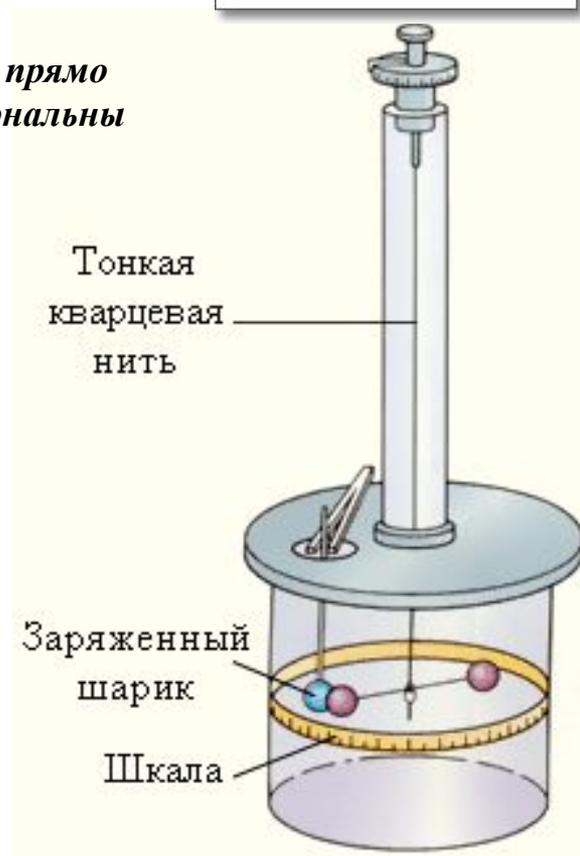


$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

- электрическая постоянная

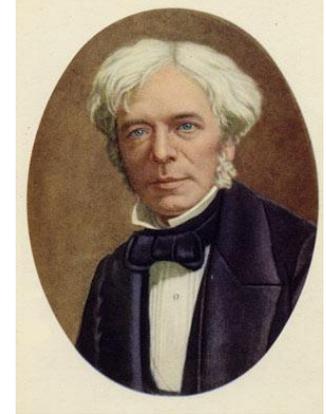
**Чем обусловлено взаимодействие между зарядами ?**

- *Концепция дальнего действия* - мгновенно заряды «чувствуют» друг друга через пустоту;
- *Концепция ближнего действия* - через «посредника» с конечной скоростью)?



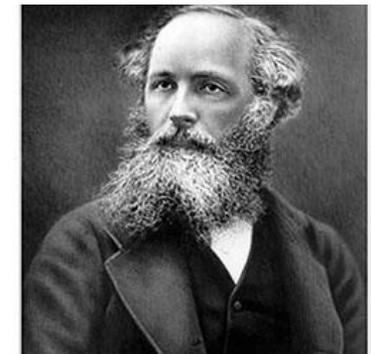
*Опыт Шарля Огюстена Кулона*

*Майкл Фарадей* предположил, что заряд создаёт в окружающем пространстве **электрическое поле** - особый вид материи, действующий на находящиеся в нём заряды.



**Майкл Фарадей**  
(1791 - 1867)

Идеи Фарадея развил его ученик *Джеймс Кларк Максвелл*. Он предположил и теоретически доказал, что электромагнитные взаимодействия передаются в пространстве с конечной скоростью, равной *скорости света*  $c=300\ 000$  км/с.



**Джеймс Кларк  
Максвелл**  
(1831 - 1879)

### Электрическое поле:

- **материально** - существует независимо от нас и наших знаний о нем;
- **создается зарядами**;
- главное свойство - **действует на заряды** с силой.

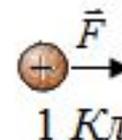
# Напряженность электрического поля

сила поля, действующая на единичный положительный точечный заряд, помещенный в данную точку

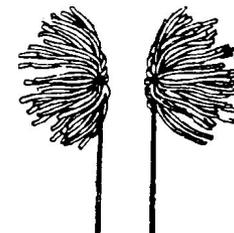
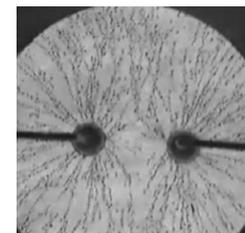
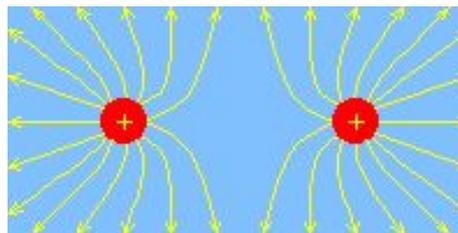
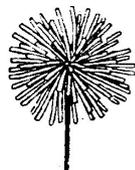
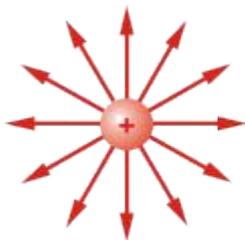
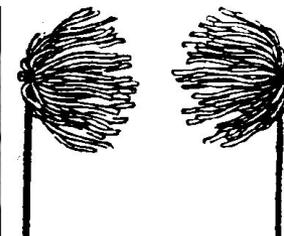
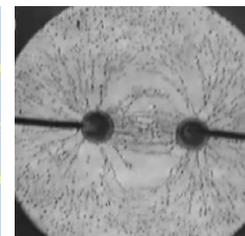
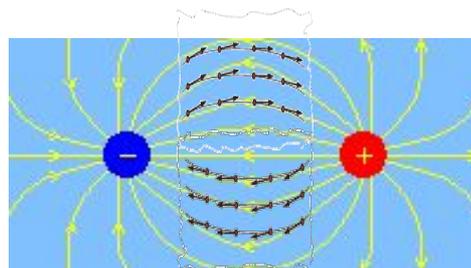
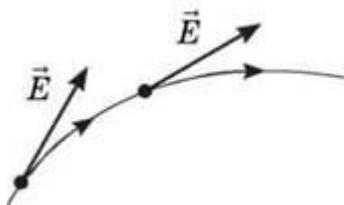
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$\left[ \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \right]$$

$\vec{E}$  – напряженность электрического поля  
 $\vec{F}$  – сила, с которой поле действует на пробный положительный заряд  
 $q$  – величина этого заряда



Линия, касательная к которой в каждой точке совпадает с направлением вектора напряженности называют **линией напряженности**



# Потенциал электрического поля

потенциальная энергия, которой обладает единичный положительный точечный заряд в данной точке поля

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

$\varphi$  - потенциал электрического поля  
 $W_p$  - потенциальная энергия пробного положительного заряда  
 $q$  - величина этого заряда

Принято считать равной нулю потенциальную энергию бесконечно удаленного заряда

$$\varphi_{\infty} = 0$$

В потенциальном поле **работа поля** определяется:

$$A_{12} = W_1 - W_2 = q(\varphi_1 - \varphi_2) \Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{12}}{q}$$

Если  $\varphi_2 = \varphi_{\infty}$ , то  $\varphi = \frac{A}{q}$

**Потенциал электрического поля** равен работе поля по перемещению единичного положительного точечного заряда изданной точки поля в бесконечность

**Эквипотенциальная поверхность** - местоположение точек равного потенциала

Работа поля по замкнутому контуру и вдоль эквипотенциальной поверхности равна нулю

$$U_{12} = \varphi_2 - \varphi_1 = -A_{12} - \text{напряжение}$$

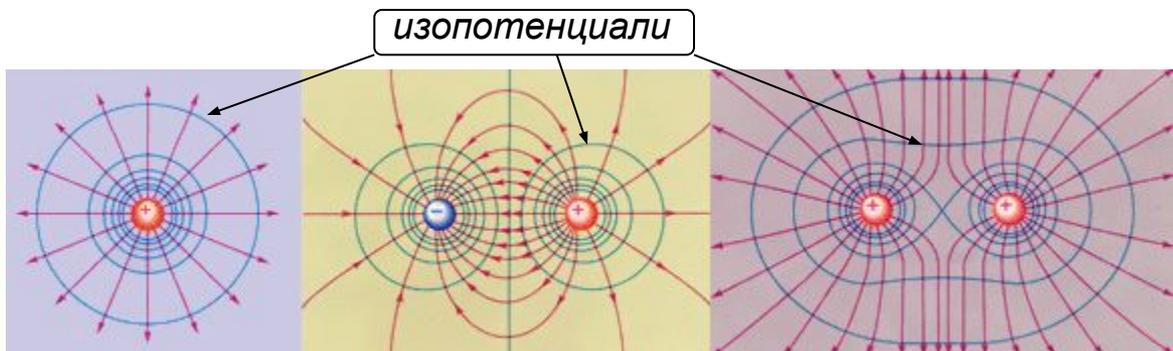
[U]=В - вольт

Напряженность электрического поля по модулю равна градиенту его потенциала

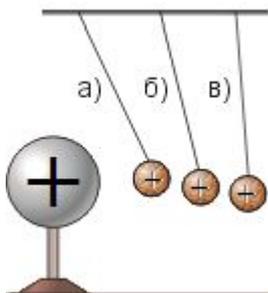
$$E = -\frac{d\varphi}{dr}$$

$$E = \frac{U}{d}$$

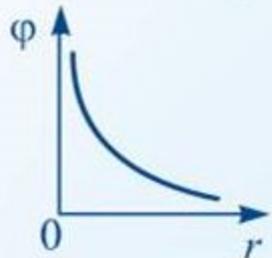
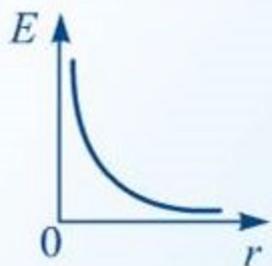
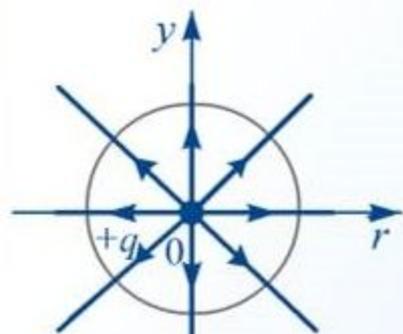
, где  $d$  - расстояние между точками 1 и 2



# Электрическое поле уединенного заряда



Пусть  
электрическое  
поле создается  
уединенным  
зарядом



## Напряженность

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

## Потенциал

$$\varphi = k \cdot \frac{q}{r}$$

# Емкость

- свойство тела удерживать электрические заряды;

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

[C] = 1 Ф (фарад)

$$1\text{Ф} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

C - величина заряда, способного изменить потенциал проводника на единицу.

## КОНДЕНСАТОР

- устройство для накопления заряда

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

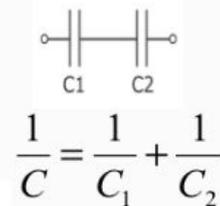
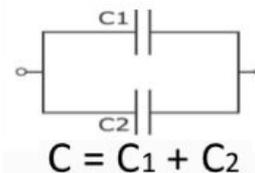
$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}$$



S - площадь пластин  
ε - диэлектрическая проницаемость  
d - расстояние между пластинами

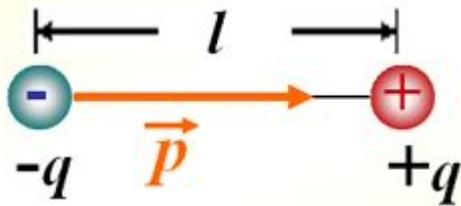
## Энергия заряженного конденсатора

$$W_p = \frac{CU^2}{2}$$



# Электрический диполь

– это система двух точечных зарядов  $+q$  и  $-q$ , жестко связанных между собой и смещенных на расстояние  $l$  друг относительно друга.



$\vec{l}$  - плечо диполя

$\vec{p}$  - электрический (дипольный) момент

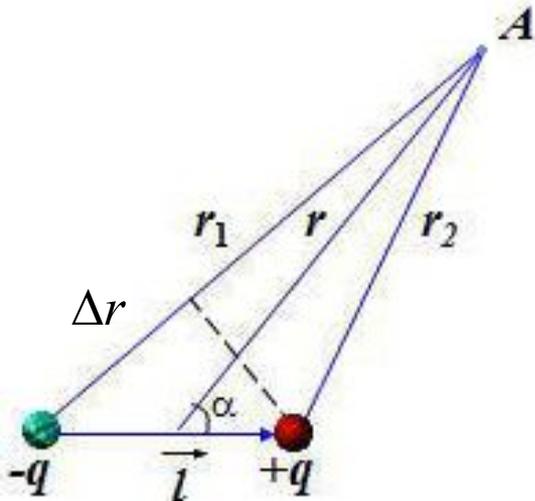
$$\vec{p} = ql$$

**Потенциал поля диполя:**

$r$  - расстояние от диполя до точки А

$l$  - плечо диполя

$l \ll r$



$$\varphi_{\text{дип}} = \varphi_+ + \varphi_- = -k \frac{q}{r_+} + k \frac{q}{r_-} = k \left( \frac{q}{r_+} - \frac{q}{r_-} \right) = kq \left( \frac{r_- - r_+}{r_+ r_-} \right) = kq \frac{\Delta r}{r^2}$$

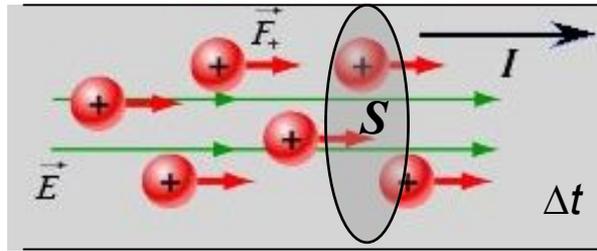
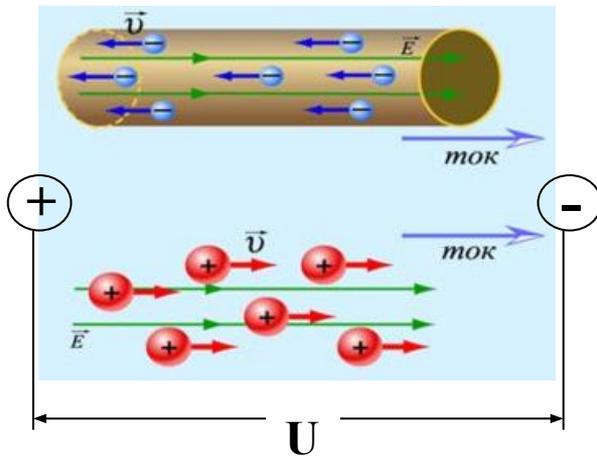
$$\varphi_{\text{дип}} = k \frac{ql \cos \alpha}{r^2} = k \frac{p \cos \alpha}{r^2}$$

# Электрический ток

– упорядоченное движение заряженных частиц.

Для существования электрического тока необходимы следующие условия:

1. Наличие свободных электрических зарядов в проводнике;
2. Наличие внешнего электрического поля для проводника.



**Сила тока**  $I$  – это количество заряда  $q$ , перенесенное через поперечное сечение проводника в единицу времени.

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

**Плотность тока:**

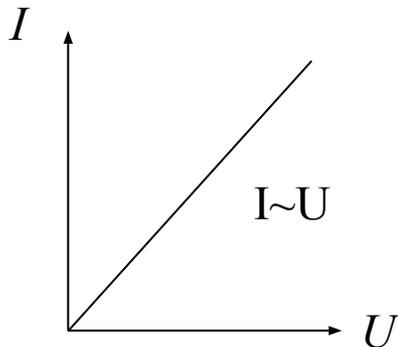
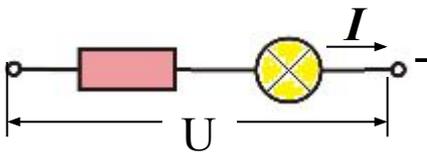
$$j = \frac{q}{St} = \frac{I}{t} \quad \left[ \frac{\text{A}}{\text{м}} \right]$$

На участке электрической цепи сила тока прямо пропорциональна напряжению:

$$I = \frac{U}{R} \quad \text{- закон Ома}$$

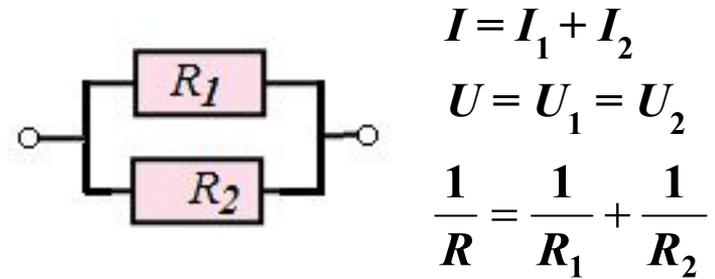
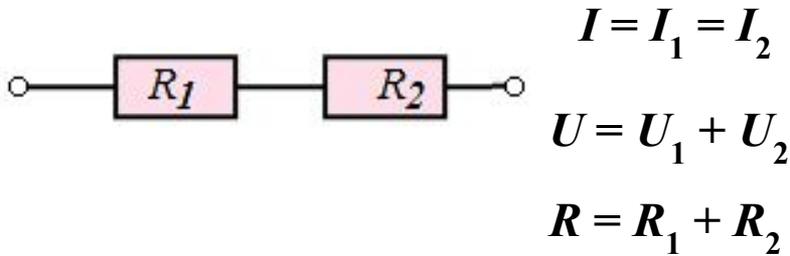
$R$  [Ом] – сопротивление проводника

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



Georgas OMAS  
1787–1854

Последовательное                      и                      параллельное  
соединение проводников



**Работа электрического поля (тока):**  $A = qU = IUt = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t$  [Дж]-джоуль

**Мощность тока:**  $P = \frac{A}{t} = IU = I^2 R = \frac{U^2}{R}$  [Вт]-ватт

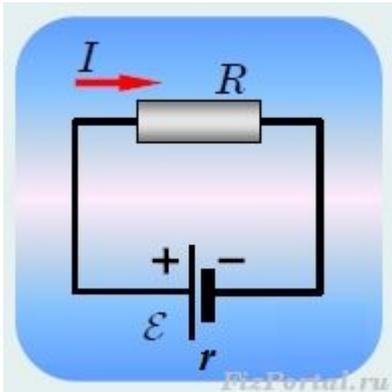
Работа сил электрического тока приводит к нагреванию проводника

**Количество теплоты**, выделяемое проводником с током:

$Q = A = I^2 R t$       - закон  
Джоуля-Ленца

Для поддержания тока в цепи необходим источник тока. Характеристика источника тока его «электродвижущая сила» (ЭДС).

**ЭДС** – работа сторонних сил по перемещению положительного заряда



$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q} \quad [B]$$

Закон Ома для полной цепи

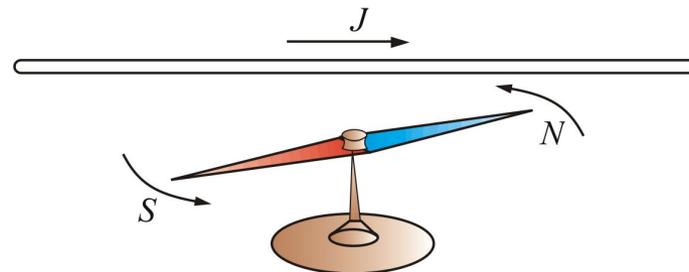
$$I = \frac{E}{r + R}$$

## Магнитное поле

1. В природе существуют постоянные магниты
2. Магнитная стрелка поворачивается около проводника электрического тока
3. Проводники с током испытывают взаимное притяжение или отталкивание при пропускании через них электрического тока



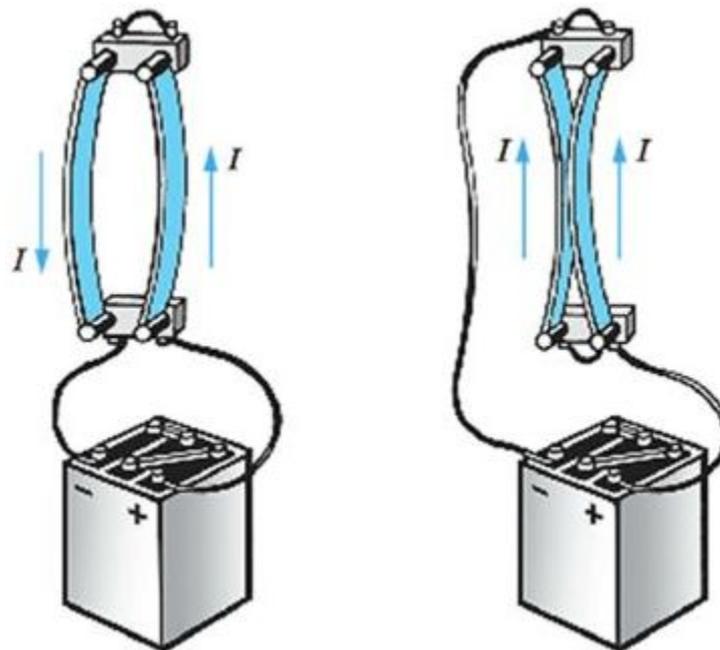
магнитный железняк (магнетит)



Опыт Эрстеда

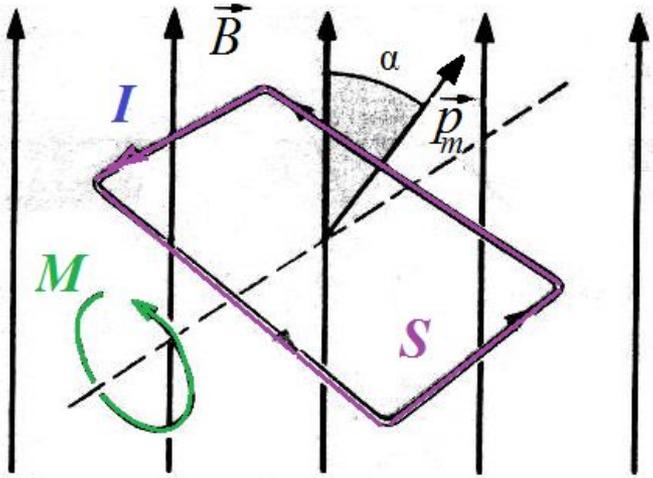
Причина возникновения магнитного взаимодействия заключается в наличии вокруг проводников с током **магнитного поля**.

**Магнитное поле** порождается движущимися электрическими зарядами, и оно действует только на движущиеся в нем заряды



Опыт Ампера

На небольшую рамку с током в магнитном поле действует пара сил, создающих вращающий момент  $M$ , который зависит от направления рамки в магнитном поле/х



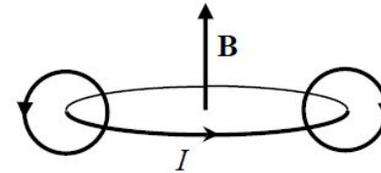
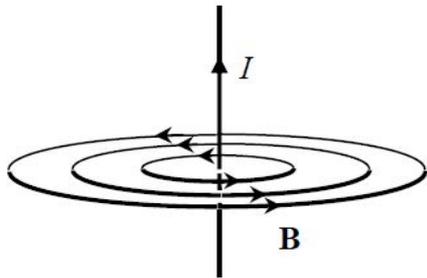
Отношение максимального момента сил  $M_{\max}$ , действующего на рамку с током со стороны магнитного поля, к произведению силы тока  $I$  в рамке на ее площадь  $S$ , называется магнитной индукцией:

$$B = \frac{M_{\max}}{p_m} = \frac{M_{\max}}{IS} \quad [\text{Тл}] - \text{тесла}$$

- *магнитная индукция*

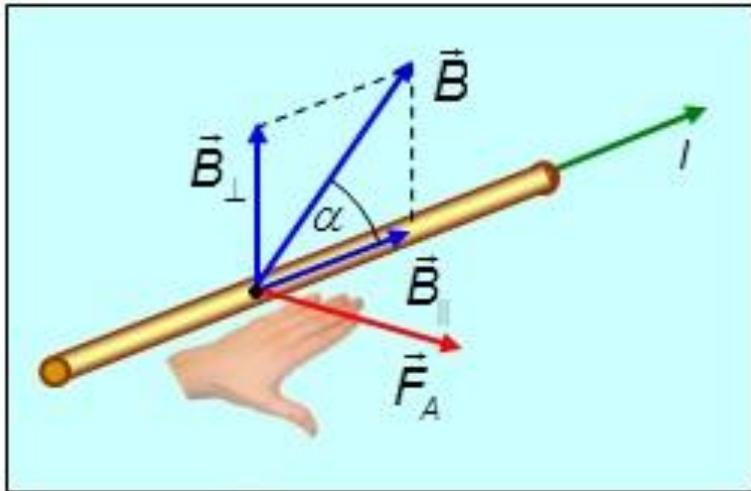
Величину  $p_m = IS$  называют *магнитным моментом* рамки (контура) с током

*Силовая линия магнитной индукции* - это линия, в любой точке которой вектор магнитной индукции направлен по касательной.



**Линии магнитной индукции прямого проводника с током и кругового витка с током**

Сила, с которой магнитное поле действует на проводник с током, называется **силой Ампера**.



$$F_A = I l B \sin \alpha$$

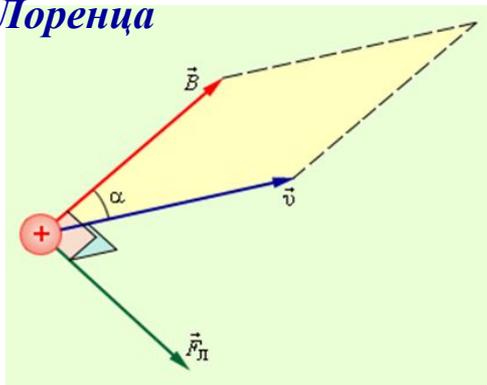
$B$  – вектор магнитной индукции,  $I$  - сила тока,  
 $l$  - длина проводника,  $\alpha$  – угол между  $I$  и  $B$ .

Направление силы Ампера определяется **правилом левой руки**:

четыре пальца левой руки располагаем по направлению тока так, чтобы линии магнитной индукции входили в ладонь, тогда большой палец укажет направление силы Ампера

Действие магнитного поля на проводник с током означает, что магнитное поле влияет на движущиеся электрические заряды.

Сила  $F$ , действующая на заряд  $q$ , движущийся со скоростью  $v$  в магнитном поле с индукцией  $B$ , называется **силой Лоренца**

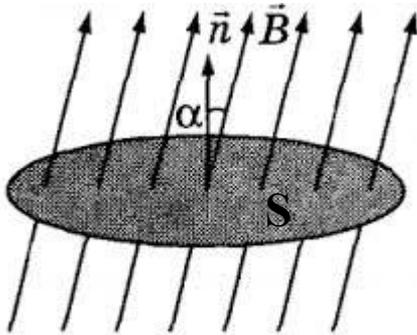


$$F_L = q v B \sin \alpha$$

Под **магнитным потоком**  $\Phi$  через плоскую поверхность площадью  $S$  (в случае однородного поля) понимают

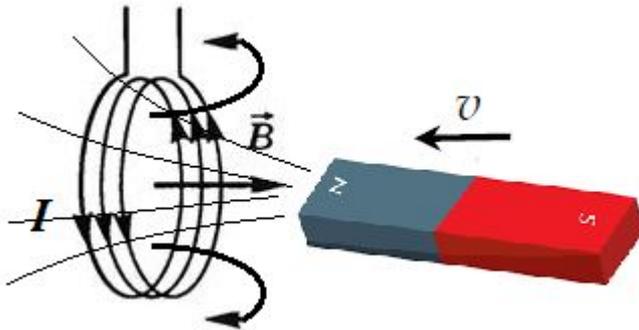
$$\Phi = B S \cos\alpha \quad [\text{Вб}] - \text{вебер},$$

где  $\alpha$  - угол между вектором нормали  $\vec{n}$  к плоскости и вектором магнитной индукции  $\vec{B}$



Явление возникновения тока в замкнутом проводнике при изменении магнитного потока, охватываемого этим контуром, называется **электромагнитной индукцией**.

При внесении постоянного магнита легкое алюминиевое кольцо отталкивается от него, а при удалении притягивается к магниту.



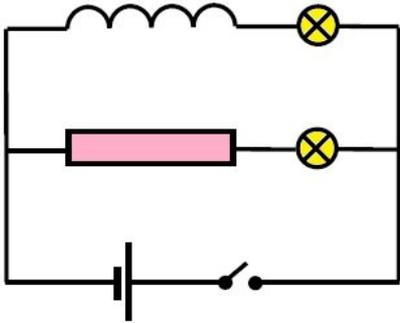
**Правило Ленца:** возникающий в контуре индукционный ток имеет такое направление, что созданный им магнитный поток, стремится компенсировать то изменение магнитного потока, которым он вызывается.

Согласно основному **закону электромагнитной индукции** (закон Фарадея-Максвелла) ЭДС индукции в замкнутом контуре пропорциональна скорости изменения магнитного потока через поверхность, ограниченную контуром

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Phi}{dt}$$

, где  $\mathcal{E}_i$  - электродвижущая сила индукции,  
 $\Phi$  - поток через контур

**Рассмотрим электрическую схему:**



При замыкании цепи электрическая лампа, включенная последовательно с катушкой, загорается несколько позже, чем лампа, включенная последовательно с резистором. Такое поведение объясняется возникновением ЭДС самоиндукции. Явление возникновения ЭДС индукции в электрической цепи в результате изменения силы тока в этой цепи называется **самоиндукцией**.

Электродвижущая сила самоиндукции  $\mathcal{E}_s$ , возникающая в замкнутом контуре при изменении силы тока в нем, равна

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}$$

, где  $L$  - индуктивность контура, [Гн] - генри

ЭДС **взаимной индукции** (т.е. ЭДС, индуцируемая изменением силы тока в соседнем контуре) определяется

$$\mathcal{E} = -L_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

, где  $L_{12}$  - взаимная индуктивность контуров.

**Энергия  $W$  магнитного поля**, создаваемого током в замкнутом контуре индуктивностью  $L$ :

$$W = \frac{L I^2}{2}$$

# ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИКА

**Оптика** - раздел физики, изучающий свет, законы его распространения и взаимодействия с веществом.

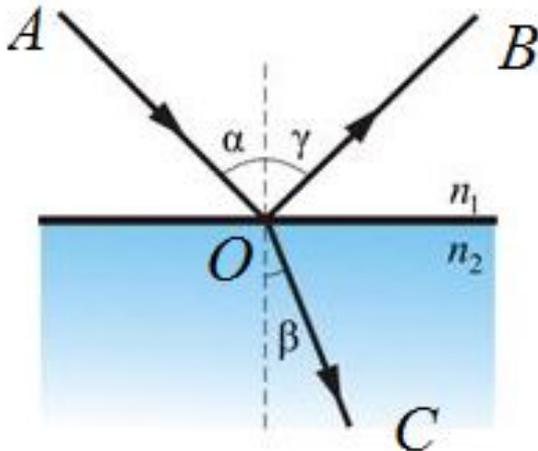
**Свет** - это электромагнитные волны, воспринимаемые глазом человека. Интервал длин световых волн от 400 нм до 760 нм ( $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ).

**Скорость световых волн** в вакууме  $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

**Геометрическая оптика** изучает законы распространения света на основе представлений о световых лучах. **Световой луч** представляет собой линию, вдоль которой распространяется световая энергия. В однородной среде свет распространяется прямолинейно.

## Законы отражения и преломления

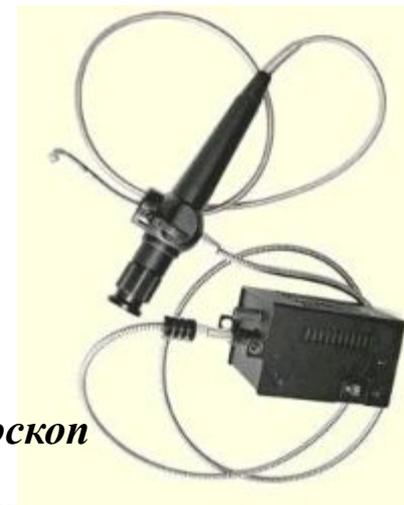
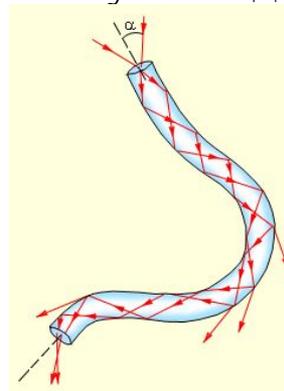
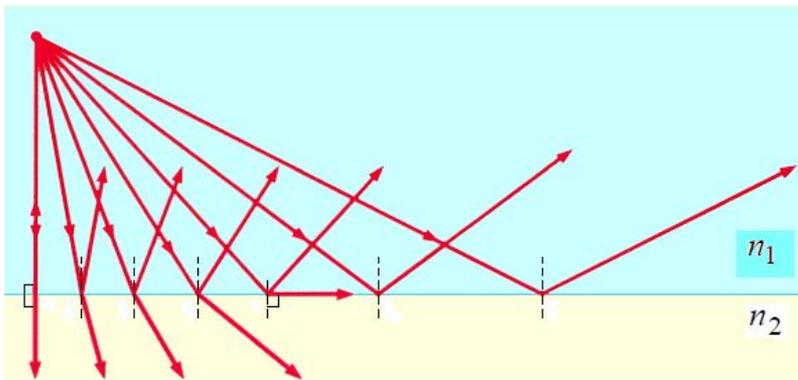
При падении луча  $AO$  на границу раздела сред его энергия может разделиться: часть отразится - «отраженный луч»  $OB$ , а часть пройдет в другую среду при этом изменит свое направление «преломленный луч»  $OC$ .



1. Лучи падающий, отраженный и преломленный лежат в одной плоскости
2.  $\angle \alpha = \angle \gamma$
3.  $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1}$ ,  $n_1, n_2$  - абсолютные показатели сред

# Явление полного отражения

При переходе света из оптически более плотной в оптически менее плотную среду ( $n_1 > n_2$ ) угол преломления оказывается больше угла падения



Оптоволокно, эндоскоп

## Предельный угол преломления

При переходе света из оптически менее плотной в оптически более плотную среду ( $n_2 > n_1$ ), если угол падения равен  $90^\circ$ , то угол преломления достигает предельно максимальное значение.

Оптическая схема рефрактометра ИРФ-22: 1 — осветительное зеркало; 2 — вспомогательная откидная призма; 3 — основная измерительная призма; 4 — матированная грань откидной призмы; 5 — исследуемая жидкость; 6 — призмы Амичи компенсатора; 7 — объектив зрительной трубы; 8 — поворотная призма; 9 — окуляр зрительной трубы.

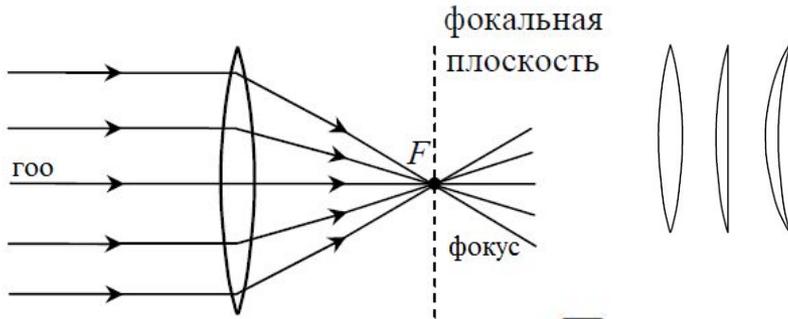


# Линзы

**Линза** - это прозрачное тело, ограниченное двумя криволинейными поверхностями, и по показателю преломления отличающееся от окружающей среды.

## Собирающие линзы,

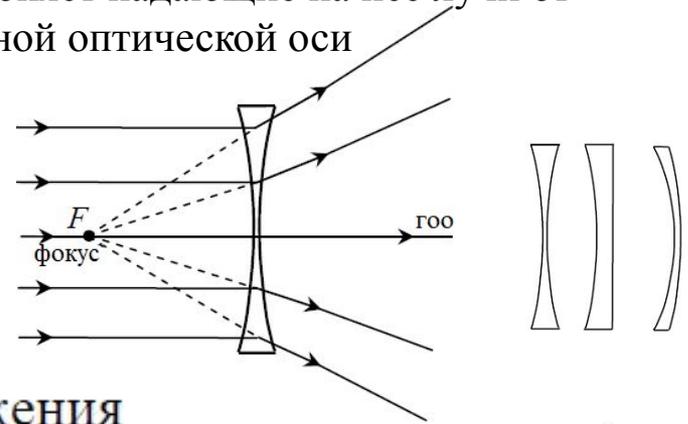
направляют падающие на них лучи к главной оптической оси



собирающая линза

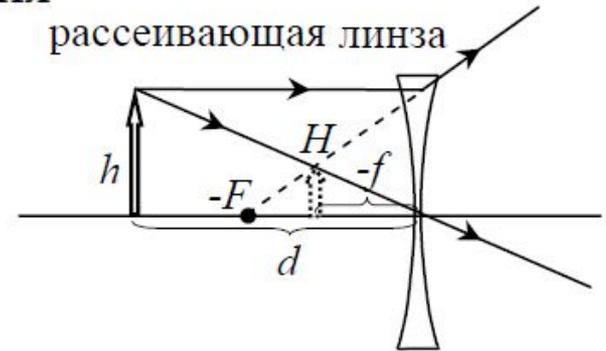
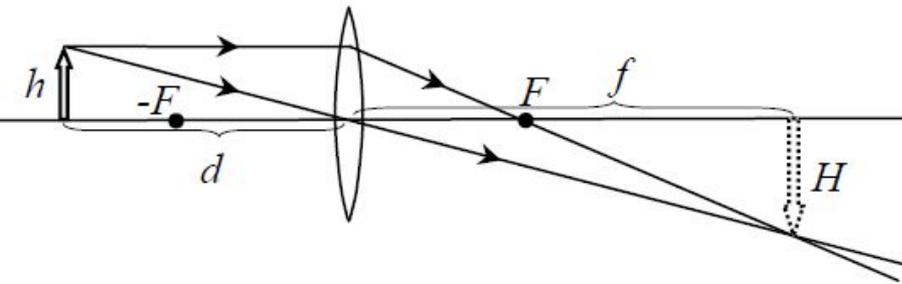
## Рассеивающие линзы

отклоняет падающие на нее лучи от главной оптической оси



рассеивающая линза

## Построение изображения



Если радиусы кривизны велики по сравнению с толщиной линзы, то такая **линза тонкая**

Формула тонкой линзы:

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

$d$  - расстояние от предмета до линзы,  $f$  - расстояние от изображения до линзы,  $F$  - фокусное расстояние

$$D = \frac{1}{F} \quad [\text{дптр}] \text{ -диоптрия}$$

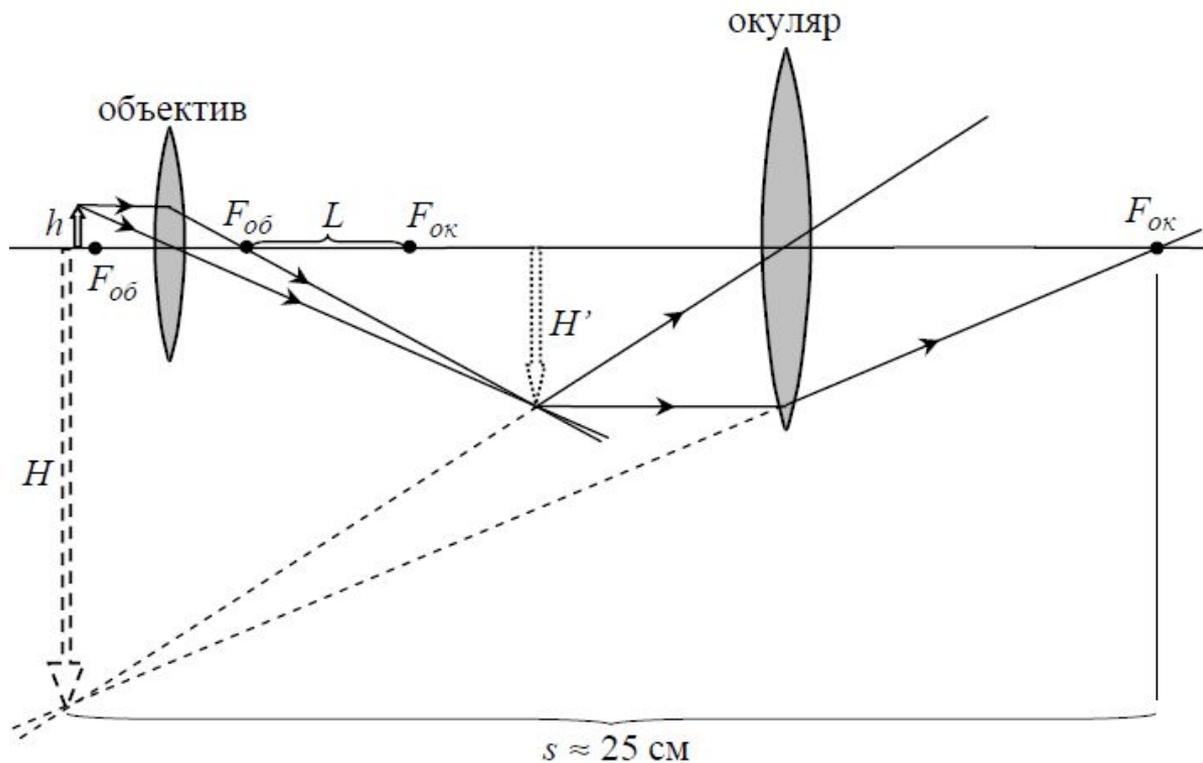
оптическая сила линзы

$$K = \frac{H}{h} \text{ - увеличение линзы}$$

# Микроскоп

*Микроскоп* - это оптическое устройство для получения увеличенных изображений объектов

Оптическая система простейшего микроскопа состоит из *объектива* и *окуляра*, формирует действительное, увеличенное и перевернутое изображение предмета.



**Общее увеличение** микроскопа  $K = K_{об} \cdot K_{ок}$ . Поскольку длина тубуса микроскопа

$$L \gg F_{об} \text{ и } s \gg F_{ок}, \text{ то } K_{об} = \frac{H'}{h} = \frac{f}{d} \approx \frac{F_{об} + L}{F_{об}} \approx \frac{L}{F_{об}} \text{ и } K_{ок} = \frac{H}{H'} \approx \frac{s - F_{ок}}{F_{ок}} \approx \frac{s}{F_{ок}}.$$

Откуда

$$K \approx \frac{L \cdot s}{F_{об} \cdot F_{ок}}$$

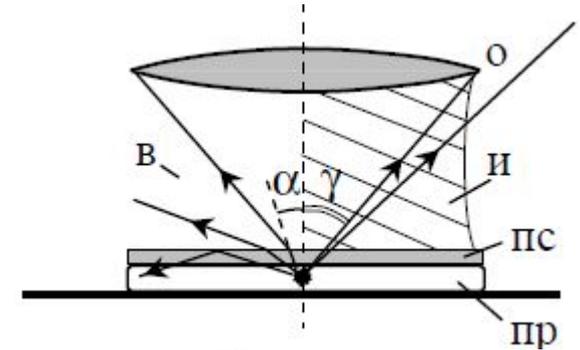
# Специальные методы микроскопии

Под *разрешающей способностью* микроскопа понимается способность давать раздельное изображение двух близко расположенных точек исследуемого объекта.

*Предел разрешения микроскопа* - это наименьшее расстояние между точками, когда они воспринимаются отдельно

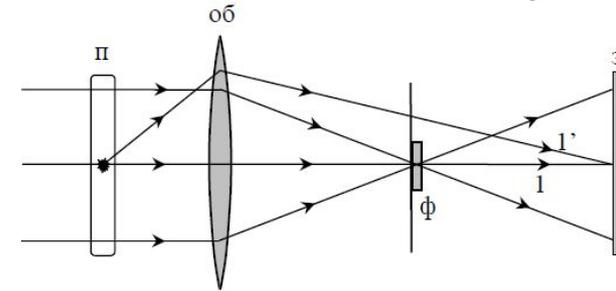
## *Иммерсионный метод*

В пространство между покровным стеклом и объективом микроскопа заполняют жидкостью, показатель преломления которой близок показателю преломления стекла (например, глицерин  $n = 1,45$  или монобромнафталин  $n = 1,61$ )



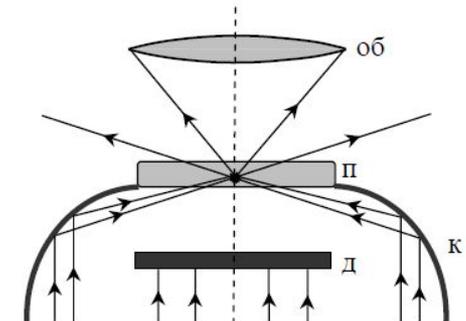
## *Фазово-контрастный метод*

используется для наблюдения малоконтрастных включений в препарате. В окуляр наблюдают затемненное изображение малоконтрастных включений исследуемого объекта на светлом фоне



## *Метод темного поля*

для наблюдения используется специальный конденсор. В результате на темном фоне будут наблюдаться слабоконтрастные компоненты исследуемого предмета



# ВОЛНОВАЯ ОПТИКА

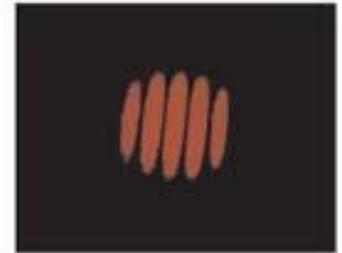
## Интерференция волн



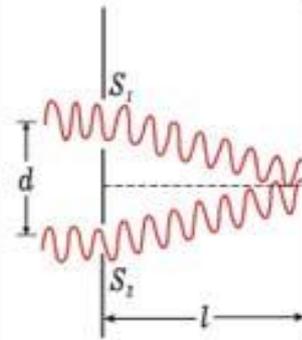
Томас Юнг



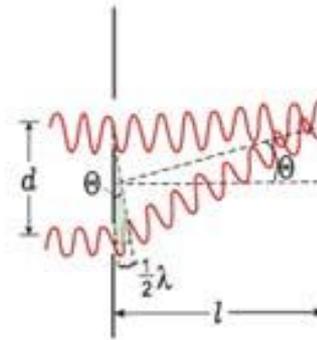
Интерференция волн на воде



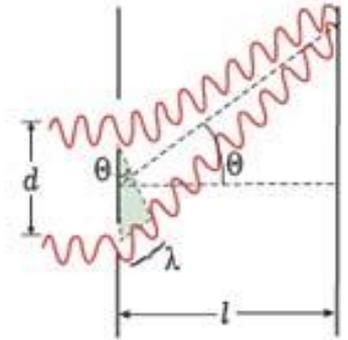
Интерференция света



Нулевой интерференционный максимум



Первый интерференционный минимум



Первый интерференционный максимум

### Интерференция в тонких пленках



Интерференция света на пленке масла

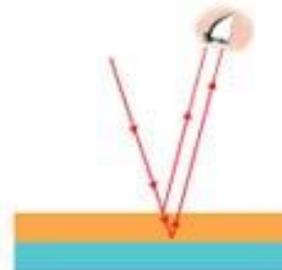
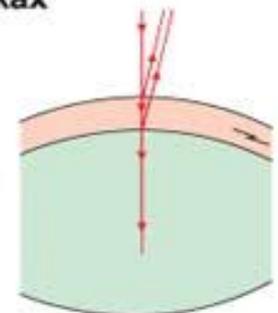


Схема хода лучей при интерференции в тонкой пленке



Просветление оптики

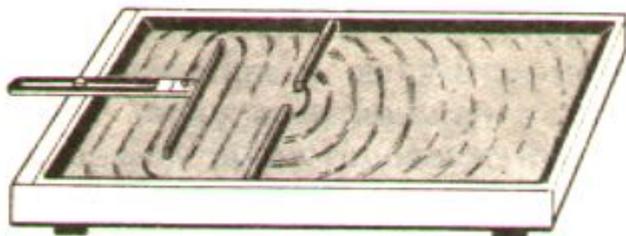
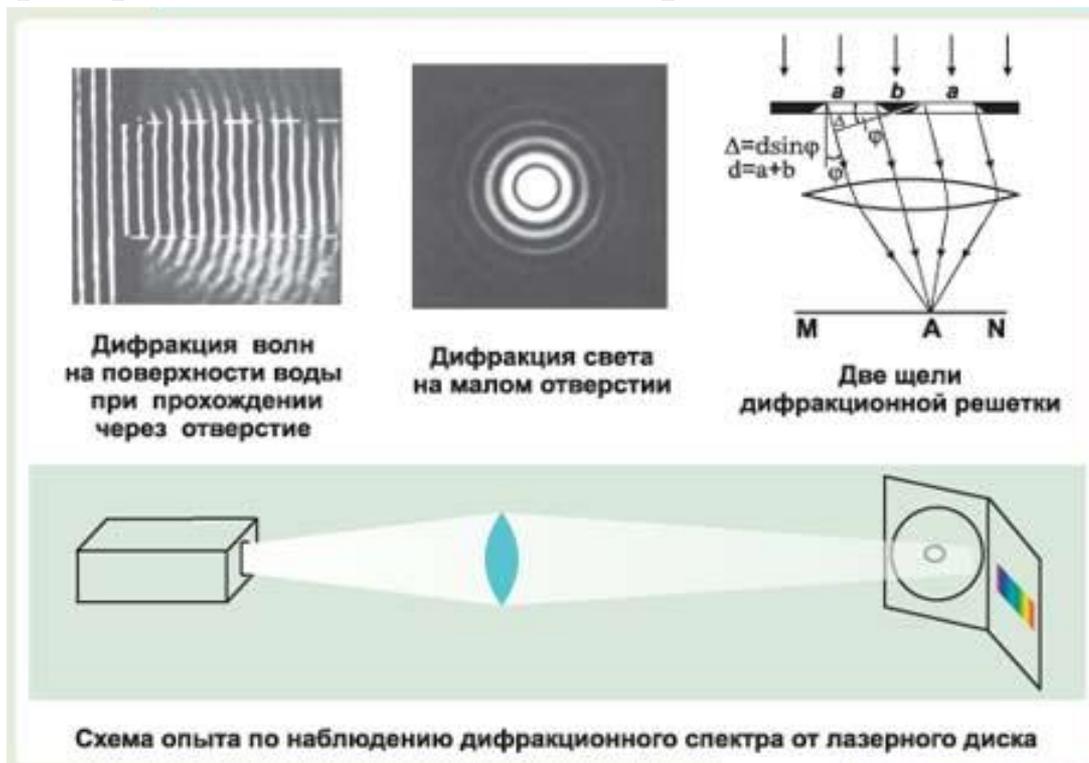


# Дифракция волн

**Дифракция** - отклонение направления распространения волн от прямолинейного у границы преграды

(огибание волнами препятствий)

Условие: размеры препятствия должны быть сравнимы с длиной волны

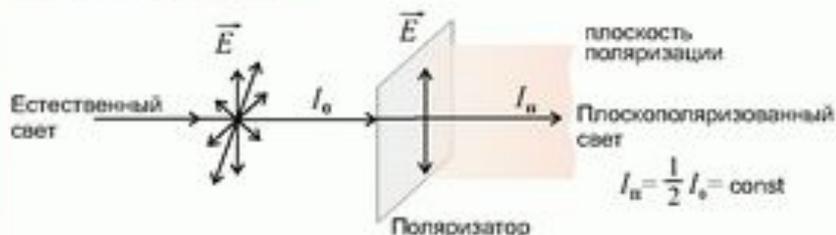


# Поляризация света

**Поляризация** – это выделение колебаний поперечной волны строго одного направления (при помощи поляризатора)

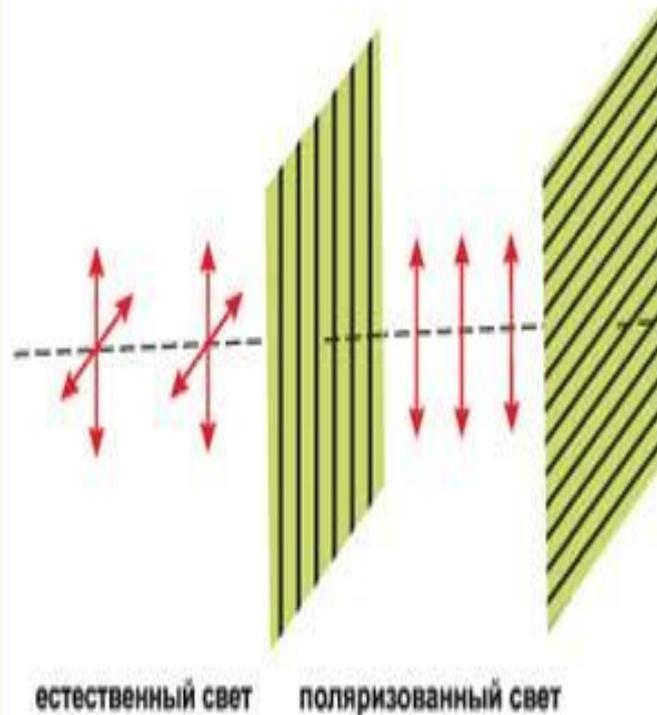


## ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

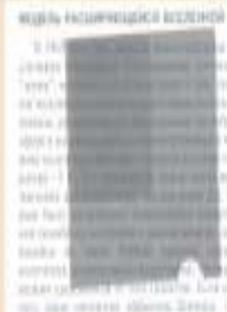


## ПОЛЯРИЗАЦИЯ СВЕТА

### СХЕМА ДЕЙСТВИЯ ПОЛЯРИЗАТОРА И АНАЛИЗАТОРА



### ПРОХОЖДЕНИЕ СВЕТА



### параллельные поляроиды



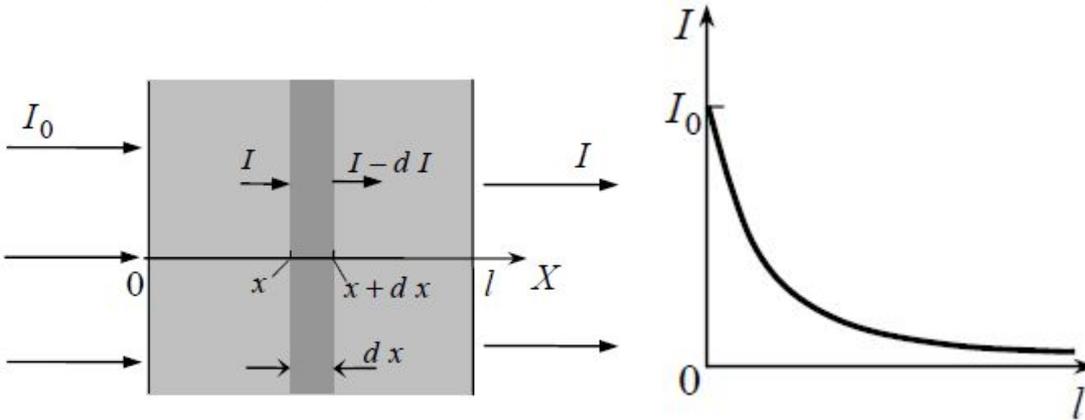
### скрещенные поляроиды

# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СВЕТА С ВЕЩЕСТВОМ

## Поглощение света

*Поглощением света* называется ослабление интенсивности света при прохождении через любое вещество вследствие превращения световой энергии в другие виды энергии (тепловую, фотохимическую и др.)

**Закон поглощения Бугера** (1729): в каждом слое одинаковой толщины поглощается одна и та же часть падающего светового потока



$$-\frac{dI}{I} = \alpha dx$$

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\alpha \int_0^l dx,$$

$$I = I_0 e^{-\alpha l}$$

$$\frac{s \cdot N}{S} = \frac{s \cdot n dV}{S} = \frac{s \cdot n S dx}{S} = s \cdot n dx.$$

$$-\frac{dI}{I} = s \cdot n dx$$

$$I = I_0 e^{-s \cdot n l}$$

В случае окрашенных растворов обычно пользуются молярной концентрацией

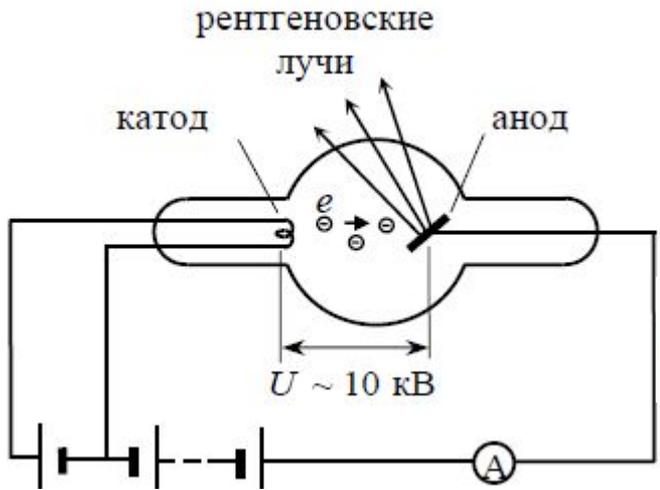
$$C = n/N_A \quad s \cdot n = s \cdot C N_A = \chi C, \text{ где } \chi = s \cdot N_A$$

$I = I_0 e^{-\chi C l}$  - закона Бугера-Ламберта-Бера для окрашенных растворов

$$I = I_0 10^{-\varepsilon C l}, \quad D = \lg \frac{1}{T} = \lg \frac{I_0}{I} = \varepsilon C l.$$



# РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

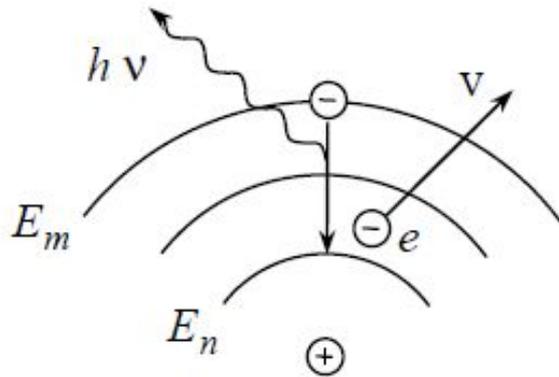


$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}} = \frac{hc}{eU} \cdot \text{коротковолновая граница } \lambda_{\min}$$

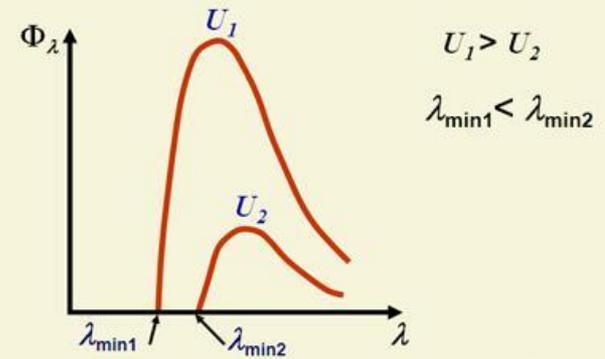
$$\lambda = \frac{hc}{E_m - E_n}$$

Закон Мозли

$$\sqrt{\nu} = K(Z-1)$$

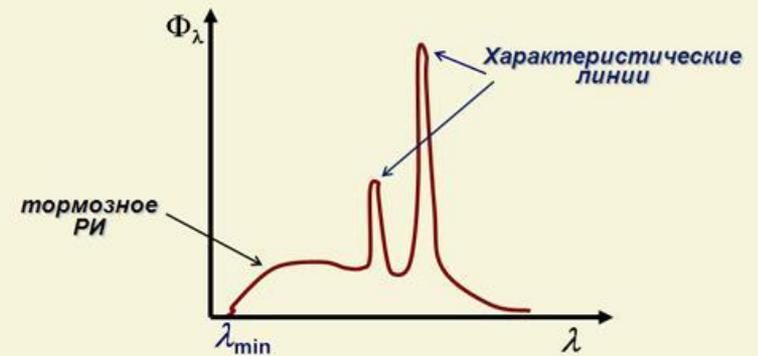


Зависимость спектрального состава тормозного РИ от напряжения в рентгеновской трубке



© ГОУ ВПО РГМУ Росздрава

Спектр характеристического рентгеновского излучения



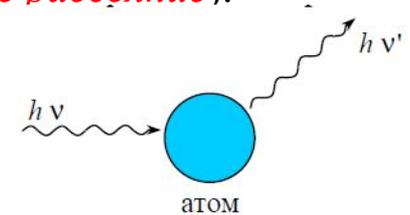
© ГОУ ВПО РГМУ Росздрава

# Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.

## Физическое обоснование применения рентгеновских лучей в медицине

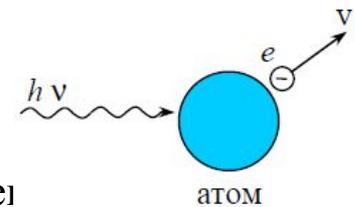
Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом зависит от соотношения между энергией кванта излучения  $\varepsilon = h\nu$  и энергией связи  $A$  электрона в атоме вещества:

1. Если энергии кванта рентгеновского излучения недостаточно для ионизации атомов вещества  $\varepsilon < A$ , то наблюдается лишь изменение направления распространения (рассеяние) квантов без изменения частоты:  $\varepsilon = \varepsilon'$ . Данное явление получило название *когерентное рассеяние*).

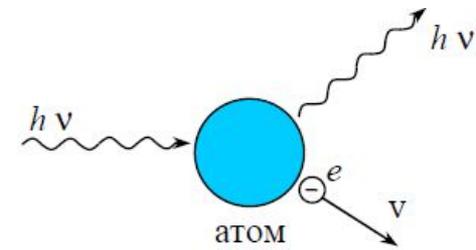


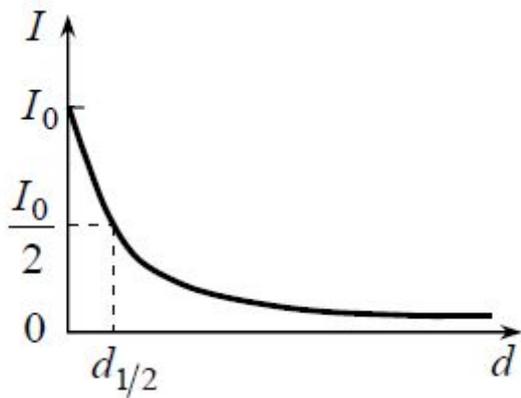
2. Если энергия кванта излучения сравнима с энергией ионизации  $\varepsilon \sim A$ , то явление *фотоэффекта*, при котором поглощение кванта сопровождается удалением электрона из атома и сообщением ему кинетической энергии:

$$\varepsilon = A + E_k.$$



3. При больших энергиях кванта излучения  $\varepsilon \gg A$  может произойти неупругое взаимодействие (*эффект Комптона*). Данное явление представляет собой взаимодействие фотонов с относительно слабо связанными электронами внешних орбиталей атомов. Кроме электрона отдачи в этом процессе появляется вторичный рентгеновский фотон с меньшей энергией:  $\varepsilon = E_k + \varepsilon'$





$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

закон *Бугера*

$$\frac{I_0}{2} = I_0 e^{-\mu d_{1/2}}, \quad d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu}.$$

$$\mu = \tau + \sigma$$

$$\mu_m = k \lambda^3 Z^3 \quad \text{массовый коэффициент ослабления}$$

Для одного и того же вещества ( $Z = \text{const}$ )  $\mu_m \sim \lambda^3$

Мягкие ткани организма состоят в основном из элементов с атомным номером  $Z$  до 8 (Н, С, N, O), тогда как минеральное вещество костей имеет  $Z = 15-20$  (Р и Са). Поэтому для отношения массовых коэффициентов ослабления получаем:

$$\frac{\mu_{m \kappa}}{\mu_{m M}} = \left( \frac{Z_{\kappa}}{Z_M} \right)^3 \approx 2^3 = 8.$$



- а) *рентгеноскопия* - наблюдение органов и тканей в проходящем рентгеновском излучении с помощью флуоресцирующего экрана;
- б) *рентгенография* - получение изображения внутренних органов, просвечиваемых рентгеновскими лучами, на фотопленке, покрытой чувствительной эмульсией;
- в) *радиовизиография* - просвечивание зубного ряда импульсным рентгеновским излучением (длительность импульса  $\sim 0,05$  с) с получением его изображения при помощи небольшого датчика, помещаемого в полость рта;
- г) *рентгеновская томография* - получение послойного рентгеновского изображения внутренних органов человека или организма в целом.

# Радиоактивность

**Радиоактивностью** называется самопроизвольный распад неустойчивых ядер с испусканием других ядер и элементарных частиц.

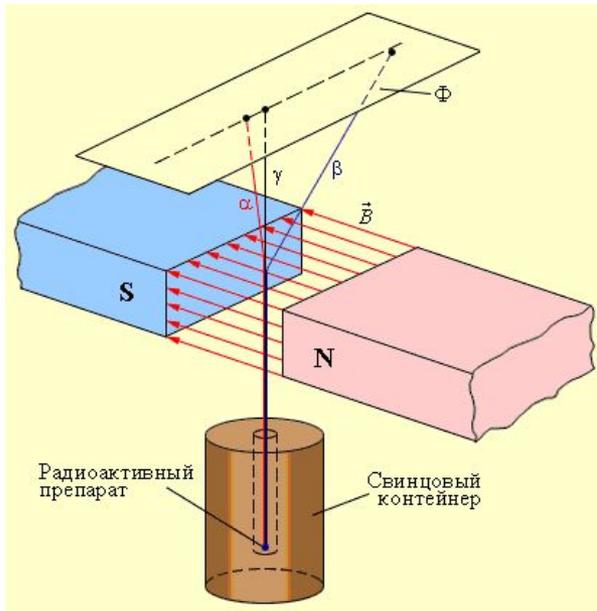


Схема опыта

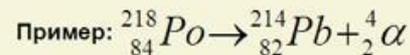
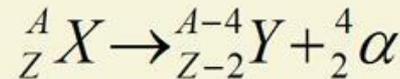
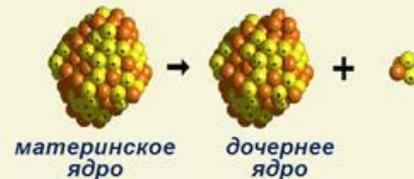
Радиоактивные атомы испускают **три вида** излучения:

**альфа** –излучение – поток ядер атома гелия  ${}^4_2\text{He}$

**бета**-излучение - поток электронов

**гамма**- излучение- электромагнитного излучения с чрезвычайно малой длиной волны — менее  $2 \cdot 10^{-10}$  м

## Альфа-распад ( $\alpha$ -распад)

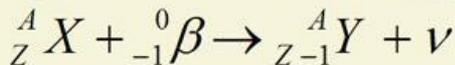
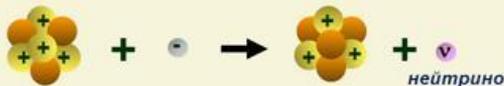


**Альфа-распад** происходит с испусканием  **$\alpha$ -частиц**

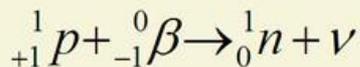
## Бета-распад

происходит при превращении нейтрона в протон внутри ядра с испусканием электрона и нейтрино.

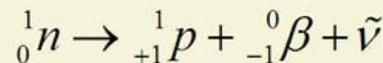
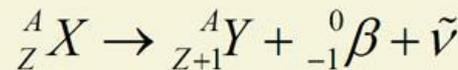
## Электронный захват ( $e$ -захват)



При захвате электрона в ядре протон превращается в нейтрон и испускается нейтрино:

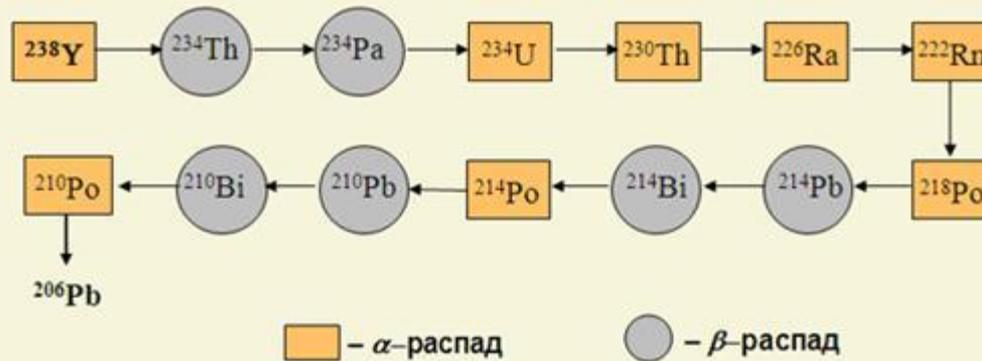


## Электронный распад ( $\beta^-$ -распад)



**Альфа и бета распады могут сопровождаться гамма излучением**

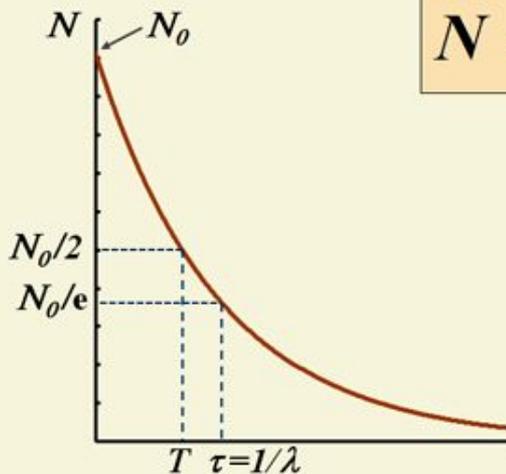
## Уран-радиевый ряд



Элементы этого ряда являются основным источником внутреннего облучения человека. Например,  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{210}\text{Po}$  поступают в организм вместе с пищей

# Закон радиоактивного распада

позволяет оценить, сколько ядер данного образца распадается в течение заданного промежутка времени



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

- $N_0$  - исходное число радиоактивных ядер
- $N$  - число ядер, оставшихся к моменту времени  $t$
- $\lambda$  - постоянная распада
- $T$  - период полураспада
- $\tau$  - среднее время жизни радионуклида

**Период полураспада** – время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

## Периоды полураспада для некоторых элементов

Изотоп (доля в природном элементе)		Период полураспада (T)
уран-238	(99,28%)	$4,50 \cdot 10^9$ лет
калий-40	(0,012%)	$1,3 \cdot 10^9$ лет
йод-131	нет	8 дней
йод-132	нет	2,26 часа
йод-125	нет	60 дней
торий-232	(100%)	$1,4 \cdot 10^{10}$ лет
радон-222	(-)	3,8 дня
углерод-14	(-)	5570 лет

