

# Взаимодействие излучения с веществом. Рассеяние света

Молекулярное рассеяние. Закон Рэлея

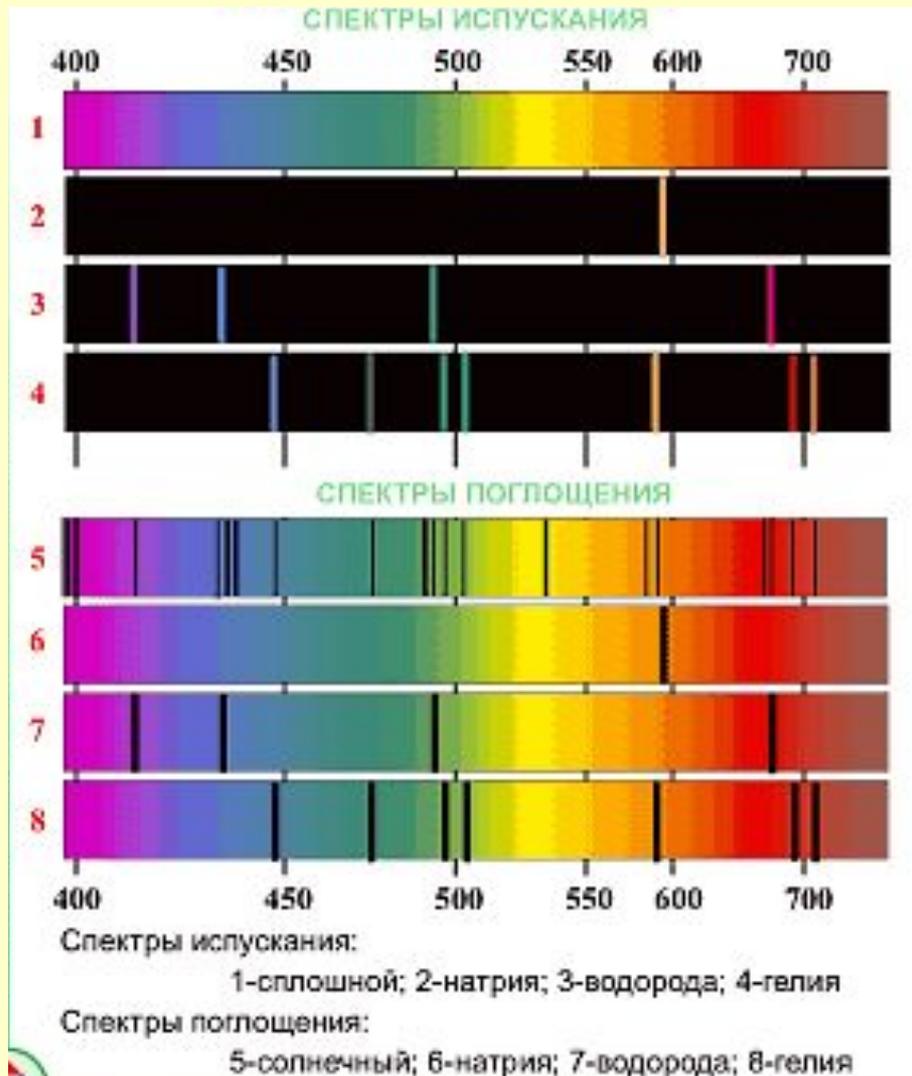


# Рассеяние Тиндаля



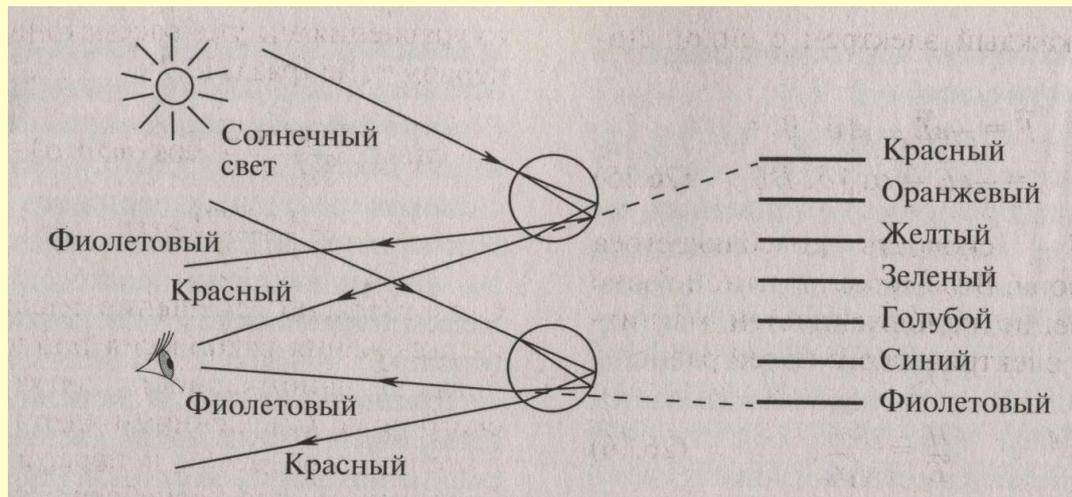
**рассеяние Тиндаля** — оптический — оптический эффект — оптический эффект, рассеяние света при прохождении светового пучка через оптически неоднородную среду. Характерен для растворов коллоидных систем, в которых частицы и окружающая их среда различаются по показателю преломления.

# Поглощение света



- Закон поглощения

# Дисперсия света



# Квантово-оптические явления

□ Тепловое излучение

□ Внешний фотоэффект

□ Давление света

□ Фотолюминесценция

# Тепловое излучение

***Тепловое излучение*** - электромагнитное излучение, возникающее за счет внутренней энергии излучающего тела и зависящее только от температуры и оптических свойств тела.

# Характеристики теплового излучения

$$R = d\Phi/dS$$

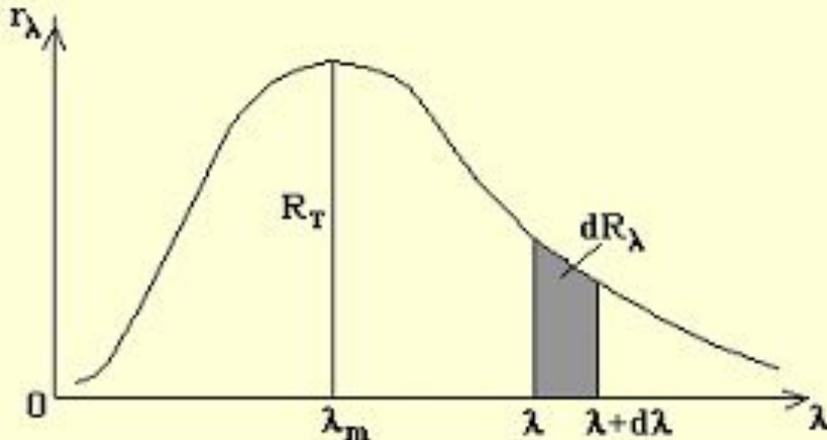
- энергетическая светимость или интегральная испускательная способность, где  $\Phi$  – поток энергии или мощность излучения

$$r_{\lambda,T} = \frac{\Phi}{dS \cdot d\lambda} = \frac{dR}{d\lambda}$$

- испускательная способность или спектральная светимость. Равна мощности, излучаемой с единицы поверхности тела и приходящейся на единицу интервала длин волн вблизи данной  $\lambda$

$$a_{\lambda,T} = d\Phi'_{\lambda} / d\Phi_{\lambda}$$

- поглощательная способность тела, где  $d\Phi'_{\lambda}$  – поглощаемый поток;  $d\Phi_{\lambda}$  – падающий на тело поток энергии.



$$R = \int_0^{\infty} dR_{\lambda} = \int_0^{\infty} r_{\lambda,T} d\lambda$$

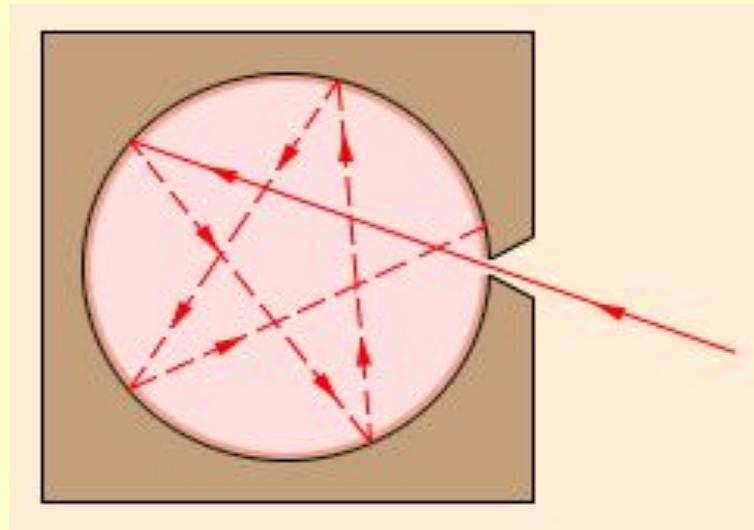
# Характеристики теплового излучения



Тела, которые поглощают все падающее на них излучение, называются **абсолютно черными**

*Модель абсолютно черного тела*

$$a_{\lambda, T}^* = 1$$



# Законы теплового излучения



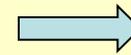
## Закон Кирхгофа

Отношение испускательной способности тела к его поглощательной способности не зависит от физической природы тела и является

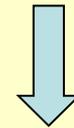
универсальной функцией  $\lambda$  и  $T$ : 
$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = f(\lambda, T)$$

Для абсолютно черного тела

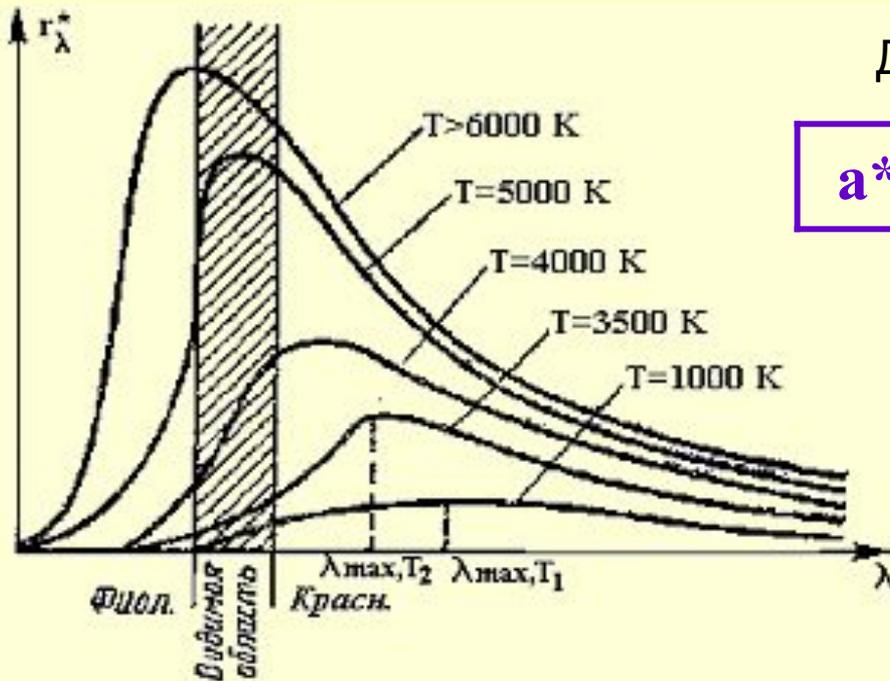
$$a_{\lambda,T}^* = 1$$



$$f(\lambda, T) = r_{\lambda,T}^*$$



$$\frac{r_{\lambda,T}}{a_{\lambda,T}} = r_{\lambda,T}^*$$



# Следствия из закона Кирхгофа



1.  $r_{\lambda,T}$  и  $a_{\lambda,T}$  не независимы: чем больше  $a_{\lambda,T}$ , тем больше  $r_{\lambda,T}$ ;

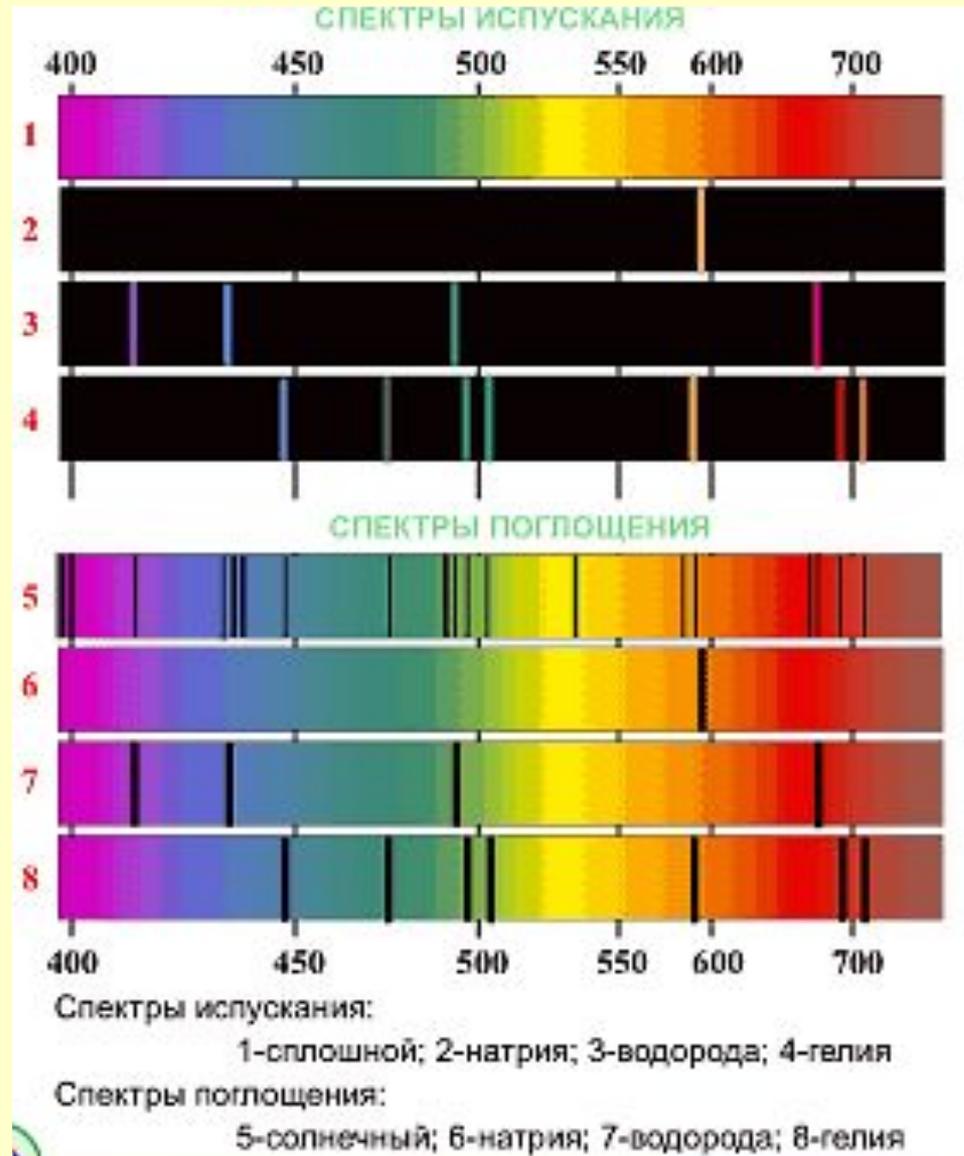
2. 
$$r_{\lambda,T} = a_{\lambda,T} \cdot r_{\lambda,T}^* \quad \left. \begin{array}{l} \text{для всех нечерных тел} \\ a_{\lambda,T} < 1 \end{array} \right\} \longrightarrow r_{\lambda,T} < r_{\lambda,T}^*$$

то есть абсолютно черное тело является наиболее интенсивным тепловым излучателем среди всех тел, имеющих одинаковую с ним температуру.

3. Если  $a_{\lambda,T} = 0$ , то и  $r_{\lambda,T} = 0$ , т.е. если тело не поглощает электромагнитные волны какой-либо  $\lambda$ , то оно их и не излучает.

[Видео](#)

# Законы теплового излучения



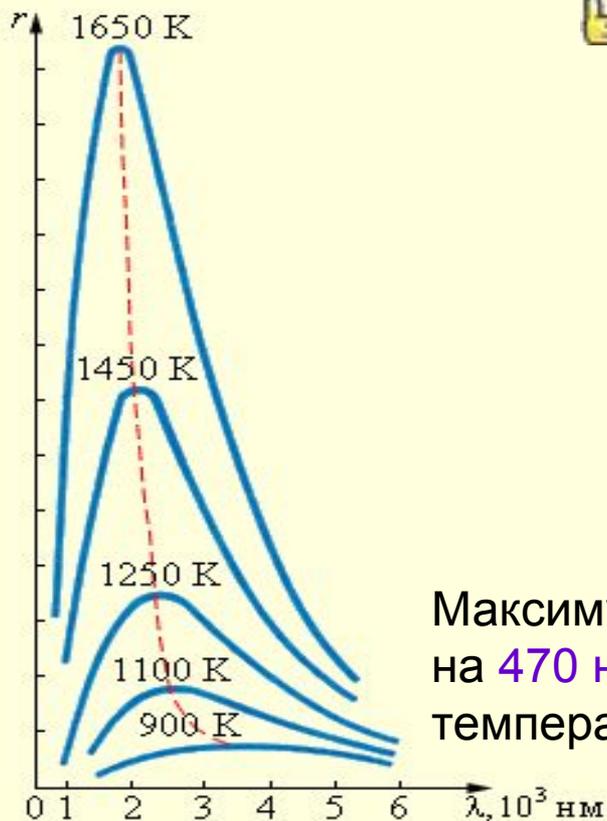
# Законы теплового излучения



## Закон Стефана – Больцмана

$$R^* = \delta \cdot T^4,$$

$\delta = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$  – постоянная Стефана - Больцмана.



## Закон смещения Вина (1893 г.)

$$\lambda_m \cdot T = b$$

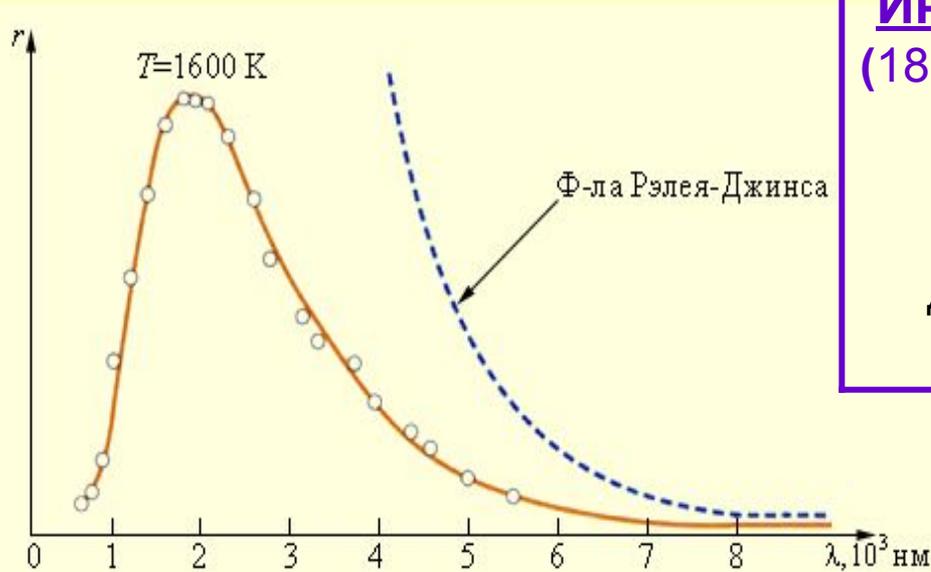
$b = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ м} \cdot \text{К}$  – постоянная Вина,

$\lambda_{\text{max}}$  – длина волны, соответствующая  
максимальному значению  $r^*_{\lambda, T}$

Максимум энергии излучения Солнца приходится примерно на **470 нм** (зеленая область спектра), что соответствует температуре наружных слоев Солнца около **6200 К**.

[Модель 5.5. Излучение абсолютно черного тела](#)

# Законы теплового излучения



## Интерполяционная формула Вина (1896 г.)

$$r_{\lambda, T}^* = \frac{C_1}{\lambda^5} \cdot e^{-\frac{C_2}{\lambda T}}$$

согласуется с экспериментальными данными только в области малых длин волн (слева от максимума).

## Формула Рэлея – Джинса:

$$r_{\lambda, T}^* = \frac{2 \cdot \pi \cdot C \cdot k \cdot T}{\lambda^4}$$

Была получена теоретически, опираясь на законы классической физики:

1. спектр энергии атомных осцилляторов сплошной;
2. при термодинамическом равновесии на каждую степень свободы приходится энергия  $\varepsilon = kT/2$ .

При  $\lambda \rightarrow 0$   $r_{\lambda, T}^* \rightarrow \infty$  – «ультрафиолетовая катастрофа».

# Законы теплового излучения



## Формула Планка (1900 г.)

Формула выведена в предположении: поглощение и испускание излучения происходят конечными порциями - квантами, энергия атомных осцилляторов принимает дискретный ряд значений:  $\varepsilon = n \cdot h \cdot \nu$  ( $n = 1, 2, \dots$ ).

$h$  – постоянная Планка.

$$r_{\lambda, T}^* = \frac{2 \cdot \pi \cdot h \cdot c^2}{\lambda^5} \cdot \frac{1}{e^{hc/\lambda kT} - 1}$$

или

$$r_{\nu, T}^* = \frac{2 \cdot \pi \cdot \nu^2}{c^2} \cdot \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$



Из формулы Планка следуют все частные законы теплового излучения:

а) при  $h\nu \ll kT$  – формула Рэлея – Джинса;

б) при  $h\nu \gg kT$  – формула Вина;

в)  $R^* = \int_0^{\infty} r_{\lambda, T}^* d\lambda$  Подставив формулу Планка, получим закон Стефана –

Больцмана, причем  $\delta = \frac{2 \cdot \pi^5 k^4}{15 \cdot c^2 h^3}$ .

Определив  $\delta$  экспериментально, нашли  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  Дж·с.



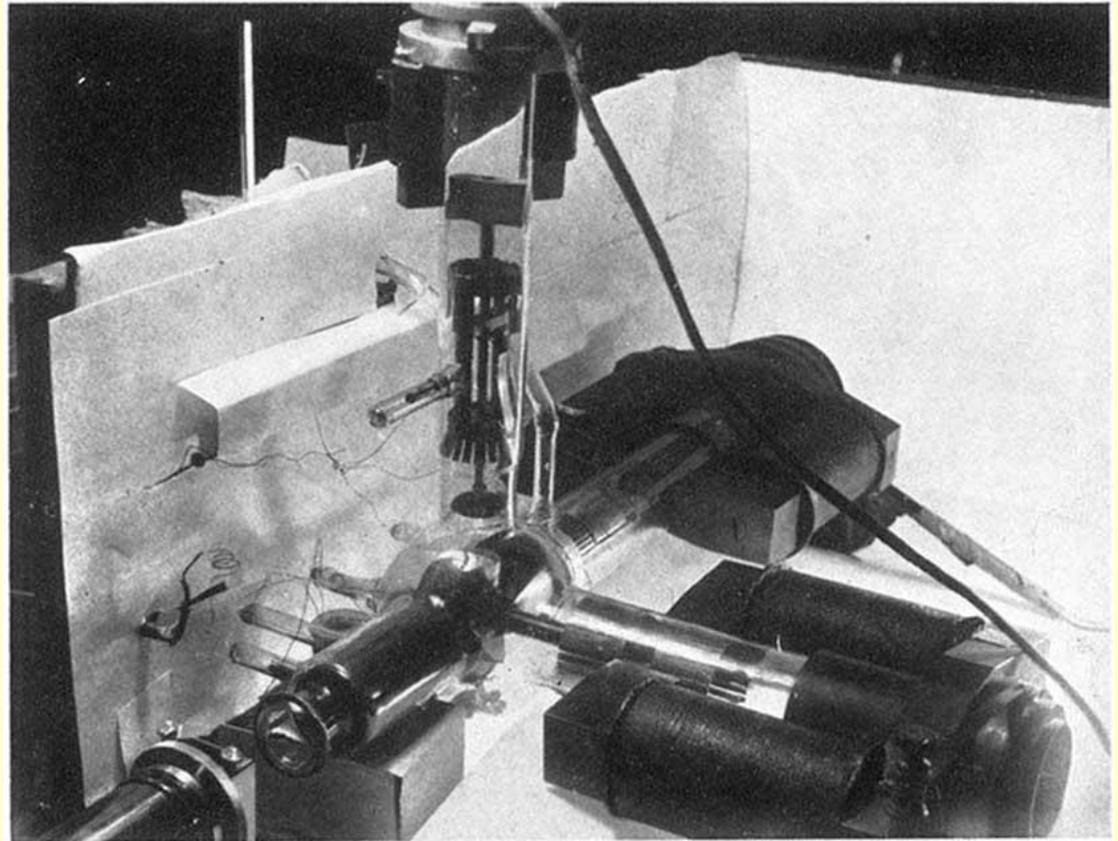
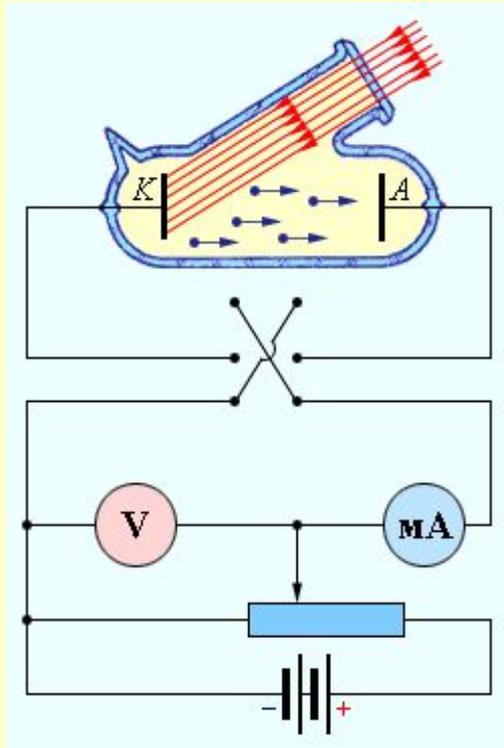
Г. Герц



## Внешний фотоэффект

Вырывание электронов из вещества под действием падающего света называется **внешним фотоэффектом**

### Экспериментальное изучение фотоэффекта

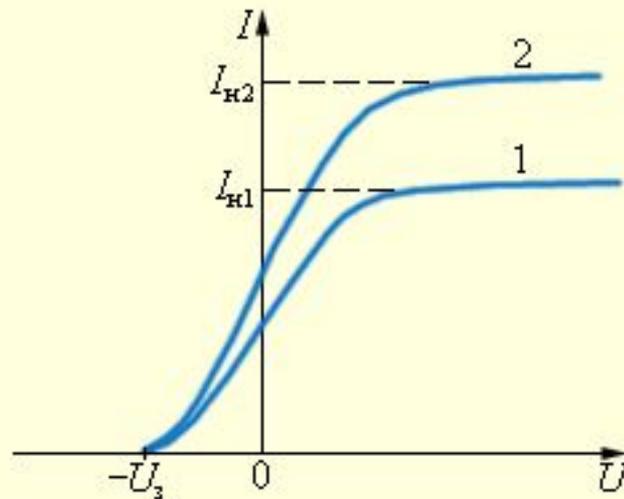


Фотография установки Р. Милликена (1916г.)

## Законы внешнего фотоэффекта



А.Г. Столетов

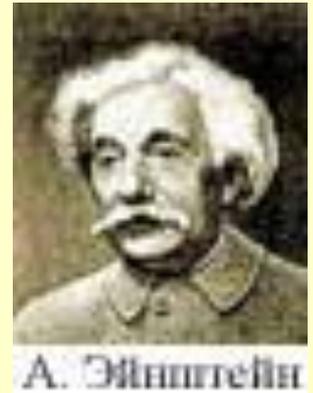


Вольтамперная характеристика вакуумного фотоэлемента.  
Кривая 2 соответствует большей интенсивности светового потока.

1. Фототок насыщения пропорционален световому потоку, падающему на металл  $I_n \sim \Phi$ , и не зависит от его спектрального состава
2. Кинетическая энергия фотоэлектронов пропорциональна частоте падающего света и не зависит от его интенсивности.
3. Фотоэффект не наблюдается, если частота падающего света  $\nu < \nu_0$ . Характерная для каждого вещества частота  $\nu_0$  называется **красной границей фотоэффекта**.
4. Фотоэффект безинерционен. С начала облучения металла светом до начала вылета фотоэлектронов проходит время  $t < 10^{-9}$  с.

# Квантовая теория фотоэффекта

Эйнштейн объяснил экспериментальные законы фотоэффекта на основе квантовых представлений о природе света.



$$h\nu = A_{\text{ВЫХ}} + mv_{\text{max}}^2/2$$

**Первый закон фотоэффекта**

**Второй закон фотоэффекта**

$$\left. \begin{array}{l} \Phi \sim h\nu \cdot n_{\phi} \\ n_{\varepsilon} \sim n_{\phi} \\ I \sim n_{\varepsilon} \end{array} \right\} \Rightarrow I_{\text{H}} \sim \Phi$$

$$\left. \begin{array}{l} mv^2/2 = h\nu - A_{\text{ВЫХ}} \\ A_{\text{ВЫХ}} = \text{const} \end{array} \right\} \Rightarrow mv^2/2 \sim h\nu$$

**Третий закон фотоэффекта**

$$\left. \begin{array}{l} mv^2/2 = 0 \\ h\nu_0 = A_{\text{ВЫХ}} \end{array} \right\} \Rightarrow \nu_0 = A_{\text{ВЫХ}}/h \quad \text{– красная граница фотоэффекта}$$

Электрон приобретает кинетическую энергию *не постепенно* (ускоряясь электрическим полем волны), а *сразу* – в результате единичного акта взаимодействия  $\Rightarrow$  **безинерционность** фотоэффекта.

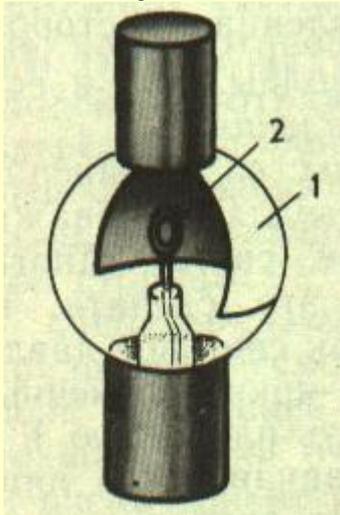
# Применение фотоэффекта

фотоэлектронные приборы

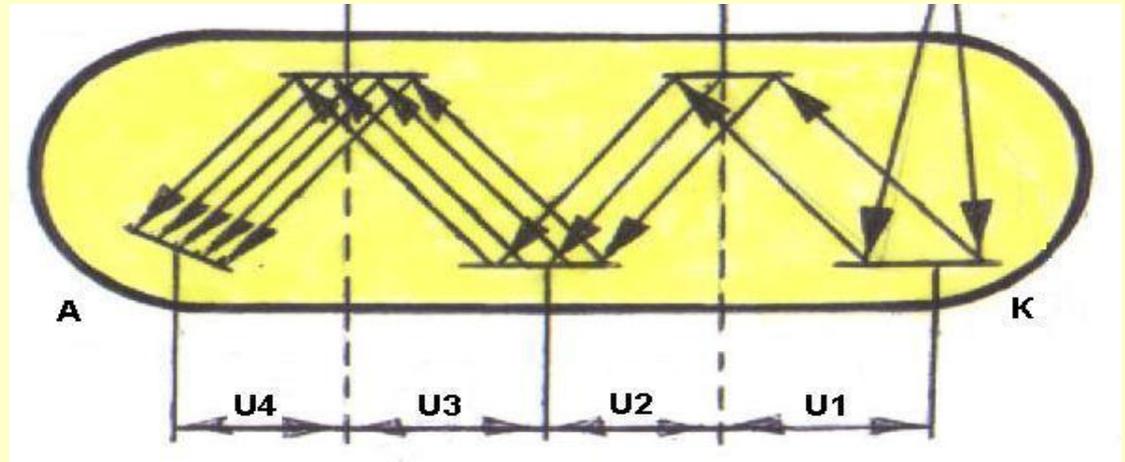
фотоэлементы

фотоумножители

Преобразование  
светового сигнала  
в электрический



Измерение очень малых  
световых потоков



В астрономии,  
спектроскопии и т.д.

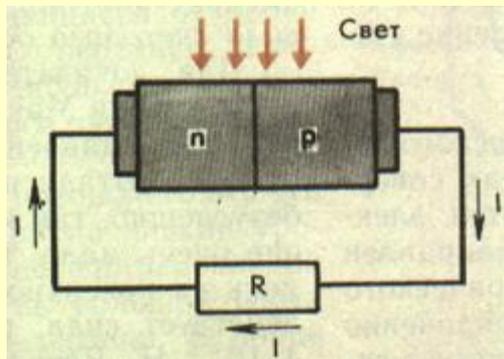
В метро, в фотометрии для измерения силы света, яркости, освещенности, в кино для воспроизведения звука, в фототелеграфах и фототелефонах, в управлении производственными процессами, на заводских прессах и т. д.

# Внутренний и вентильный фотоэффект

**Внутренний фотоэффект** — увеличение электропроводности полупроводников или диэлектриков под действием света (фотопроводимость) за счет образования пары неравновесных носителей тока (электрона и дырки) при поглощении фотона с энергией, превышающей ширину запрещенной зоны.

**Вентильный фотоэффект** — возбуждение светом электродвижущей силы на границе между металлом и полупроводником или между разнородными полупроводниками (на p-n-переходе).

## Применение



В фотоэкспонометрах, при автоматическом управлении электрическими цепями (например, в турникетах метро), в цепях переменного тока, в качестве невозобновляемых источников тока в часах, микрокалькуляторах, солнечных батареях, фотоконденсаторах и других приборах.

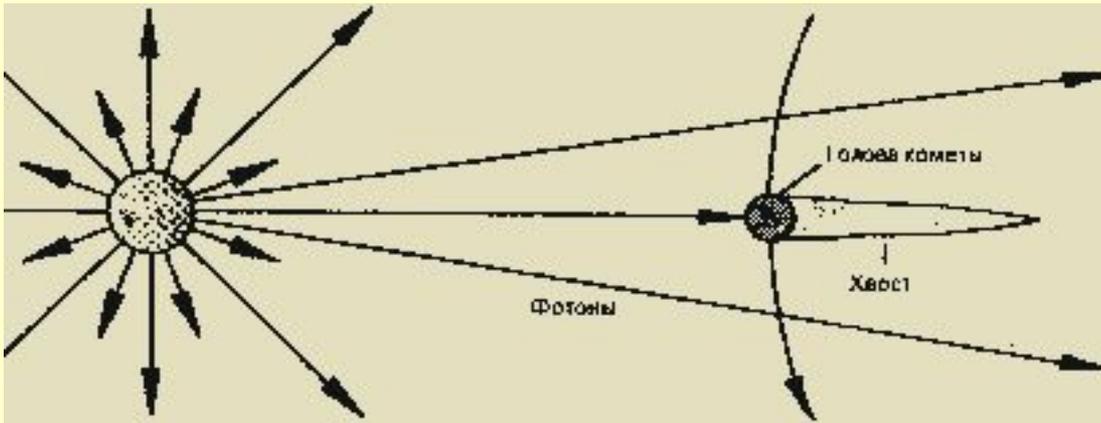
## Внутренний и вентиляционный фотоэффект



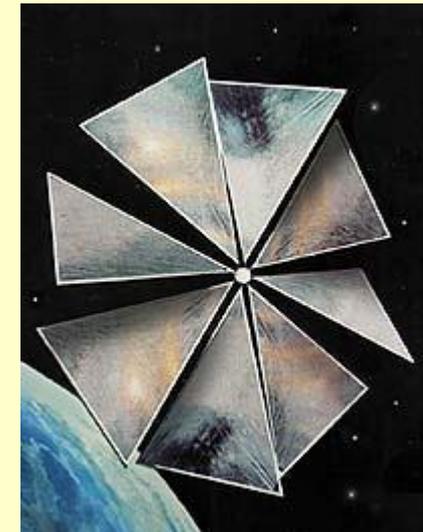
Солнечные батареи на Международной космической станции

# Давление света

Величину давления  $P$  можно рассчитать, предполагая, что фотон – частичка, испытывающая упругий удар, который сопровождается изменением импульса

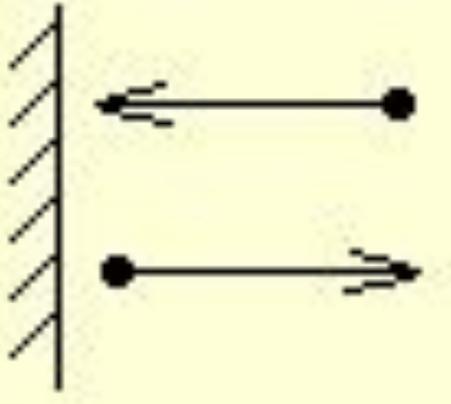


*Давление света направляет  
хвост кометы от Солнца*



*Солнечный парус*

# Давление света



$$P = \frac{E_{\text{э}}}{c} (1 + R)$$

$R$  – коэффициент отражения света;

$E_{\text{э}}$  – энергетическая освещенность  
поверхности

*Давление солнечного света на земную поверхность*

$$P = 10^{-6} - 10^{-5} \text{ Н/см}^2$$

# Давление света - опыт П.Н. Лебедева

(1899-1900 г.)

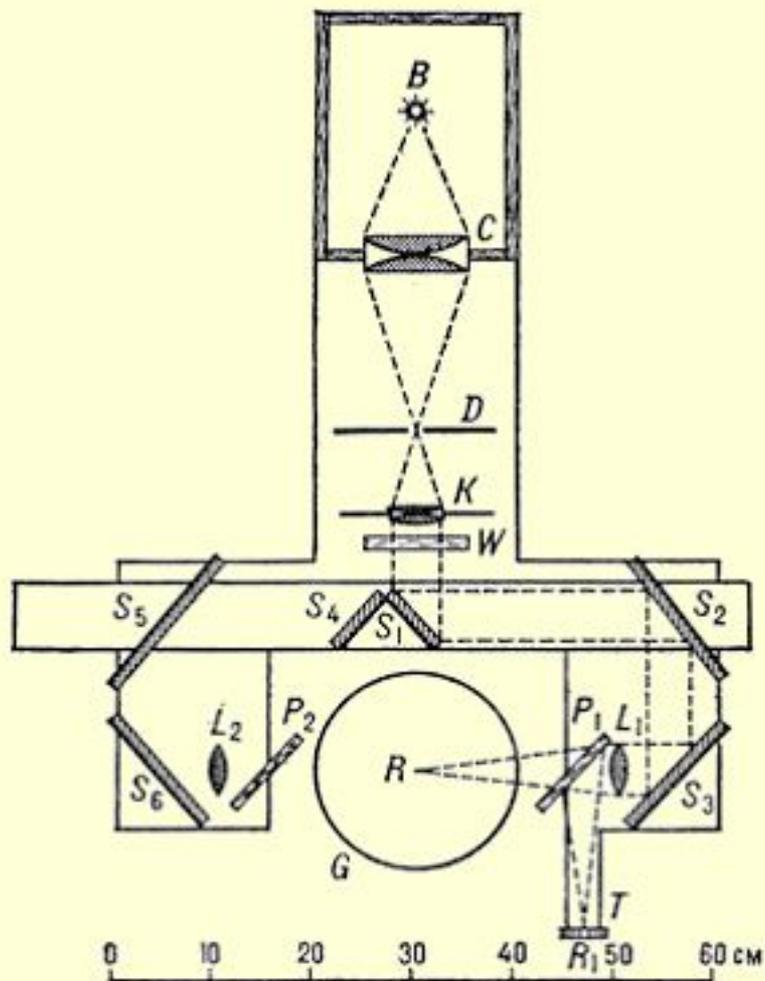
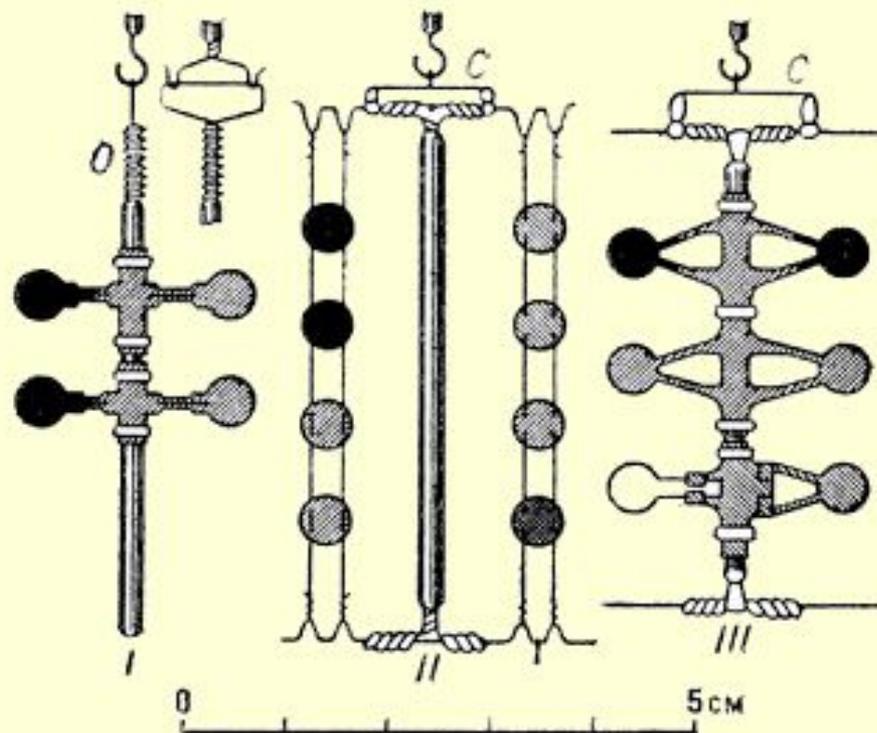


Схема опыта



Системы крылышек в опыте Лебедева

# Строение атома

Модель атома Томсона

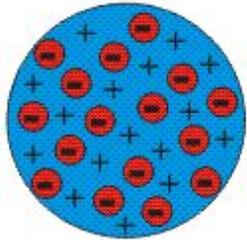


Схема опыта Резерфорда по рассеянию  $\alpha$  - частиц.

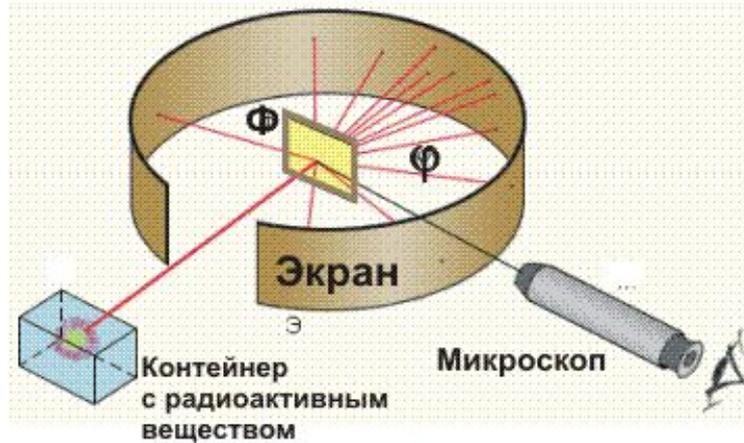
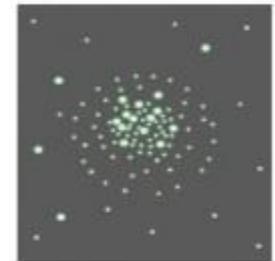


Рисунок с сайта [www.college.ru](http://www.college.ru)



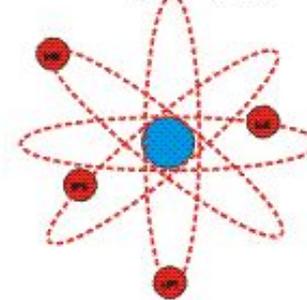
Фотографии люминесцирующего экрана при отсутствии золотой фольги в потоке  $\alpha$  - частиц и при ее внесении в поток



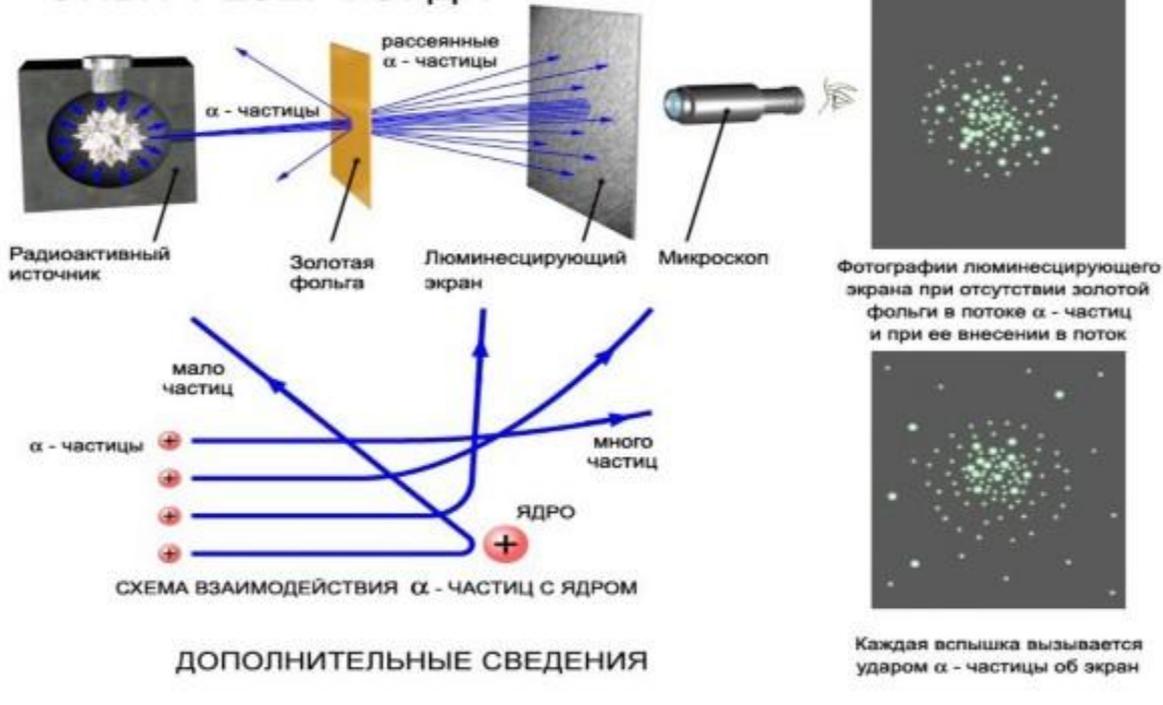
Каждая вспышка вызывается ударом  $\alpha$  - частицы об экран



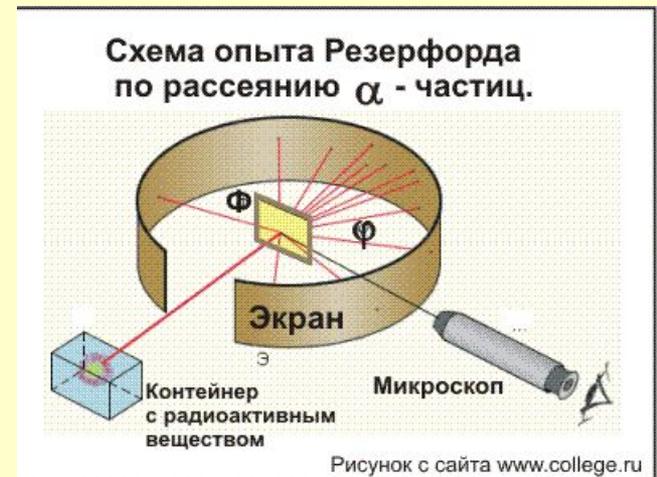
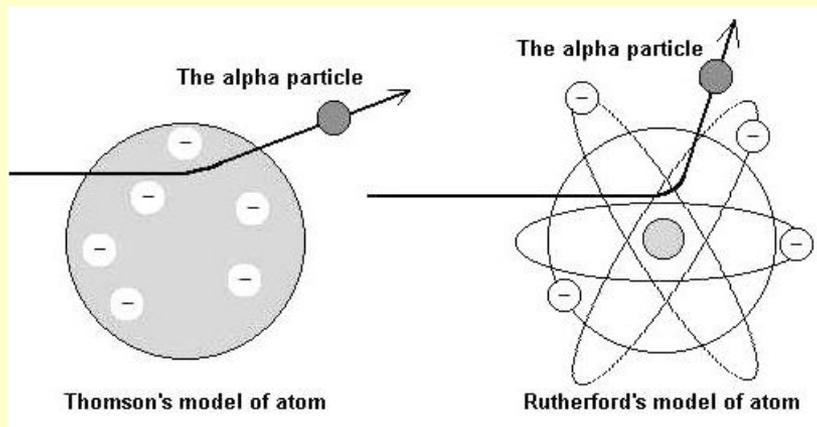
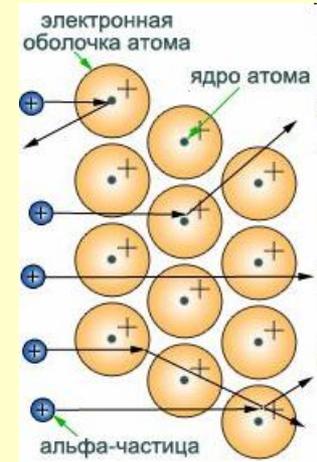
Модель атома Резерфорда

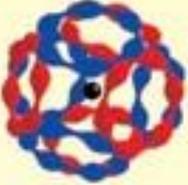


# ОПЫТ РЕЗЕРФОРДА



## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

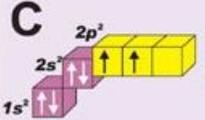


<p>Д. ТОМСОН 1895</p>  <p>Модель "Булка с изюмом"</p>	<p>Э. РЕЗЕРФОРД 1911</p>  <p>Ядерная модель</p>
<p>Н. БОР 1913</p>  <p>Планетарная модель</p>	<p>Л. ДЕ БРОЙЛЬ 1923</p>  <p>Волновая модель</p>
<p>Э. ШРЕДИНГЕР 1926</p>  <p>Квантово-механическая модель</p>	 <p>Орбитальная модель</p>
<p>К. СНЕЛЬСОН 1963</p>  <p>Кольцевая модель</p>	 <p>Волногранная модель</p>

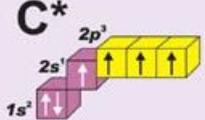
# 1 СТРОЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКИХ ВЕЩЕСТВ

## СТРОЕНИЕ АТОМА УГЛЕРОДА. ВИДЫ ГИБРИДИЗАЦИИ

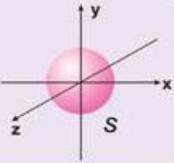
**C**



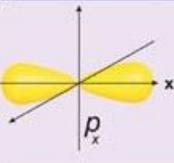

**C\***



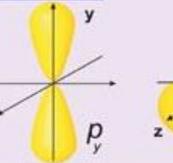

### ВИДЫ ЭЛЕКТРОННЫХ ОРБИТАЛЕЙ



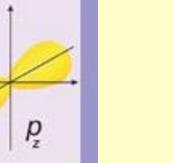
S



$p_x$

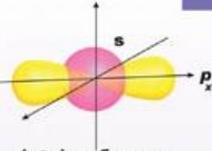
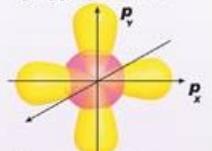
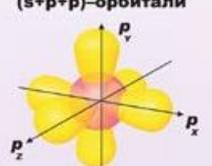
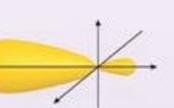


$p_y$

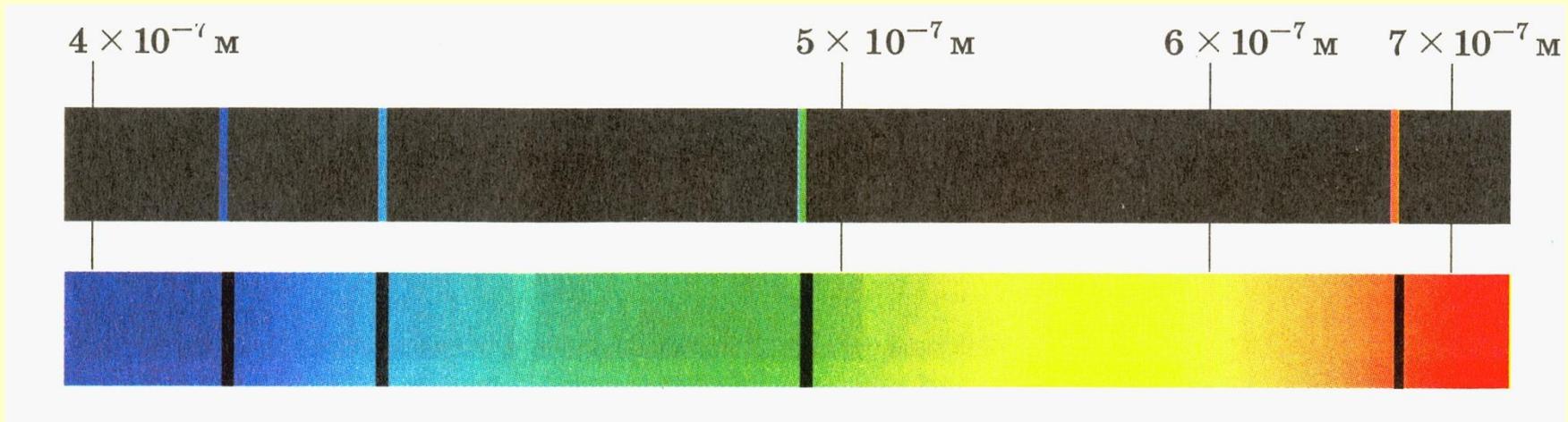


$p_z$

### ВИДЫ ГИБРИДИЗАЦИИ

 <p>(s+p)-орбитали</p>	 <p>sp-орбиталь</p>	 <p>две sp-орбитали</p>
 <p>(s+p+p)-орбитали</p>	 <p>sp²-орбиталь</p>	 <p>три sp²-орбитали</p>
 <p>(s+p+p+p)-орбитали</p>	 <p>sp³-орбиталь</p>	 <p>четыре sp³-орбитали</p>

# Линейчатый спектр атома водорода



$$\nu_{nm} = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

Для серии Бальмера  $m = 2$ ,  $n = 3, 4, 5, \dots$ .

Для ультрафиолетовой серии (серия Лаймана)  $m = 1$ ,  $n = 2, 3, 4, \dots$ .

$R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ Гц}$  – **постоянная Ридберга**.

# Постулаты Бора



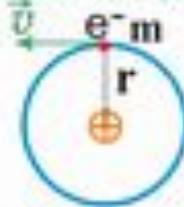
Классическая траектория электрона в атоме

## Первый постулат Бора



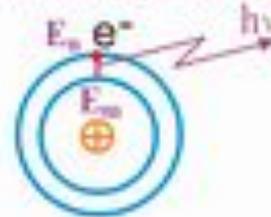
Атом может находиться не во всех состояниях, допустимых классической механикой, а только в некоторых избранных - стационарных состояниях, характеризуемых дискретными значениями энергии  $E_1, E_2, E_3, \dots$ . В этих состояниях атом не излучает

## Второй постулат Бора (правило квантования орбит)



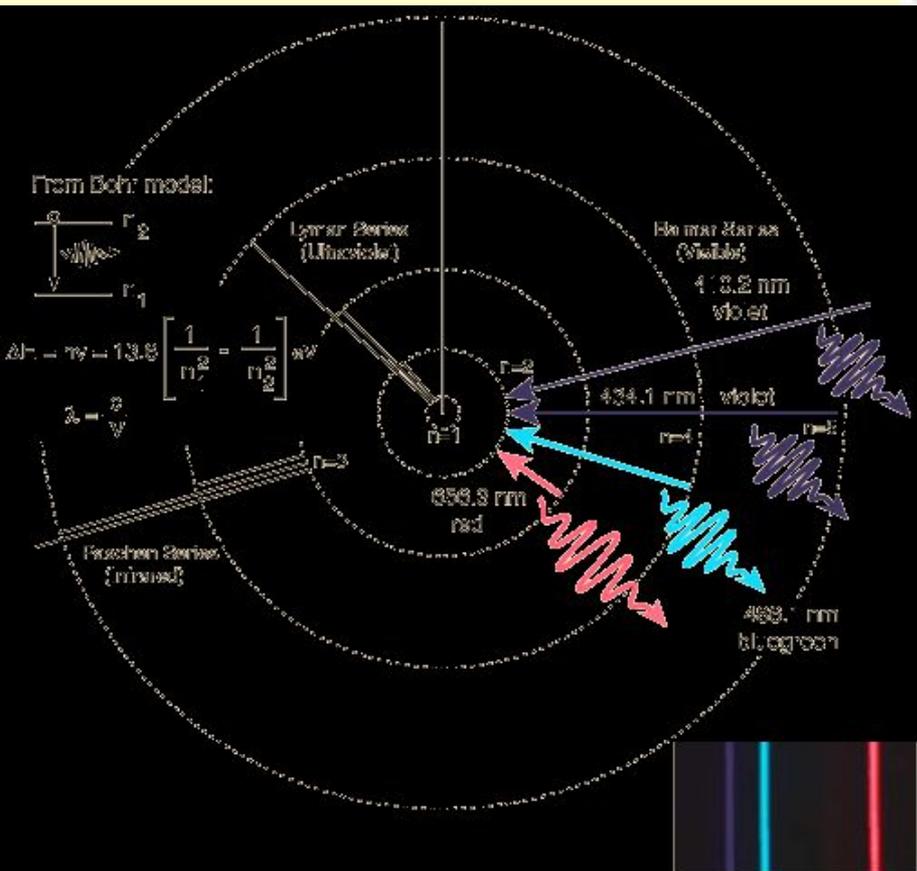
$$mvr = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

## Третий постулат Бора (правило частот)



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

$$E_n - E_m = h\nu$$

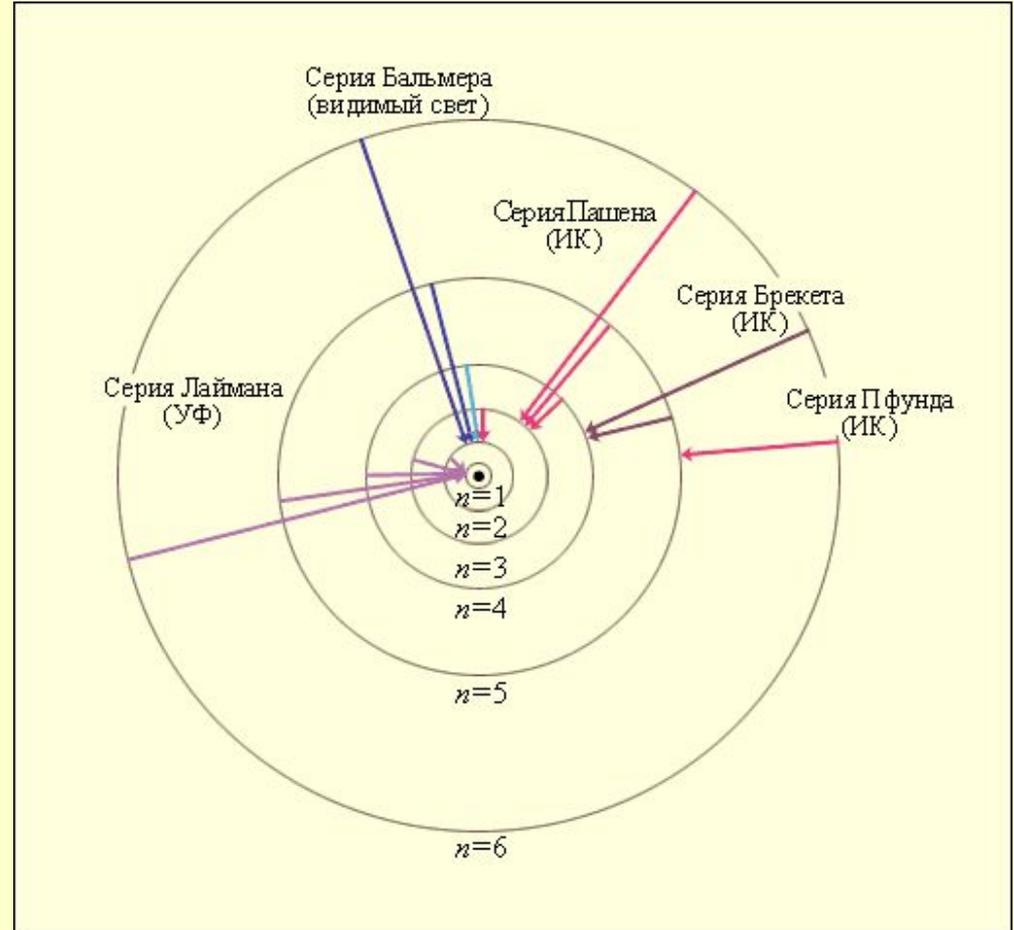


# Атом водорода по Бору

$$r_n = \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} n^2.$$

$$r_1 = a_0 = \frac{\varepsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

$$E_n = - \frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}.$$



$$\nu_{nm} = \frac{\Delta E_{nm}}{h} = \frac{m_e e^4}{8 \varepsilon_0^2 \hbar^3} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right).$$

# Линейчатый спектр атома водорода

## Схема уровней энергии водородного атома



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

$$\omega = R_\omega \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

( $n > m$ )

Постоянная Ридберга

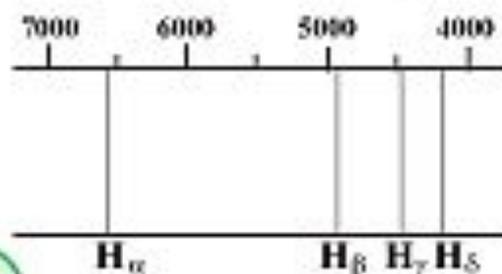
$$R_\omega = \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \cdot \frac{m_e \cdot Z^2 e^4}{2\hbar^2} = 2,07 \cdot 10^{16} \text{ c}^{-1}$$

## Формула Бальмера-Ритца

$$\frac{1}{\lambda} = R_\lambda \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$R_\lambda = 1,097 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$  постоянная Ридберга

## Линии серии Бальмера



- $m = 1$ , серия Лаймана
- $m = 2$ , серия Бальмера
- $m = 3$ , серия Пашена
- $m = 4$ , серия Бржкета
- и т.д.

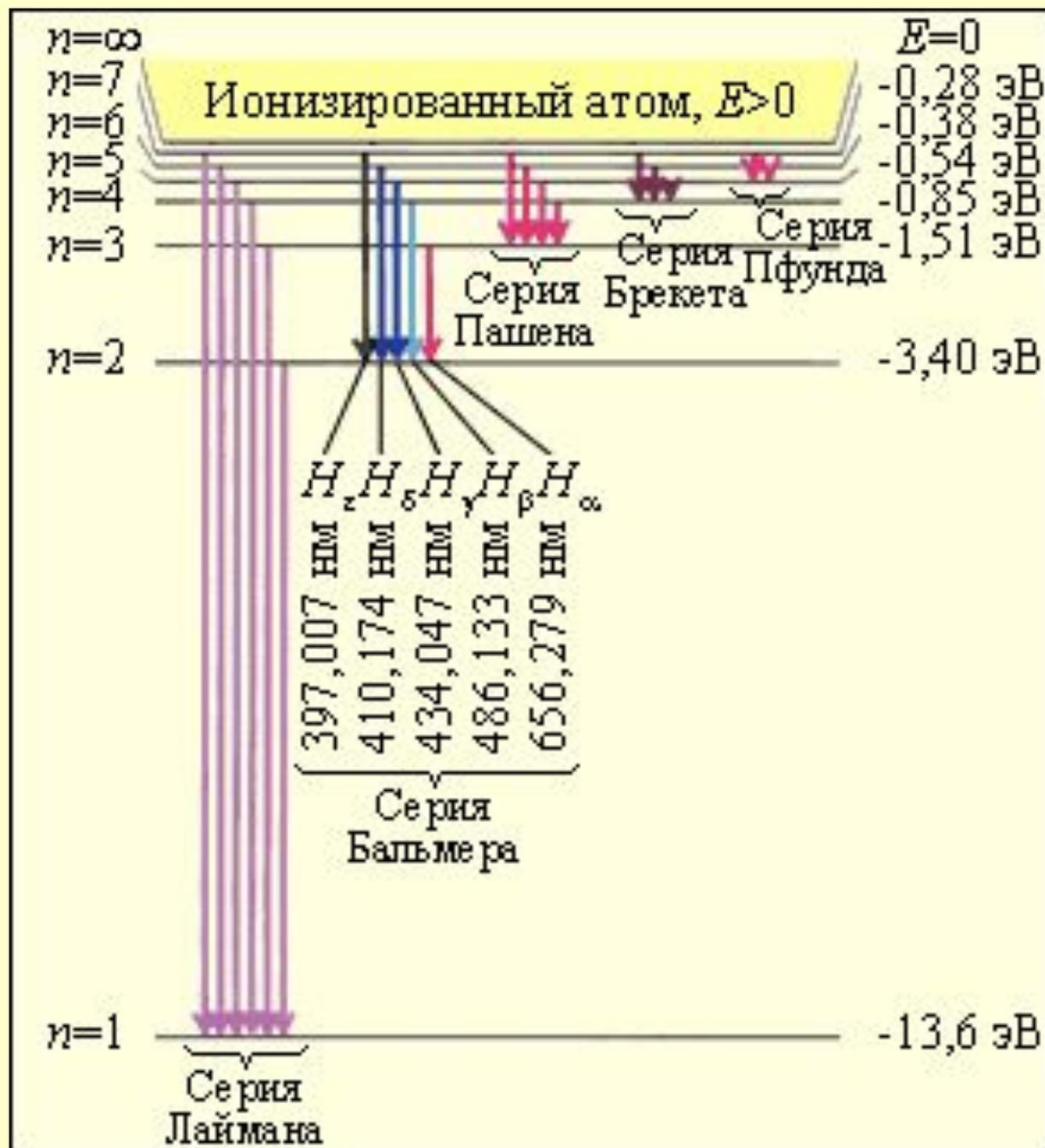
$$(n = m + 1, m + 2, \dots)$$

$$r_n = \frac{\epsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} n^2$$

$$r_1 = a_0 = \frac{\epsilon_0 \hbar^2}{\pi m_e e^2} = 5,29 \cdot 10^{-11} \text{ м.}$$

$$E_n = - \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

$$\nu_{nm} = \frac{\Delta E_{nm}}{h} = \frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 \hbar^3} \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

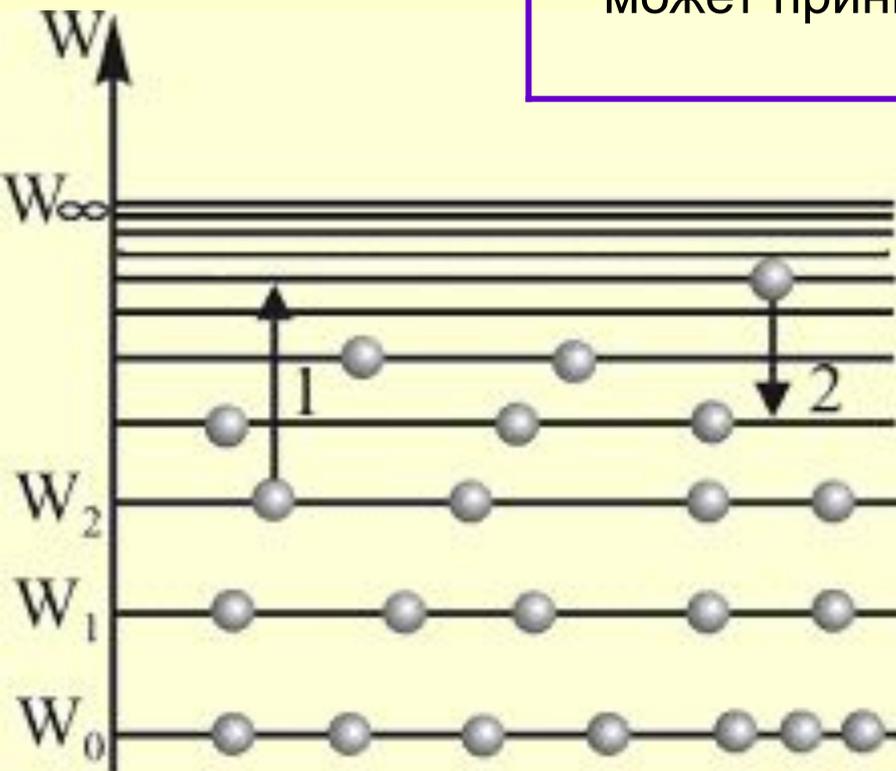


# Физика лазерного излучения

**Лазеры** или **оптические квантовые генераторы** – это современные когерентные источники излучения, обладающие целым рядом уникальных свойств.

Внутренняя энергия атома  
может принимать только определённые значения:

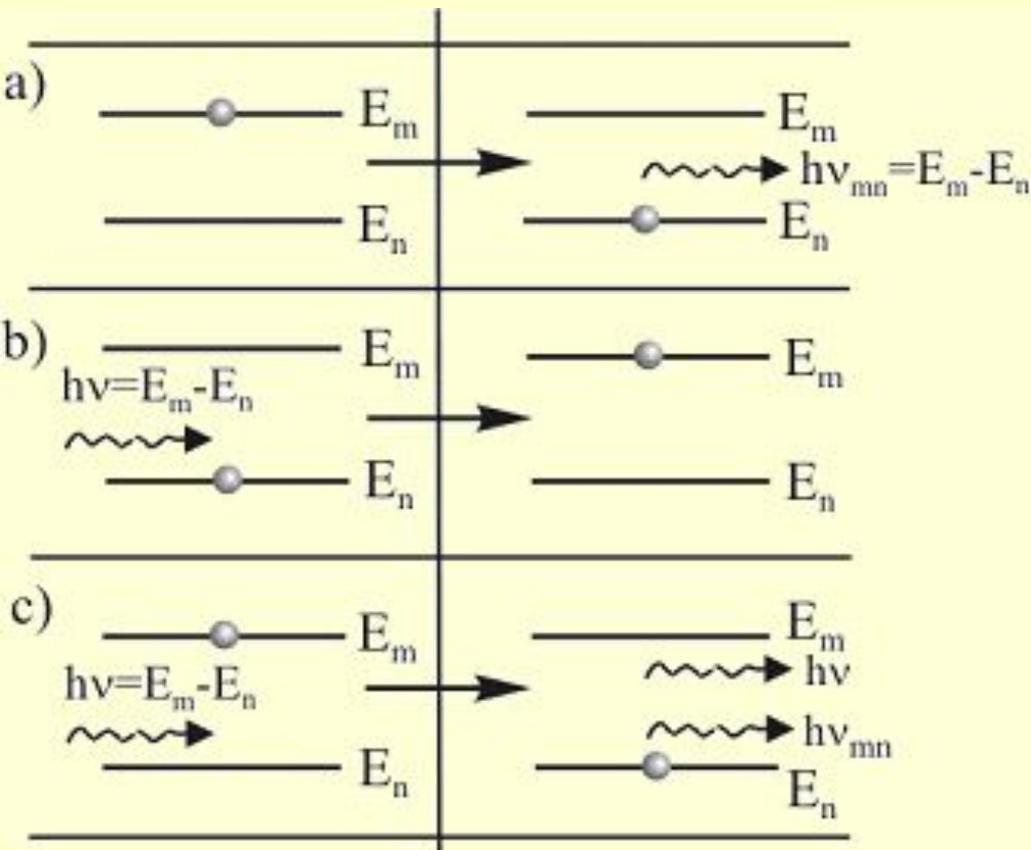
$$W_0, W_1, W_2, \dots$$



$$h\nu_{mn} = W_m - W_n$$

- порция (квант) атомной энергии

# Квантовые процессы при взаимодействии излучения с веществом



-спонтанное излучение

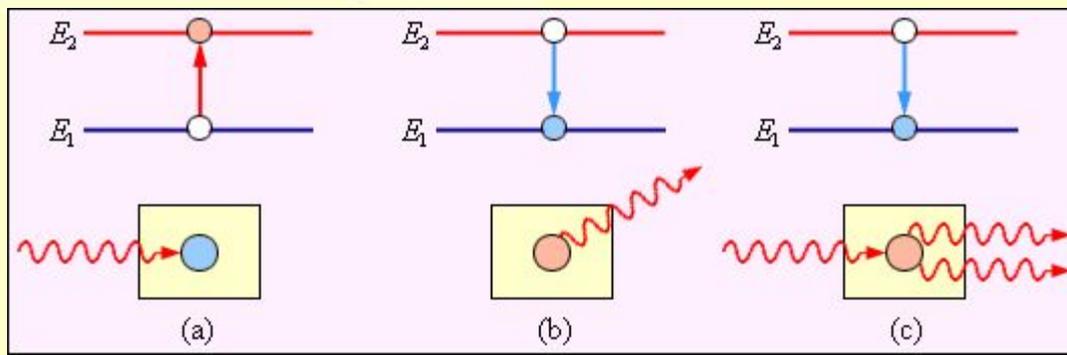
$$W_{\text{изл}} \sim N_n I$$

-поглощение излучения

$$W_{\text{пог}} \sim N_n I.$$

-вынужденное излучение

$$W_{\text{изл}} \sim N_m^2 I.$$





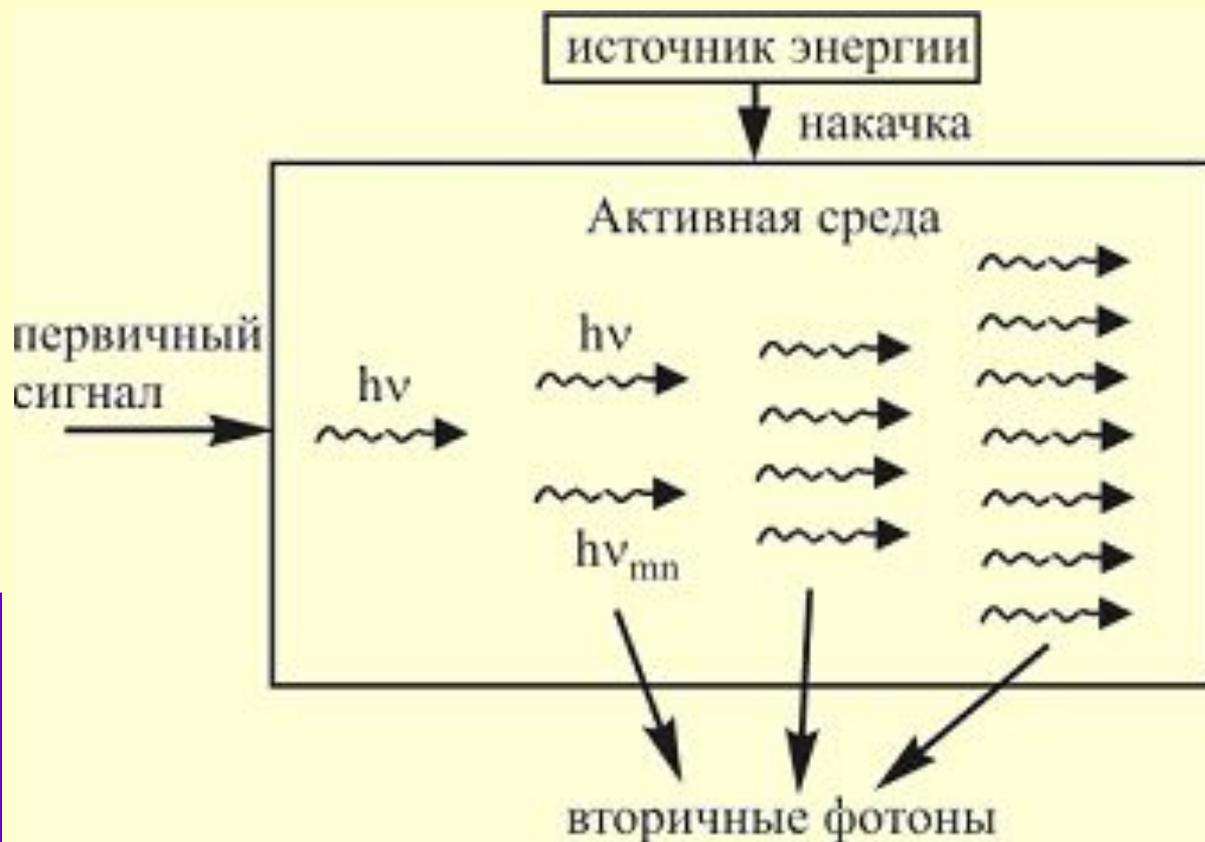
Вещество, в котором создана инверсия уровней, называется *активным*



Способы создания инверсии населённостей:

- освещение светом
- пропускание электрического тока
- химические реакции и т.д.

Процесс, приводящий к инверсии атомных уровней, называется **накачкой**



# Схема ОКГ



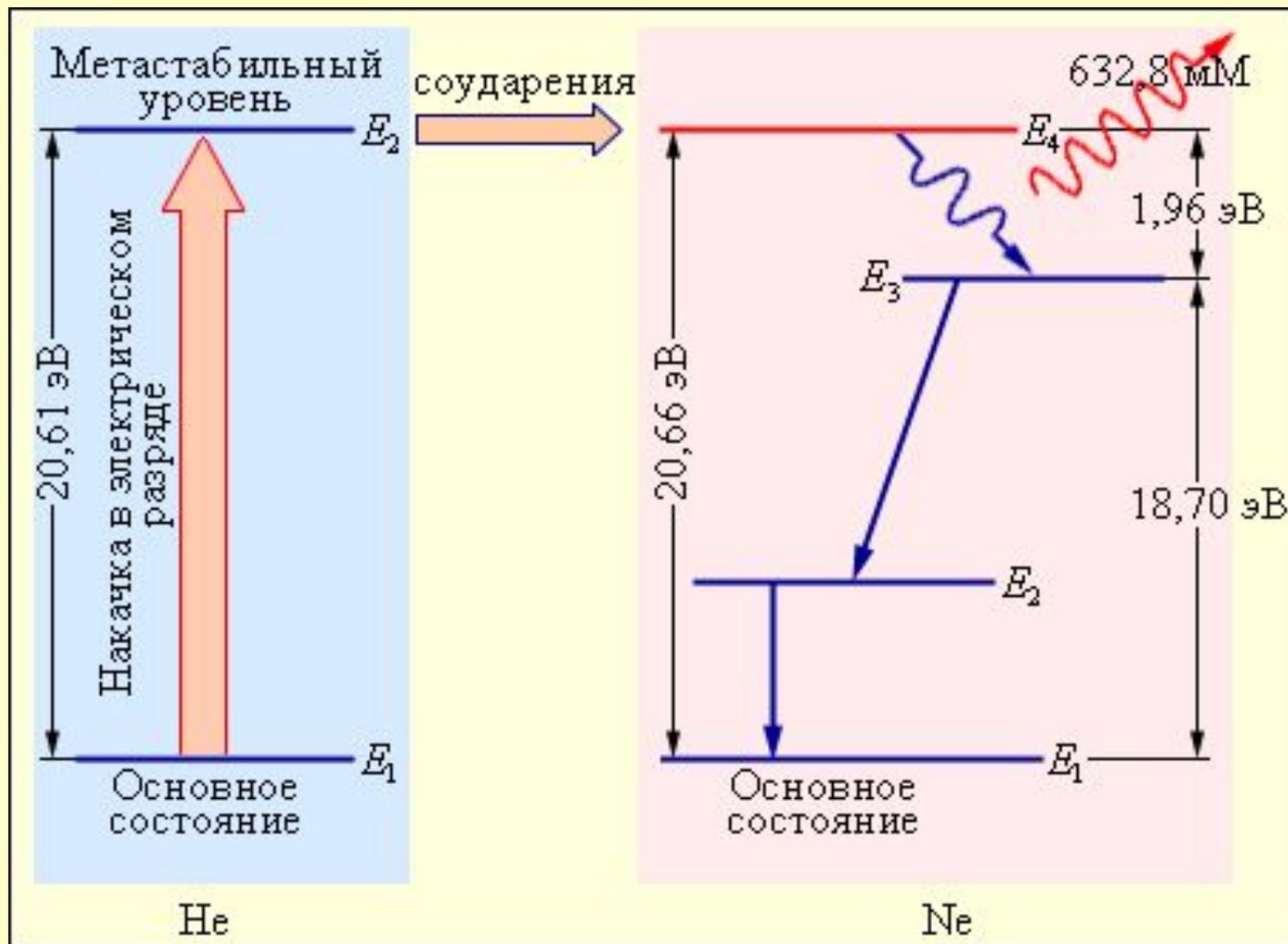
**Принцип положительной обратной связи:** сигнал, пройдя активную среду, обратно возвращается в неё

Система зеркал называется **резонатором**

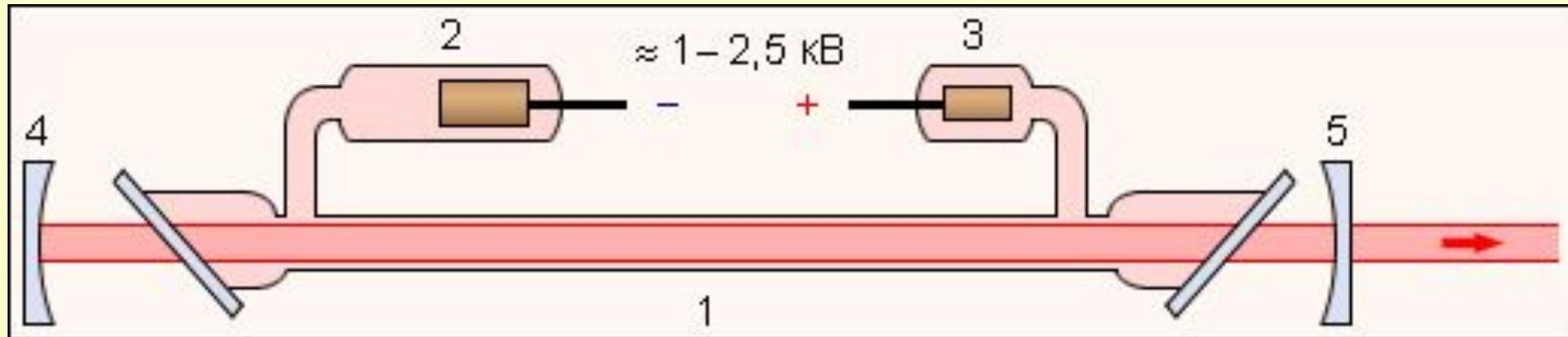


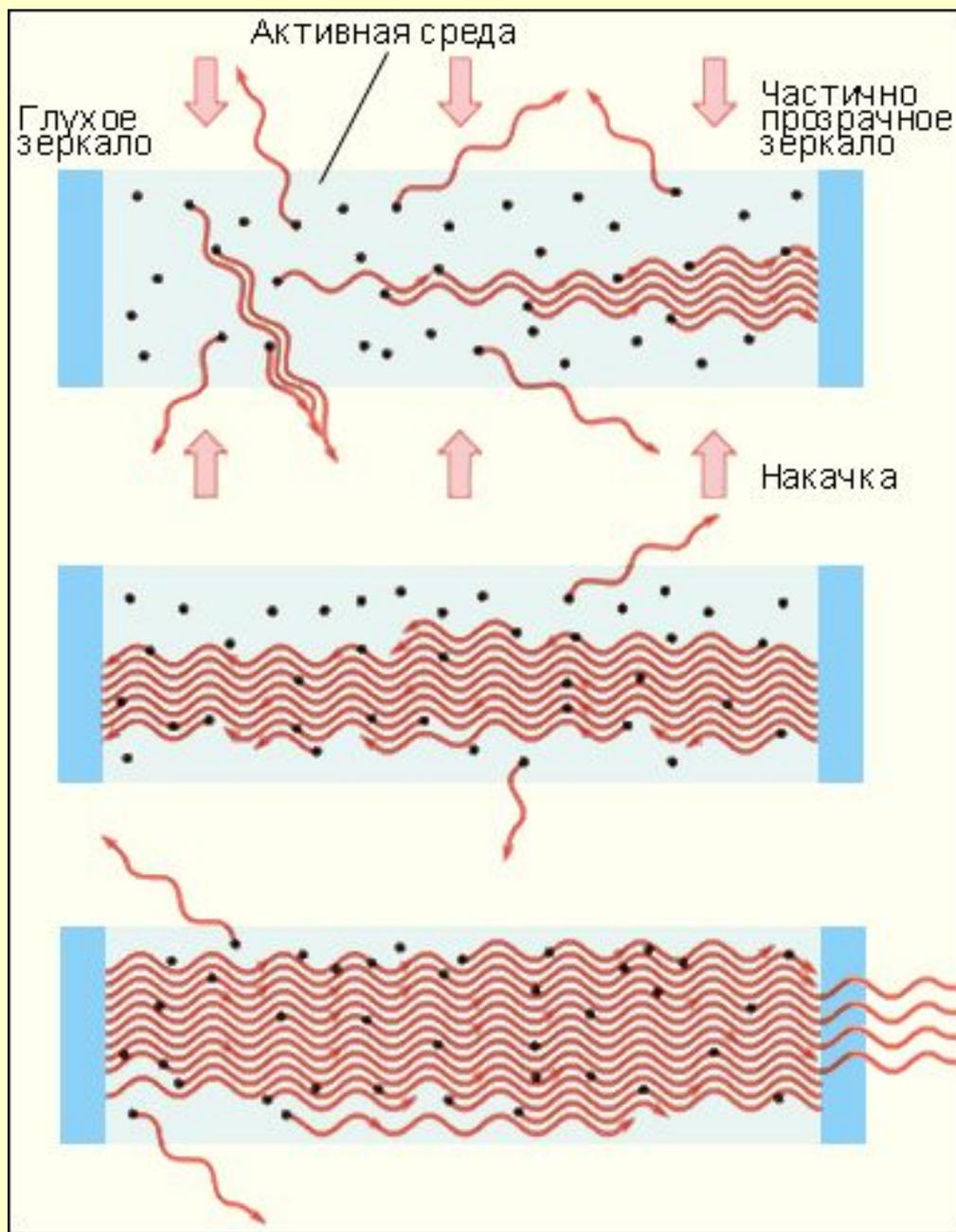
**Условие баланса фаз:**  $2L = m\lambda$ ,  
где  $L$  - расстояние между зеркалами,  $m = 1, 2, 3, \dots$

# Механизм накачки He-Ne лазера



# Схема гелий-неонового лазера

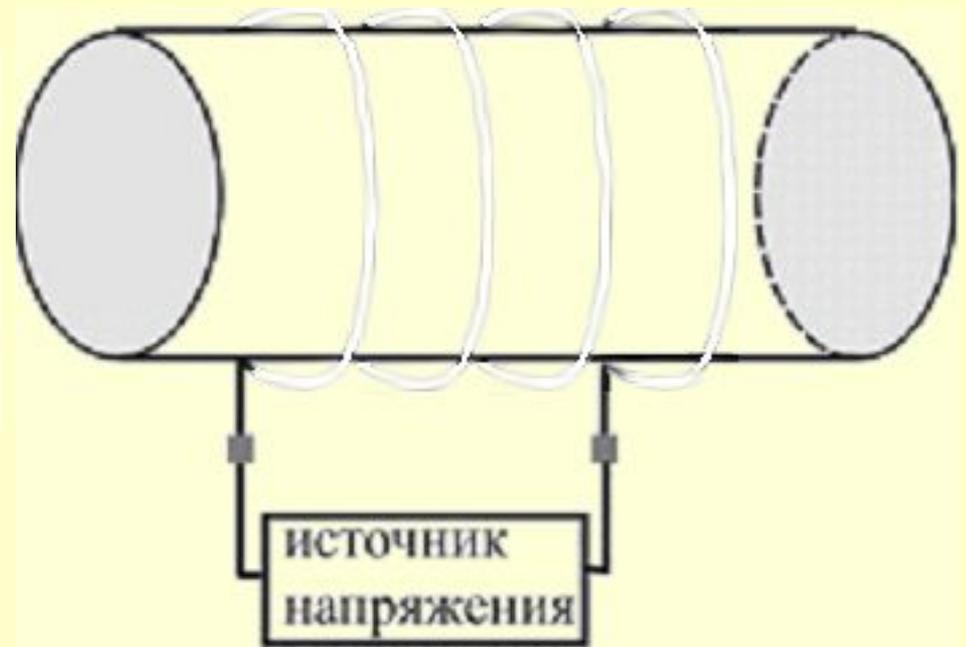
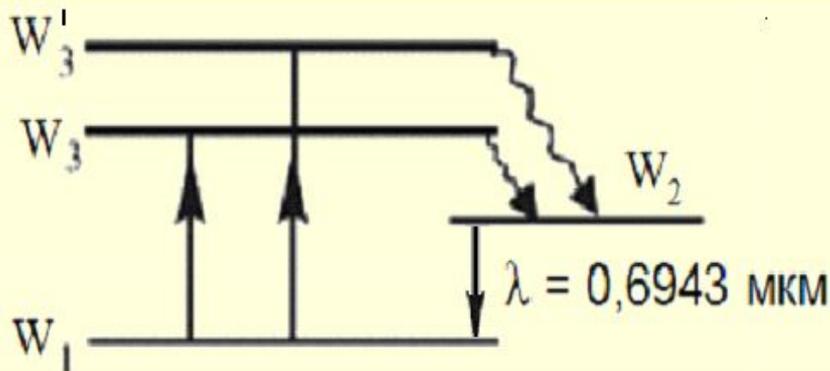




# Устройство твёрдотельного рубинового лазера



Активная среда – кристалл рубина ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), в некоторых узлах решётки которого алюминий замещён ионом хрома ( $\text{Cr}^{3+}$ ).  
Время жизни энергетических уровней  $W_2$  ионов  $\text{Cr}$ :  $\tau \sim 10^{-3}\text{с}$ .  
Возбуждённые уровни с большим временем жизни называются *метастабильными*. На этих уровнях создаётся *инверсия населённостей* ( $N_2 > N_1$ ).



Мощность рубинового лазера достигает  $10^7$  Вт

# Свойства лазерного излучения:



- ✓ Большая мощность
- ✓ Когерентность
- ✓ Направленность
- ✓ Высокая степень монохроматичности
- ✓ Поляризованность

# Люминесценция



Люминесценцией называется излучение, избыточное по отношению к равновесному тепловому излучению, обладающее длительностью, превышающей период светового колебания ( $\tau \gg T$ ).

## Виды люминесценции по типу первичного энергетического воздействия

- **электролюминесценция** – излучение света под действием электрического поля;
- **фотолюминесценция** – поглощение фотонов света с одной частотой, а излучение с другой;
- **катодолюминесценция** – процесс преобразования электрического луча в энергию видимого света;
- **рентгенолюминесценция** – излучения света под действием рентгеновских лучей;
- **триболюминесценция** – излучения света под действием механических воздействий

# Фотолюминесценция

*Длительность свечения  $\tau$  – время, в течение которого тело высвечивает энергию возбуждения.*

## Виды фотолюминесценции

### **Флюоресценция**

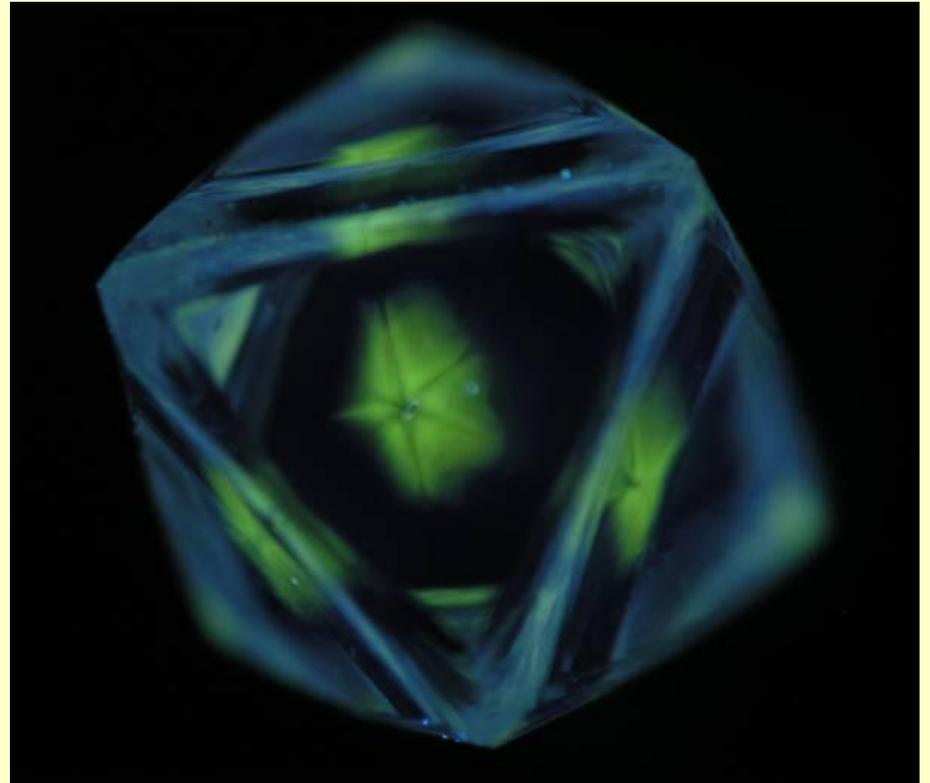
в газах и жидкостях

$$\tau \approx 10^{-9} - 10^{-4} \text{ с.}$$

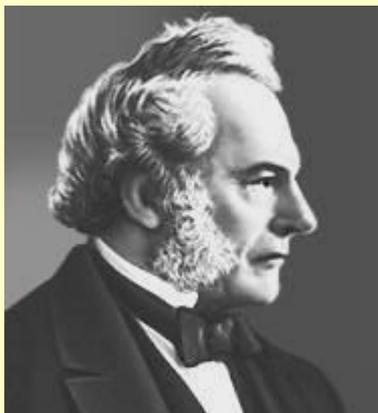
### **Фосфоресценция**

в твердых телах

$$\tau \approx 1 - 10^6 \text{ с.}$$



*Фотолюминесценция алмаза*



## Спектр фотолюминесценции

Наряду с линией  $\nu = \nu_0$  в спектре люминесценции будут и линии других частот с  $\nu < \nu_0$  - *правило Стокса*.

Стокс(Stokes) Джордж  
Габриель (1819 -1903)

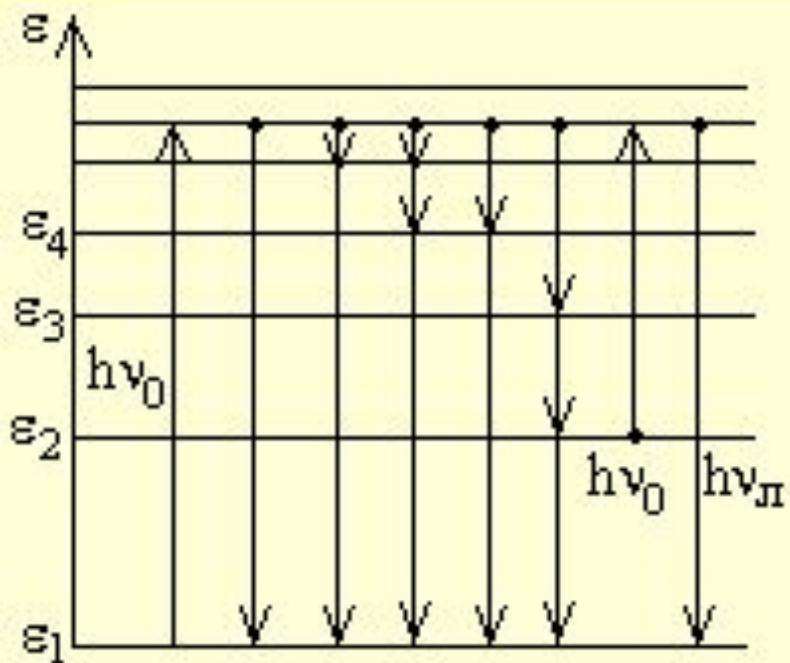


Диаграмма переходов



# Применение люминесценции



- Преобразование невидимого излучения (ультрафиолетового, рентгеновского) в видимое.
- Пересадка излучения на более удобную частоту (в люминесцентных лампах).
- Люминесцентный анализ для обнаружения малых концентраций различных веществ по характерному для них спектру и интенсивности люминесценции (в геологоразведке, криминалистике и т.д.). Минимальная обнаруживаемая концентрация:  $C_{\min} = 10^{-9}$  г/см<sup>3</sup>; масса -  $\Delta m = 10^{-10}$  г.
- В счетчиках элементарных частиц.

# Применение люминесценции



**Лампа Вуда САФФИР** для  
проведения  
люминесцентного анализа  
при диагностике грибковых  
поражений зерна



**Люминометр** для всех видов  
люминесцентного анализа

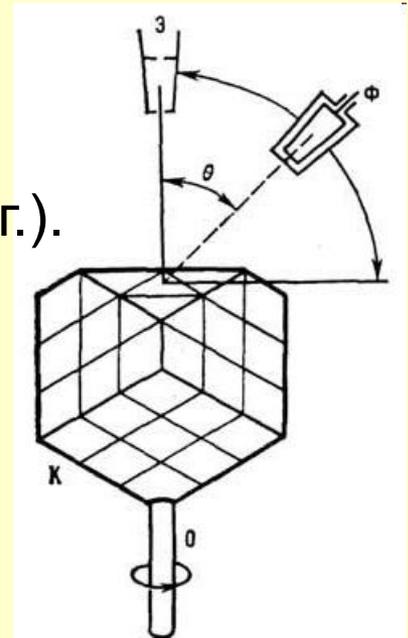
**Люминесцентный  
светильник**



# Волновые свойства частиц

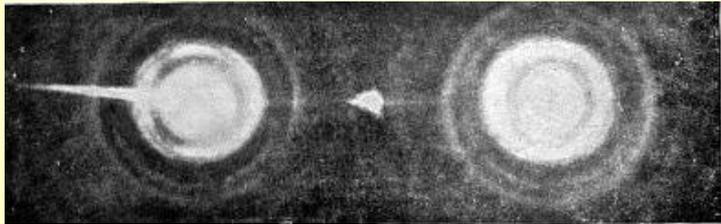
1924 г. • Корпускулярно-волновой дуализм универсален.

Опыт Джермера и Дэвиссона (1927 г.).  
Рассеяние электронов кристаллом.

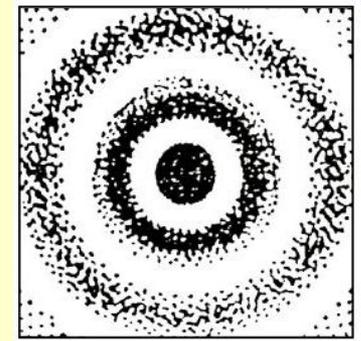
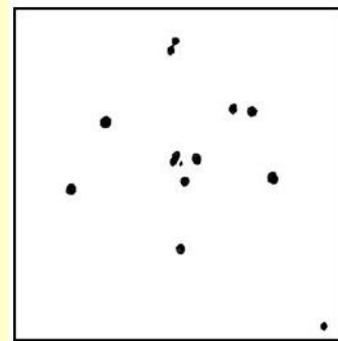


**Луи де Бройль**

1892 – 1987 гг.



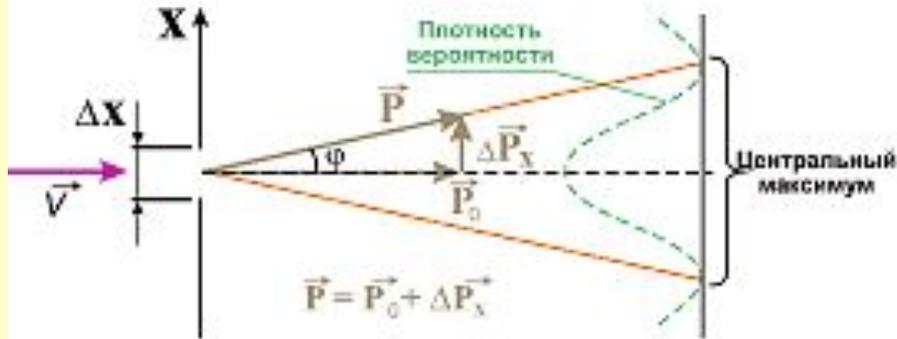
результаты дифракционных опытов с электронами на поликристаллической фольге



Распределение дифрагировавших электронов по фотопластинке : 1) при небольшой длительности эксперимента;  
2) в случае длительного эксперимента,

# Соотношение неопределенностей

Открыто В. Гейзенбергом в 1927 г. Данное соотношение обусловлено корпускулярно-волновым дуализмом



## Опыт по дифракции частицы на щели

При прохождении частицы через щель появляется неопределенность в координате  $\Delta x$  и, соответственно, неопределенность в импульсе  $\Delta p_x$

$$\begin{cases} \Delta x \Delta p_x \geq \hbar \\ \Delta y \Delta p_y \geq \hbar \\ \Delta z \Delta p_z \geq \hbar \end{cases}$$

Точность измерения энергии:

$$\Delta t \Delta E \geq \hbar$$

где  $\Delta t$  - длительность измерения энергии,  
 $\Delta E$  - неопределенность энергии



Вернер Гейзенберг  
(1901–1976)

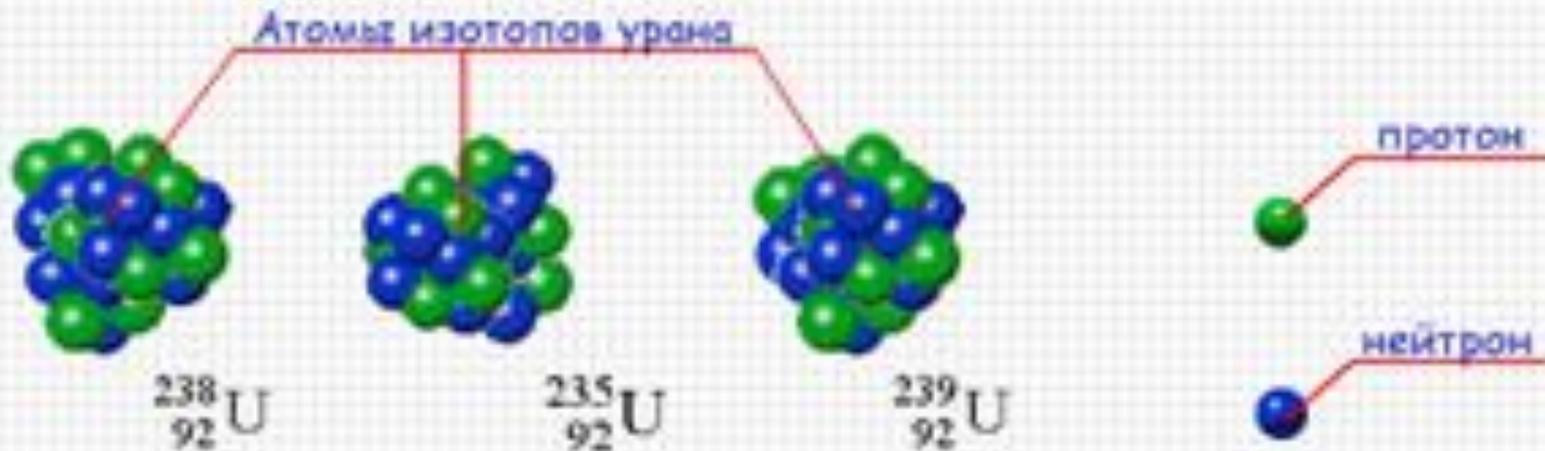


Рудольф Шрёдингер  
1887-1961

# Элементы ядерной физики.

## Строение ядра

### Состав атомного ядра. Изотопы.

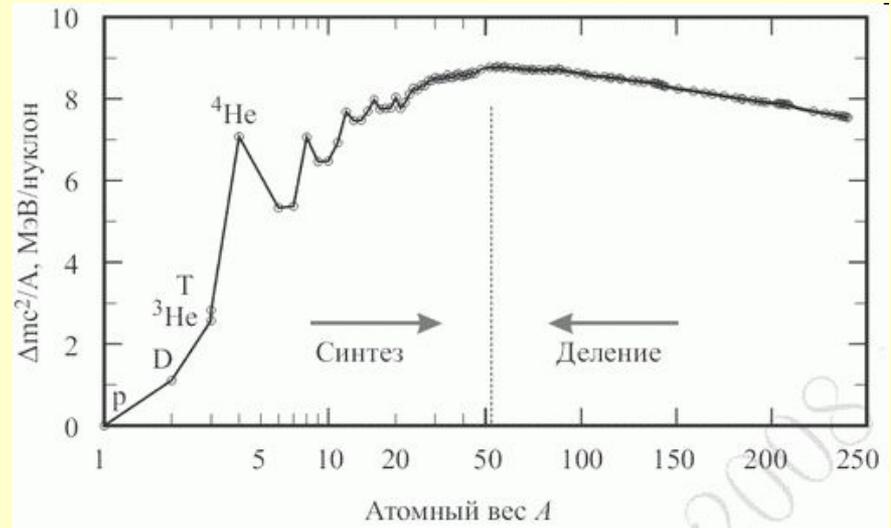
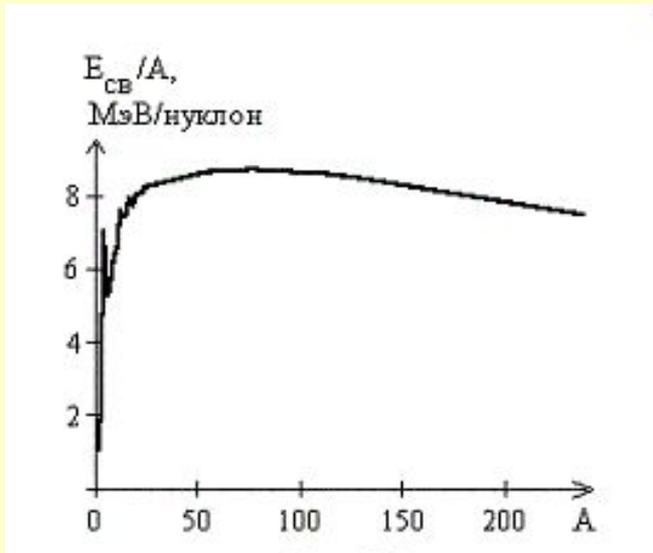


### Атомы изотопов водорода



# Дефект масс.

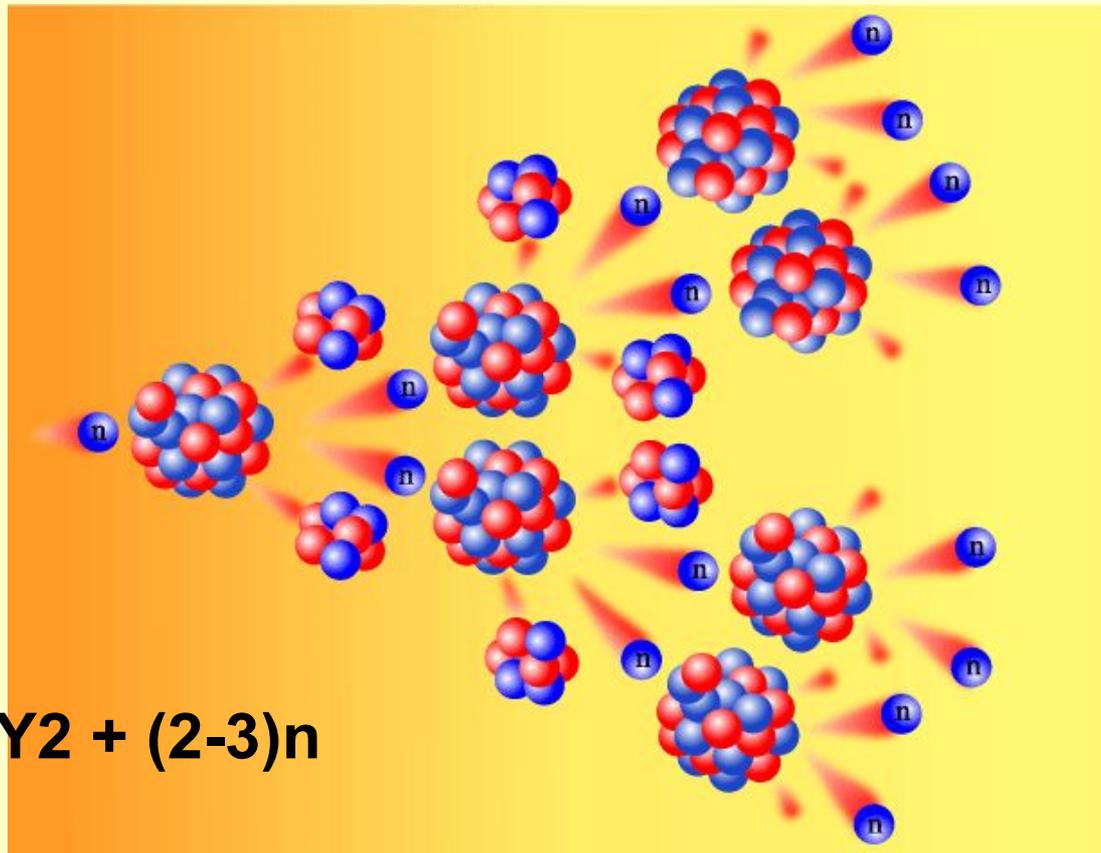
## Энергия связи атомных ядер



- Реакция деления тяжелых ядер
- Реакция синтеза легких ядер

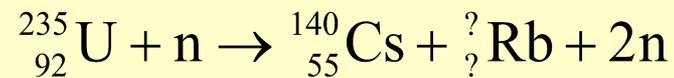
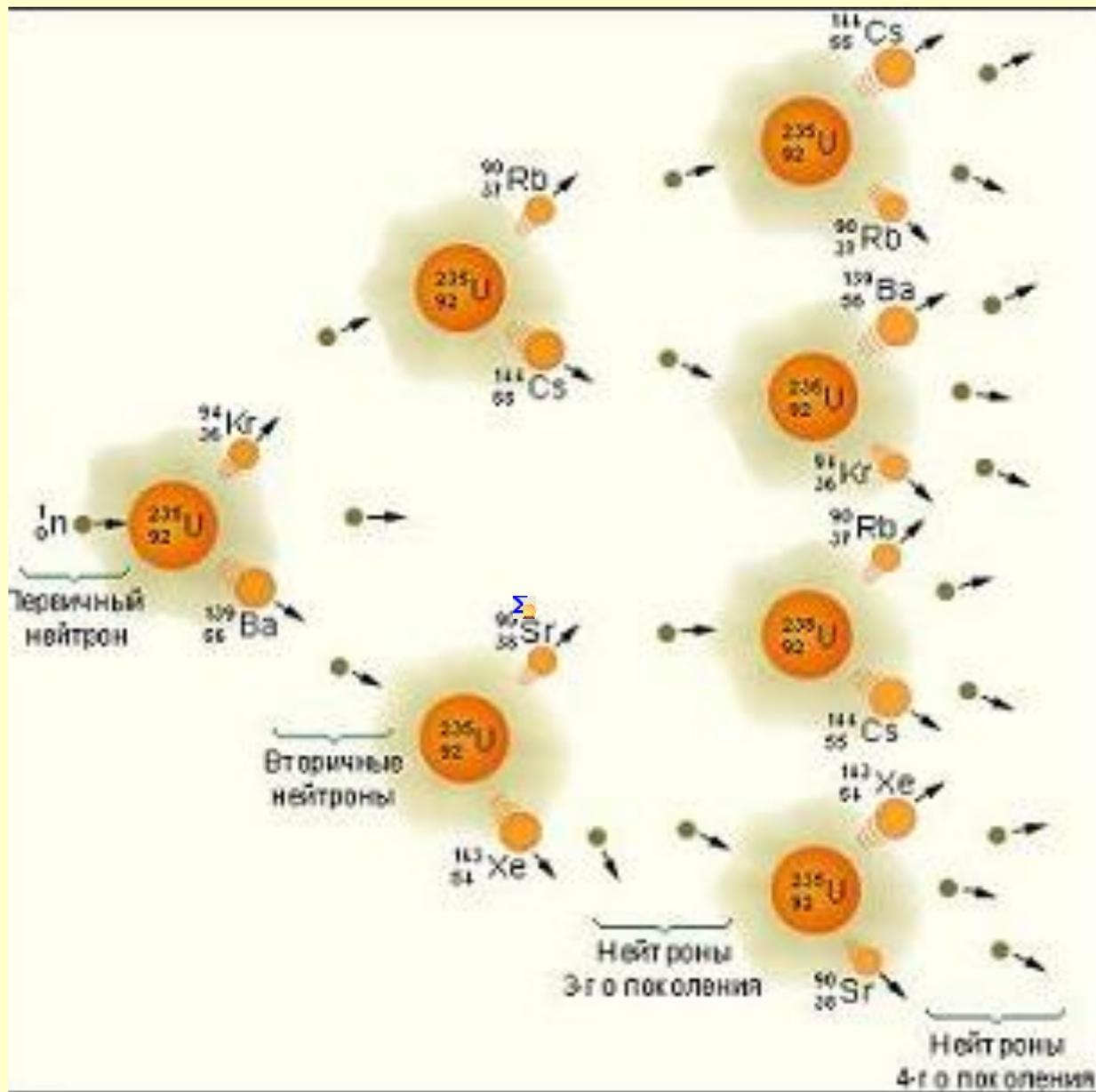
Ядерные реакции.  
Реакции на нейтронах.

# Цепная ядерная реакция



- **Критическая масса** — минимальное количество делящегося вещества — минимальное количество делящегося вещества, необходимое для начала самоподдерживающейся цепной реакции деления.

- **Критическая масса** — минимальное количество делящегося вещества — минимальное количество делящегося вещества, необходимое для начала самоподдерживающейся цепной реакции деления — минимальное количество делящегося вещества, необходимое для начала самоподдерживающейся цепной реакции деления. Коэффициент размножения нейтронов в таком количестве вещества равен единице. Размеры, соответствующие критической массе, также называют критическими.
- Величина критической массы зависит от свойств вещества (таких, как сечения Величина критической массы зависит от свойств вещества (таких, как сечения деления и радиационного захвата Величина критической массы зависит от свойств вещества (таких как сечения деления и радиационного



# Краткая информация об изотопах урана

Изотоп	Содержание в природном уране (в %)	Процент радиоактивности в природном уране	Период полураспада
Уран-238 (U-238)	99,284	47,9	4,46 миллиарда лет
Уран-235 (U-235)	0,711	2,3	704 миллиона лет
Уран-234 (U-234)	0,005	49,8	245 000 лет

U235 - это единственное расщепляющееся вещество, встречающееся в природе в значительном количестве.

U238 - не поддается расщеплению. Однако уран-238 можно разделить с помощью нейтронов с высокой энергией, высвобождая большие объемы энергии, и поэтому его нередко используют для увеличения взрывной силы термоядерных или водородных бомб.

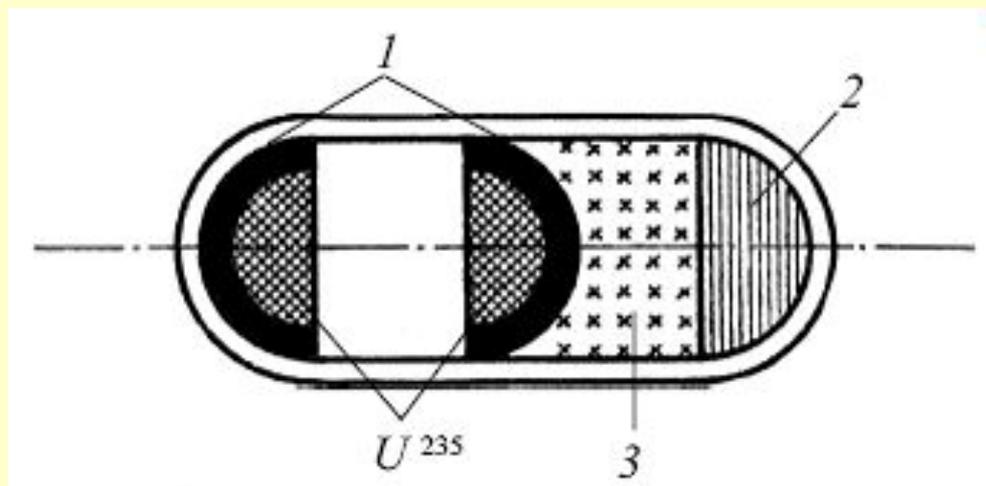
Обогащение урана - повышения процента U-235 в установленном количестве урана.

Для ядерных реакторах доля U-235 в топливе составляет от 3 до 5%. Вещество с таким уровнем содержания U-235 называется "низкообогащенным ураном" или НОУ.

Для создания атомной бомбы содержание U-235 в уране должно быть  $\geq 20\%$ . На практике уран, в котором содержится не менее 90% U-235, уже использовался для создания ядерного оружия. Вещество с таким уровнем обогащения называется высокообогащенным ураном или ВОУ.

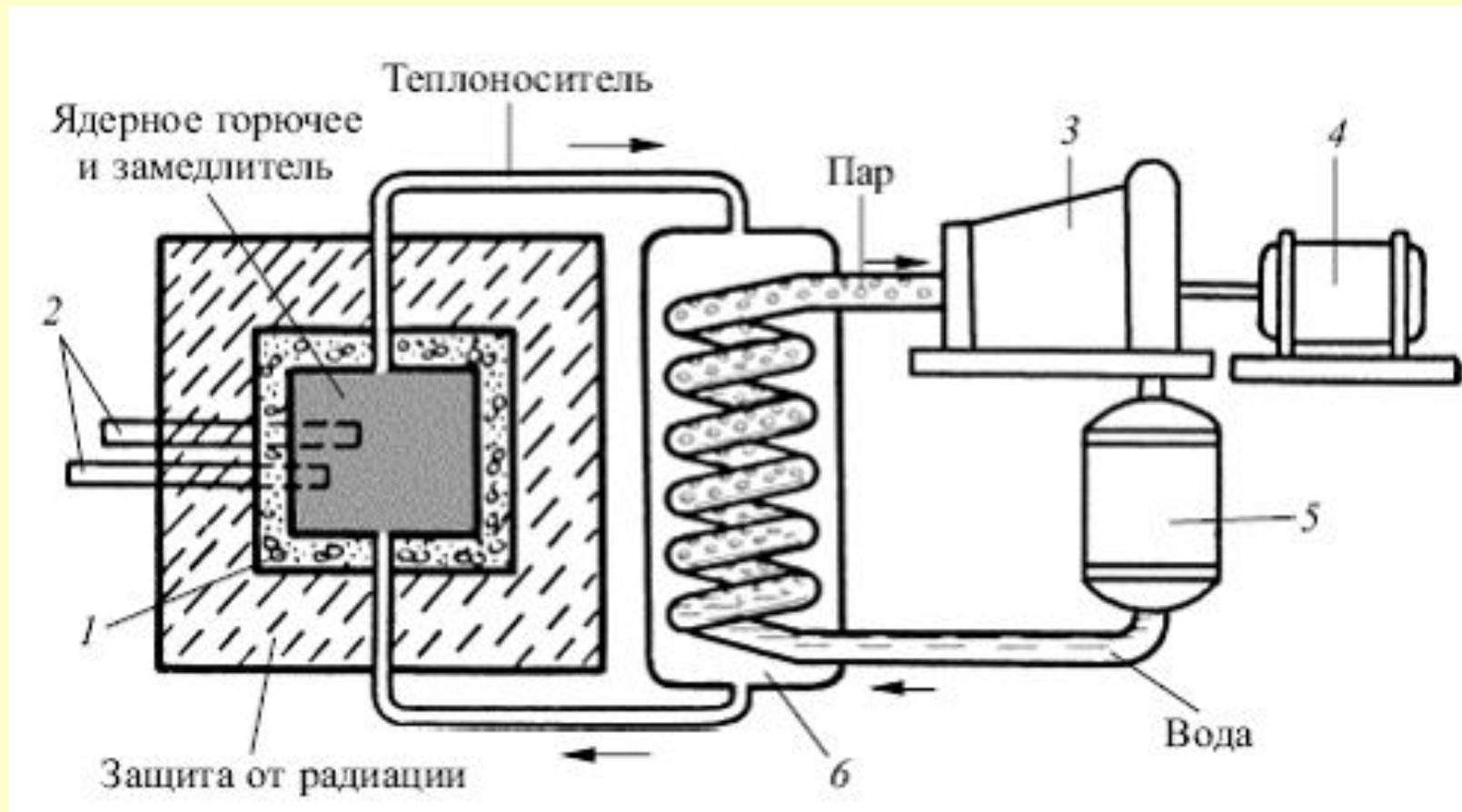
Высокообогащенный уран также применяется в исследовательских и морских ядерных реакторах - на авианосцах и подводных лодках.

- Иран 9 февраля официально уведомил МАГАТЭ о намерении начать работы по обогащению урана на своей территории на заводе в Натанзе. Президент Ирана Махмуд Ахмадинежад 11 февраля заявил, что Тегеран произвел первую партию обогащенного до 20% урана.



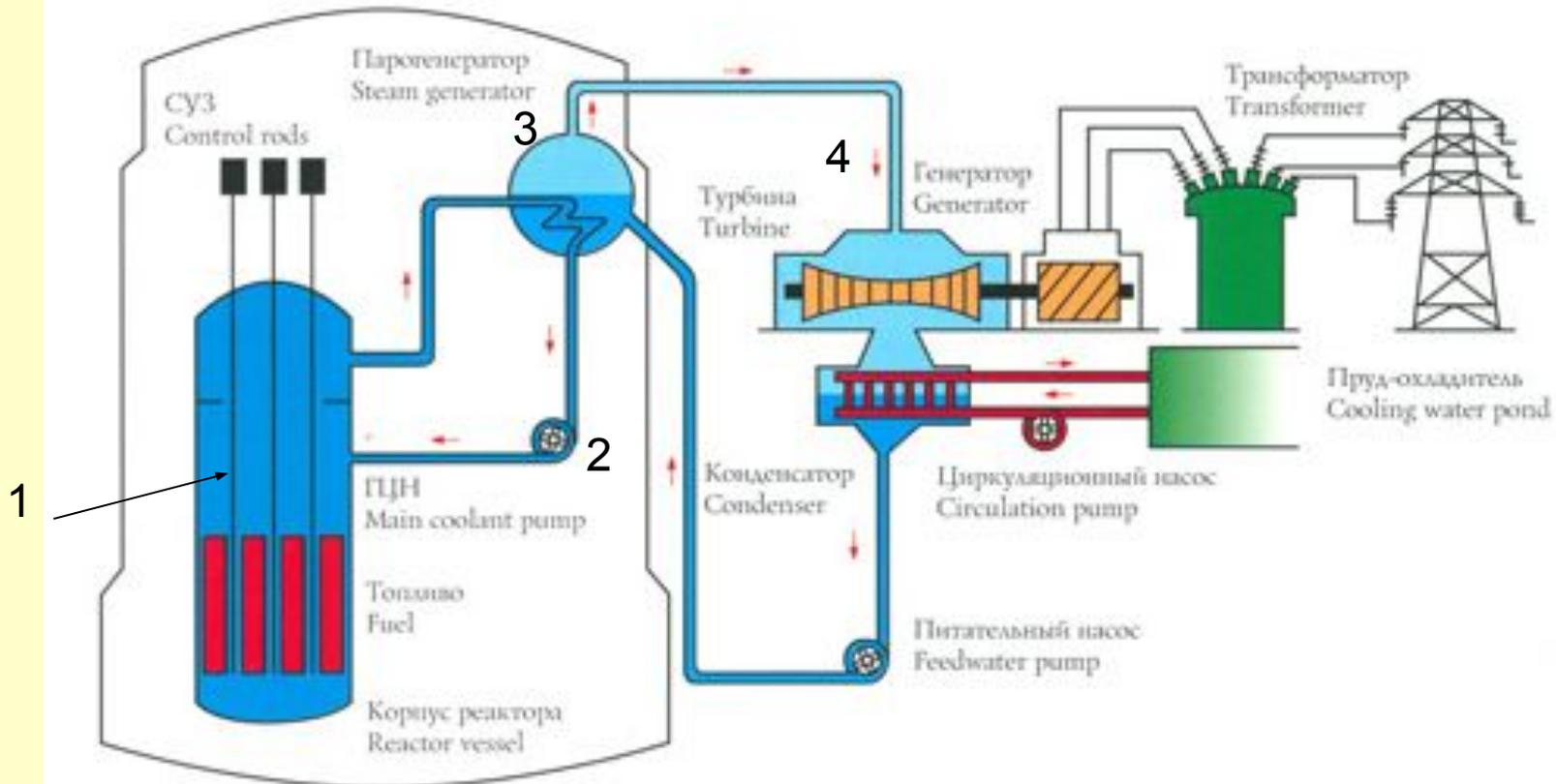
Принципиальная схема атомной бомбы:

1 – отражатель нейтронов; 2 – устройство для запала с задержкой; 3 – заряд взрывателя

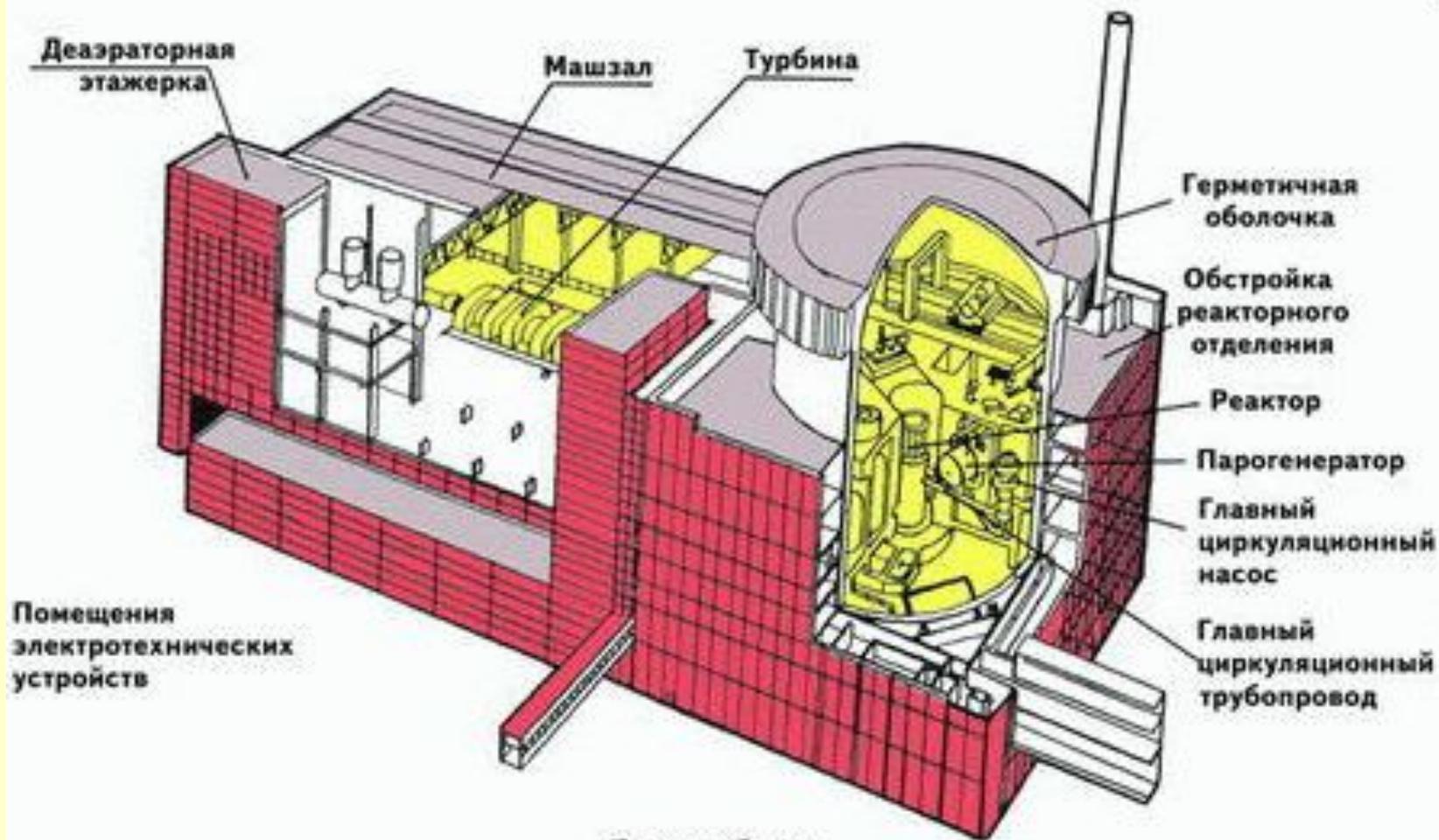


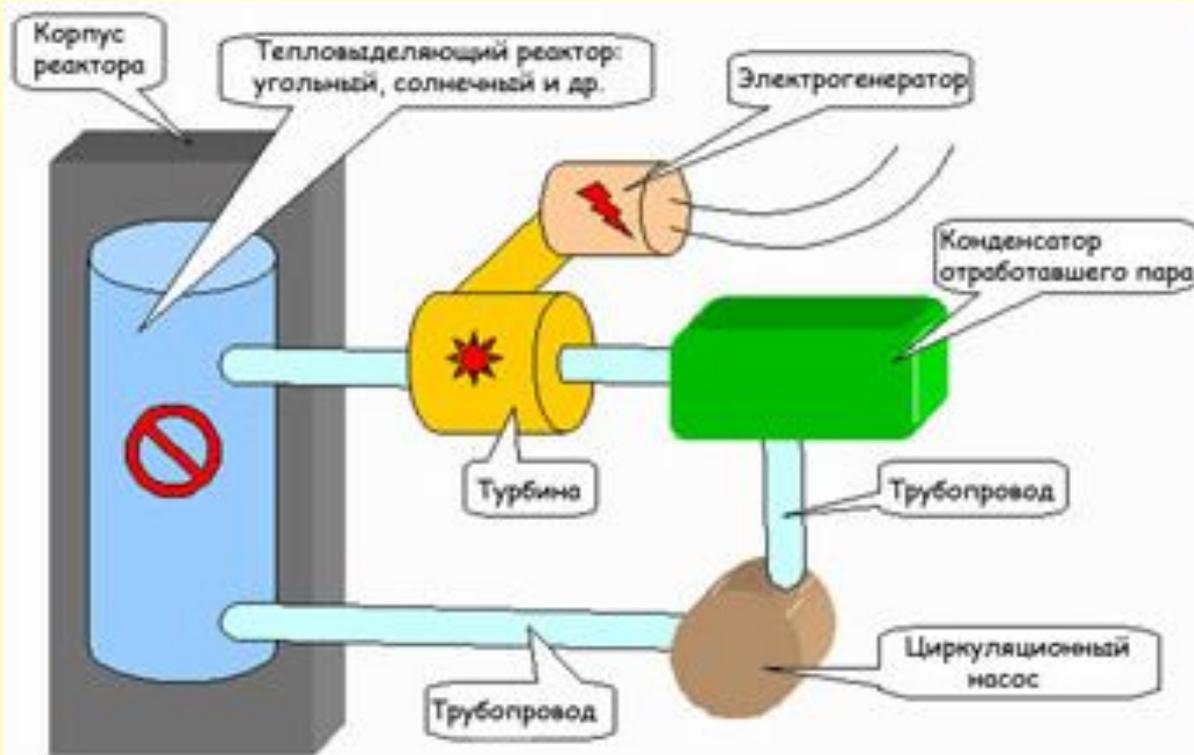
Принципиальная схема ядерного реактора: --//

1 – отражатель; 2 – регулирующие стержни; 3 – турбина; 4 – генератор; 5 – конденсатор; 6 – парогенератор

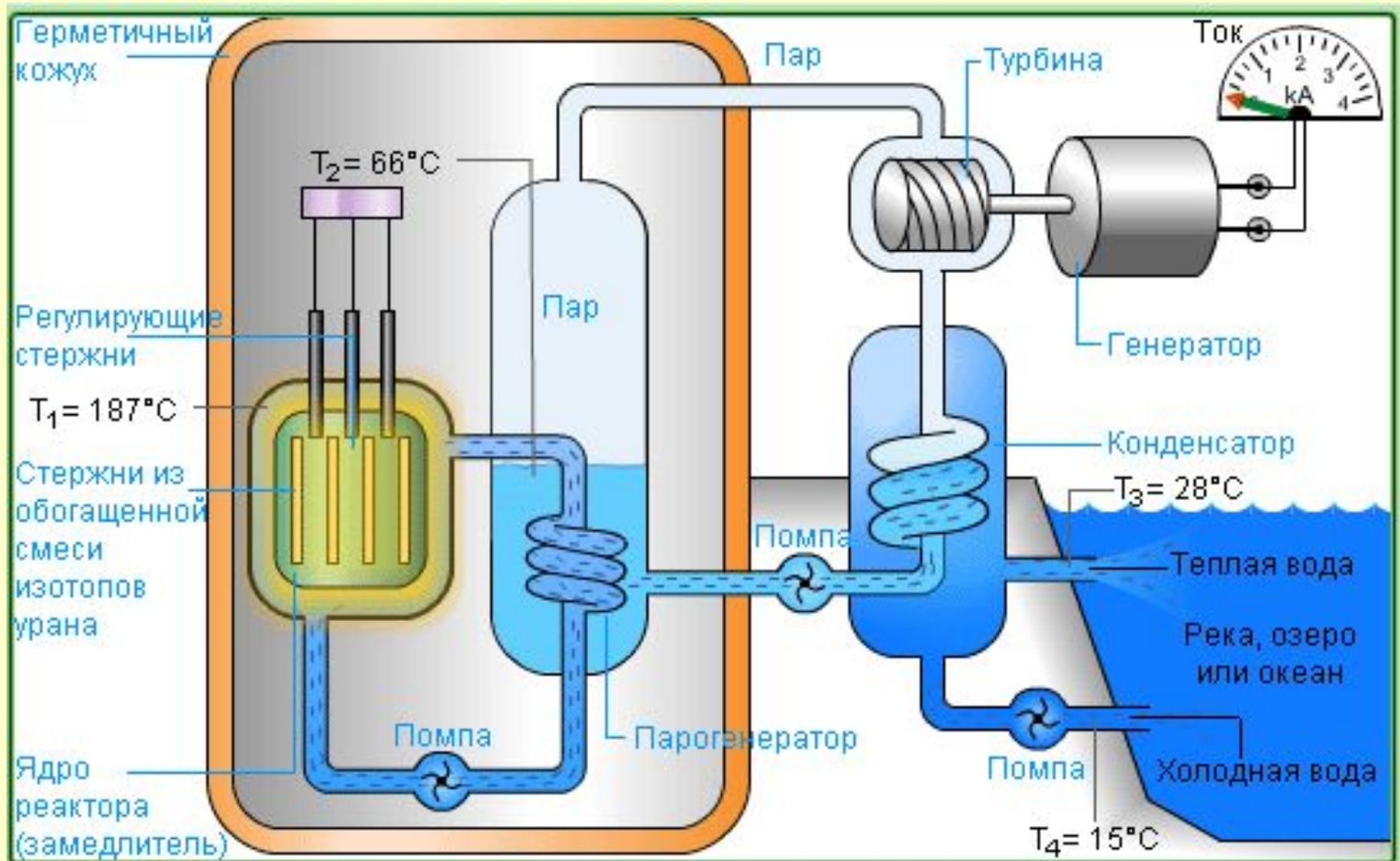


Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора 1, отбирается водой (теплоносителем) 1-го контура, которая прокачивается через реактор циркуляционным насосом 2. Нагретая вода из реактора поступает в теплообменник (парогенератор) 3, где передаёт тепло, полученное в реакторе, воде 2-го контура. Вода 2-го контура испаряется в парогенераторе, и образующийся пар поступает в турбину 4.





Среди ТЭС преобладают тепловые паротурбинные (ТПЭС), на которых тепловая энергия используется в парогенераторе для получения водяного пара высокого давления, приводящего во вращение ротор паровой турбины, соединённый с ротором электрического генератора. В качестве топлива на таких ТЭС используют уголь (преимущественно), мазут, природный газ, лигнит, торф, сланцы.

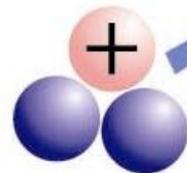
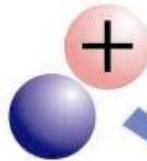


- Показать надписи
- Условия процесса
- Насосы

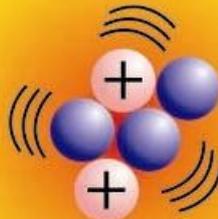
Управляющие стержни Опустить

# Ядерный синтез

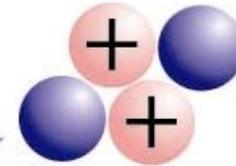
Deuterium



Tritium

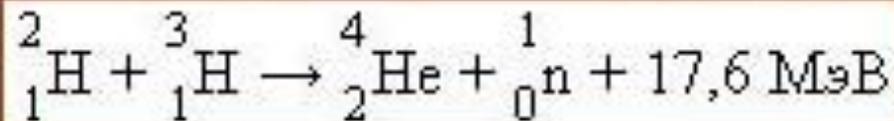


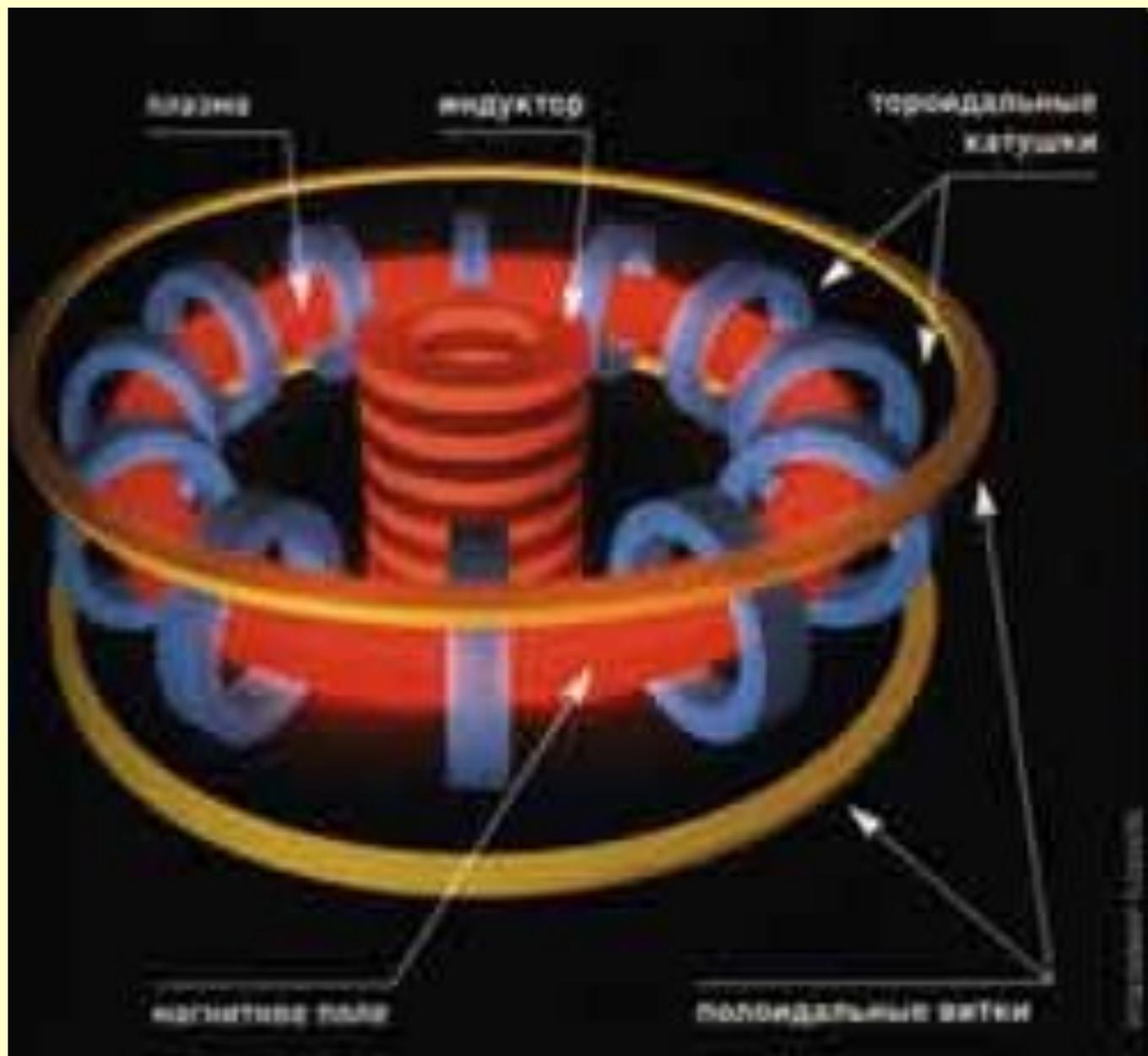
Helium



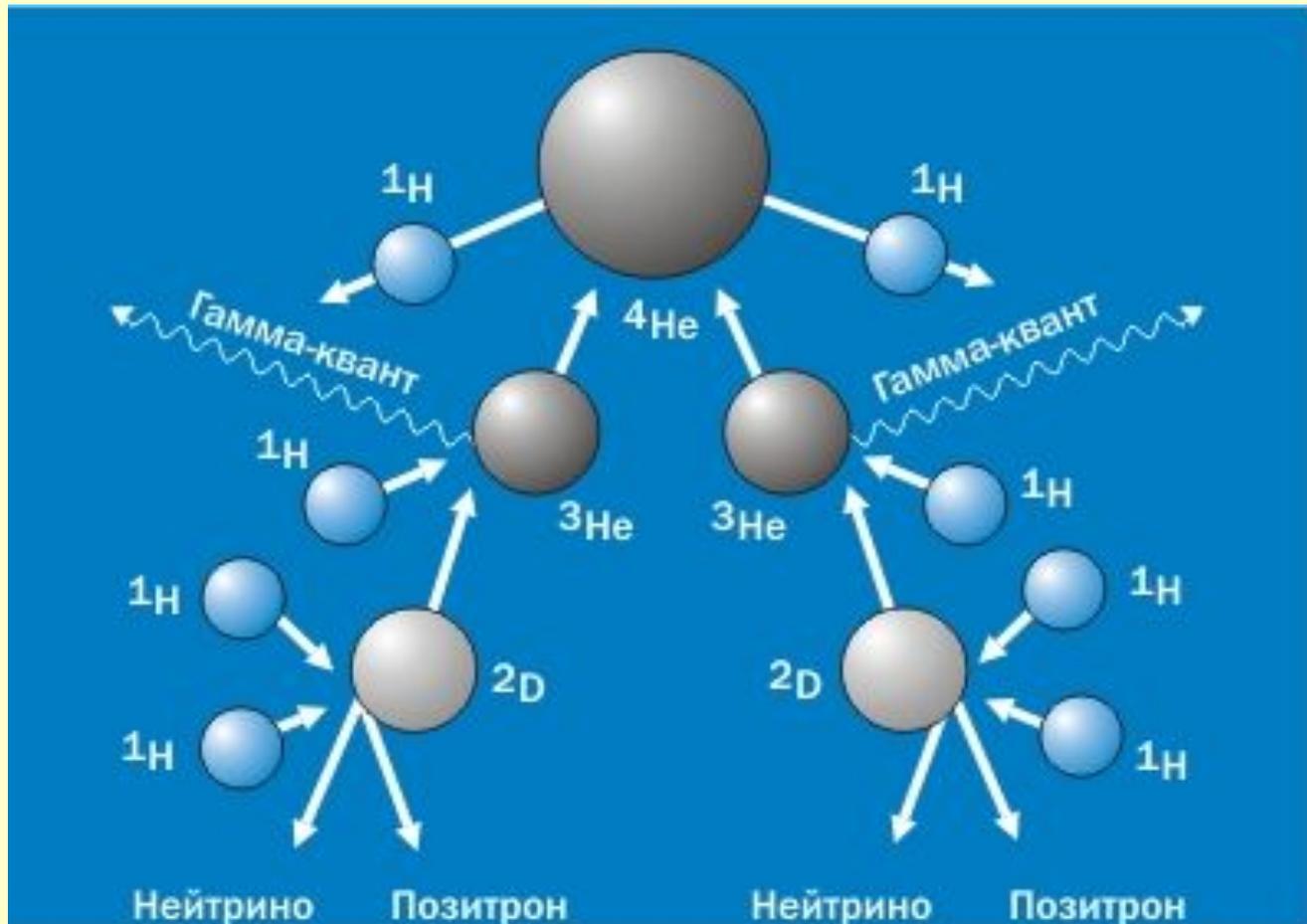
Neutron

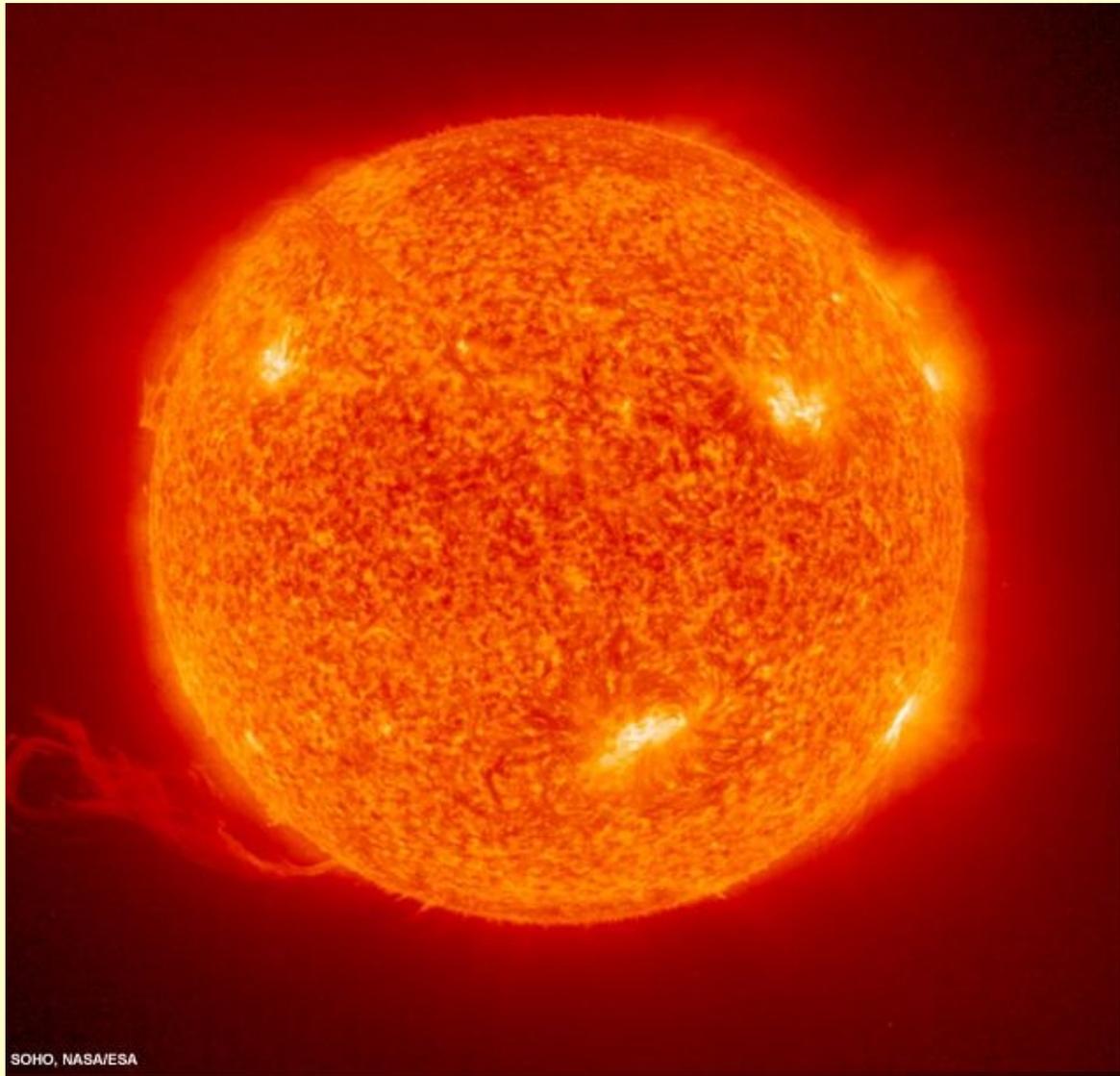
Energy

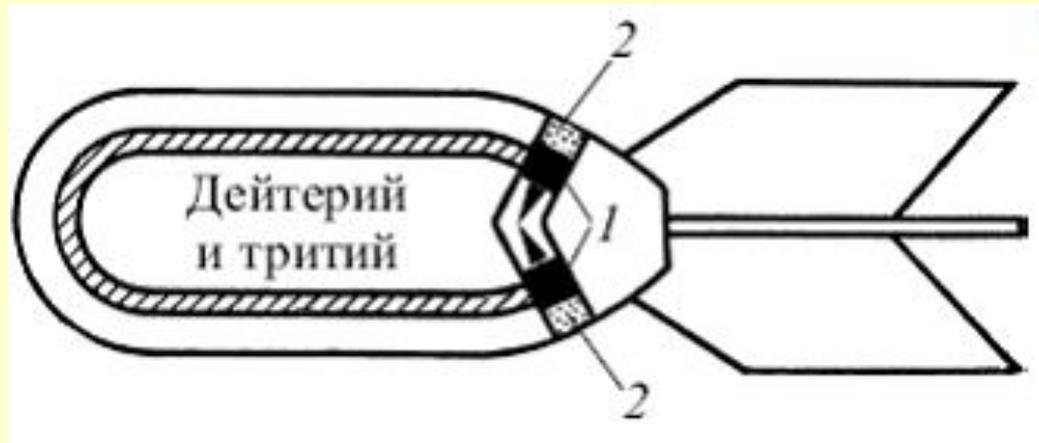




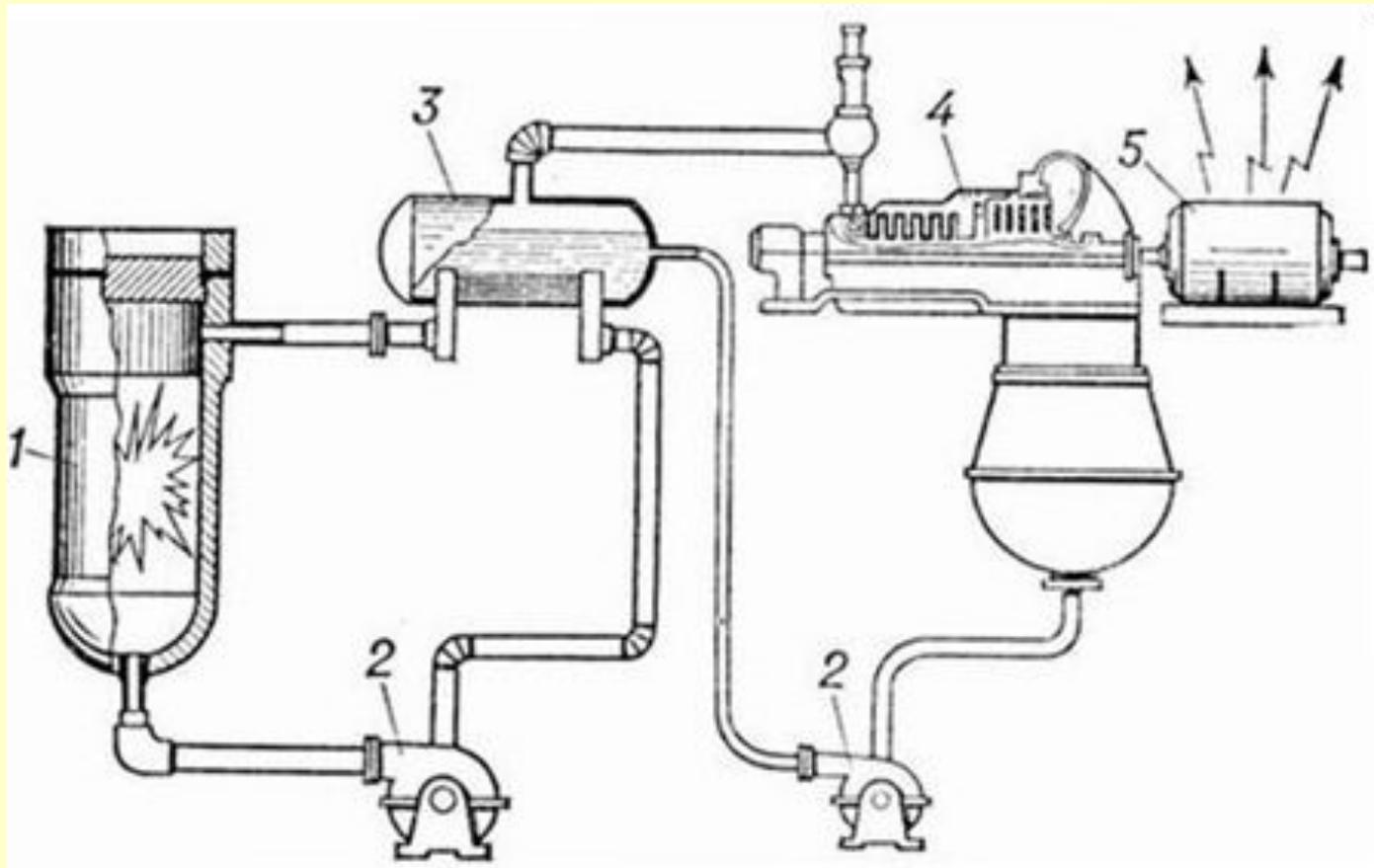
# Протон – протонный цикл







Принципиальная схема термоядерной (водородной) бомбы: 1 – атомная бомба; 2 – заряды



Тепло, выделяющееся в активной зоне реактора 1, отбирается водой (теплоносителем) 1-го контура, которая прокачивается через реактор циркуляционным насосом 2. Нагретая вода из реактора поступает в теплообменник (парогенератор) 3, где передаёт тепло, полученное в реакторе, воде 2-го контура. Вода 2-го контура испаряется в парогенераторе, и образующийся пар поступает в турбину 4.



Ждём Вас на  
экзамене!



