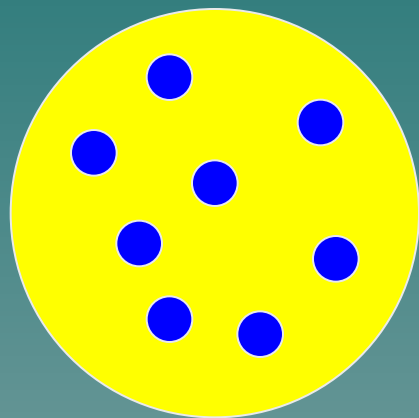


# Глава 8. Теория атома Бора.

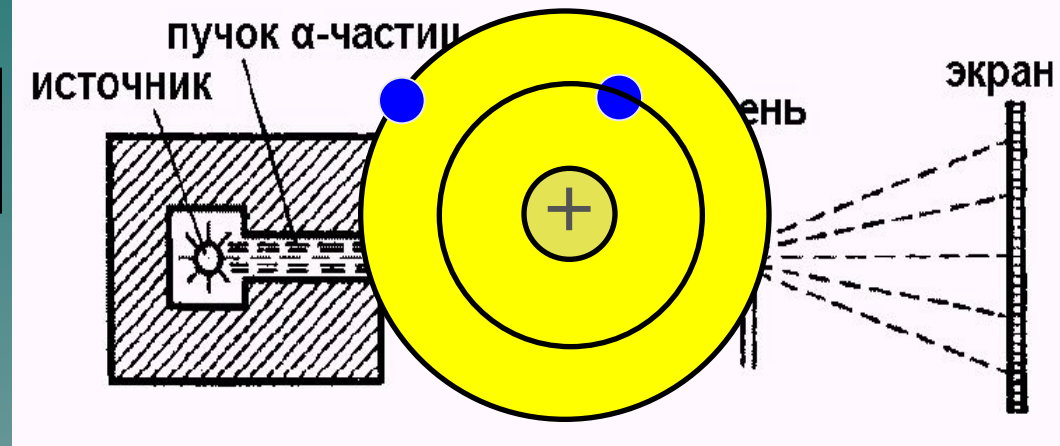
## § 8.1. Модели атома.

### 1. Модель Томсона



$$d = 10^{-10} \text{ м}$$

### 2. Модель Резерфорда

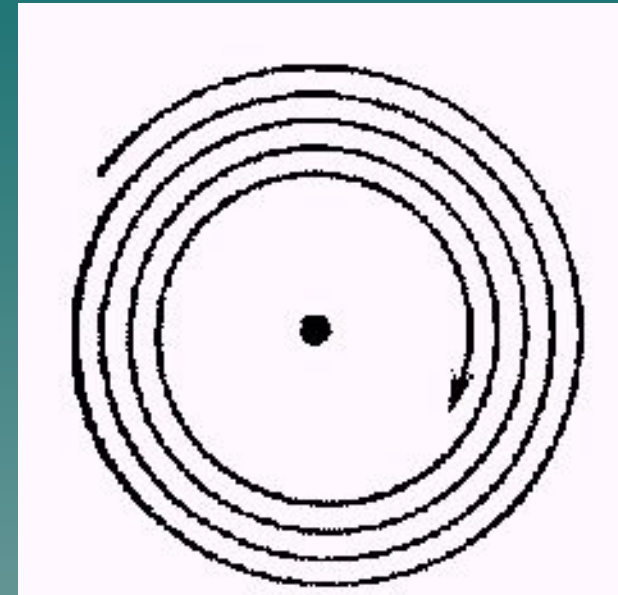


**Резерфорд** предложил **планетарную модель атома**. Согласно Резерфорду, атом представляет собой систему зарядов, в центре которой расположено **положительное ядро** с зарядом  $Ze$ , размером  $10^{-15} - 10^{-14}$  м и массой, практически равной массе атома, а вокруг ядра, в области с линейными размерами  $\sim 10^{-10}$  м, по замкнутым орбитам движется  $Z$  электронов, образуя **электронную оболочку атома**.

# Недостатки модели Резерфорда:

Второй закон Ньютона для электрона, движущегося по окружности под действием кулоновской силы:

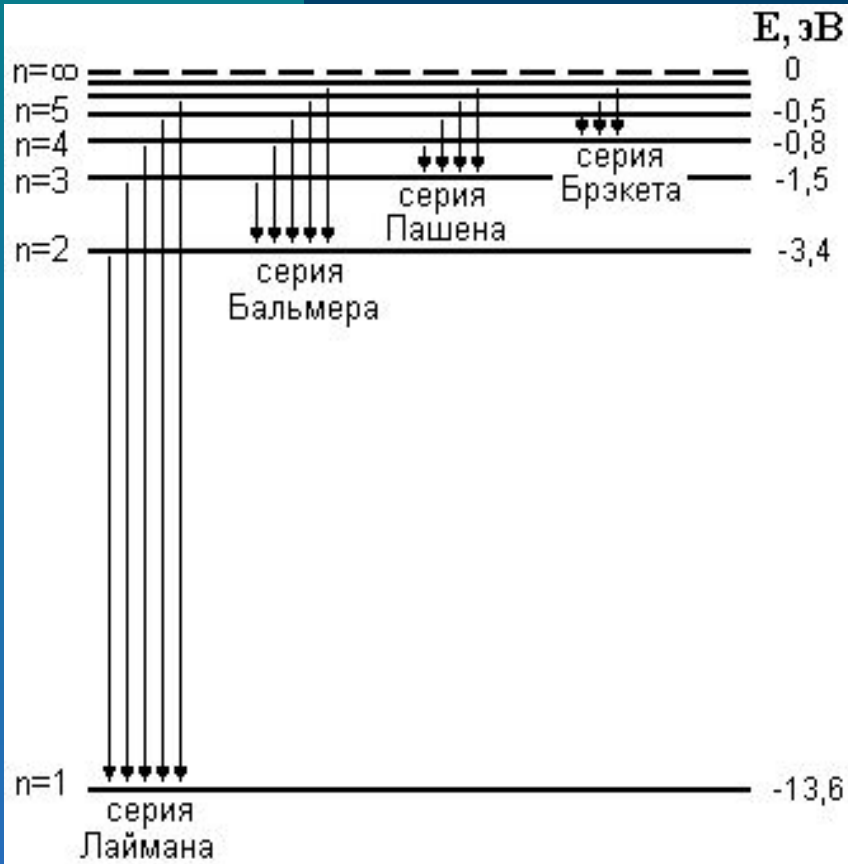
$$\frac{Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$$



движущиеся электроны должны излучать электромагнитные волны и вследствие этого непрерывно терять энергию. В результате электрон будет приближаться к ядру и в конечном счете *упадет на ядро*.

Кроме того, классическая планетарная модель атома не объясняет **линейчатого спектра** атомов.

# § 8.2. Линейчатый спектр атома водорода



**ультрафиолетовая область :**

**серия Лаймана**

$$m=1 \quad n=2,3,4,5,\dots$$

**видимая область спектра :**

**серия Бальмера**

$$m=2 \quad n=3,4,5,\dots$$

**инфракрасная область :**

**серия Пашена**

$$m=3 \quad n=4,5,6,\dots$$

**серия Брэкета**

$$m=4 \quad n=5,6,7,\dots$$

**серия Пфундта**

$$m=5 \quad n=6,7,8,\dots$$

**серия Хэмфри**

$$m=6 \quad n=7,8,9,\dots$$

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

# Обобщенная формула Бальмера:

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

## Постоянная Ридберга:

$$R' = 1,1 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

где  $m = 1, 2, 3, 4, 5, 6$  определяет серию, а  $n = m + 1, m + 2, \dots$  определяет отдельные линии этой серии. С увеличением  $n$  линии серии сближаются; значение  $n = \infty$  определяет **границу серии**, к которой со стороны бóльших частот примыкает сплошной спектр.

$$\nu = c \cdot R' \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

## Постоянная Ридберга:

$$R = c \cdot R' = 3,3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$



# § 8.3. Модель атома Бора

**I) Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний):** существуют стационарные (не изменяющиеся со временем) состояния атома, находясь в которых он не излучает энергии. Стационарным состояниям атома соответствуют стационарные орбиты, по которым движутся электроны. Каждое стационарное состояние характеризуется определенным (дискретным) значением энергии. Движение электронов по стационарным орбитам не сопровождается излучением электромагнитных волн.

$$L_n = m \cdot V \cdot r = n \cdot \hbar \quad \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

**II) Второй постулат Бора (правило частот):** при переходе атома из одного состояния в другое испускается или поглощается один фотон с энергией

$$h\nu = E_n - E_m$$

равной разности энергий соответствующих стационарных состояний.

Излучение ( $E_m < E_n$ ) происходит при переходе атома из состояния с бóльшей энергией в состояние с меньшей энергией (при переходе электрона с орбиты более удаленной от ядра на ближнюю к ядру орбиту). Поглощение фотона ( $E_m > E_n$ ) сопровождается переходом атома в состояние с бóльшей энергией (переход электрона на более удаленную от ядра орбиту).

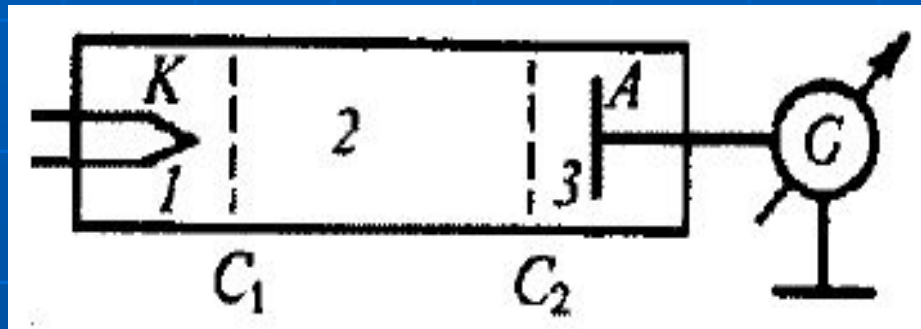
**Набор всевозможных дискретных частот** квантовых переходов:

$$\nu = \frac{E_n - E_m}{h}$$

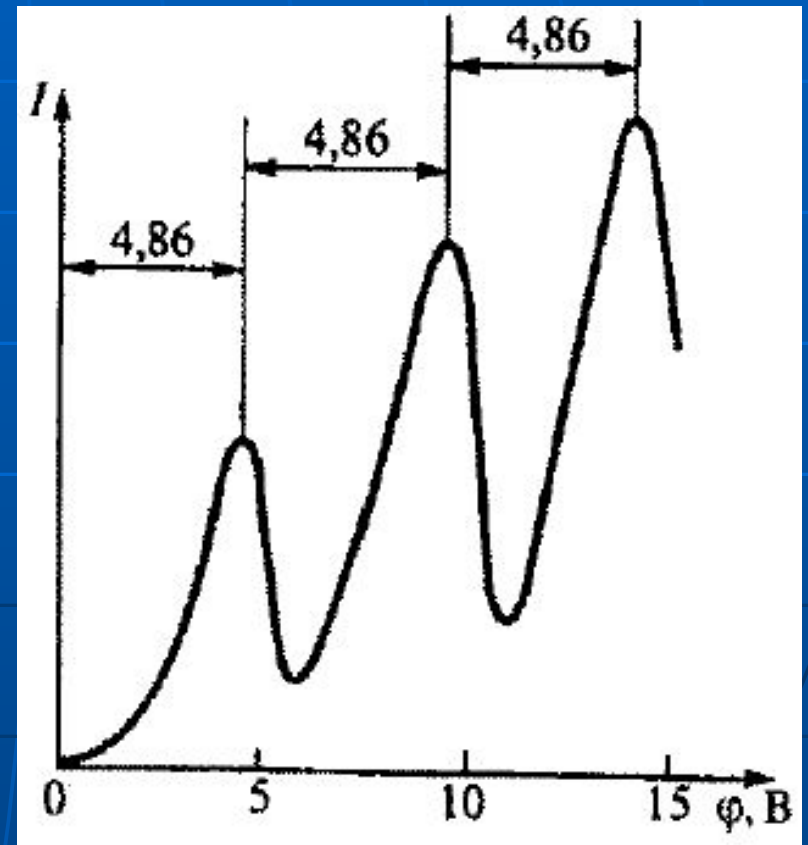
**определяет линейчатый спектр атома.**

# § 8.4. Опыты Франка и Герца

В опытах Франка и Герца было экспериментально доказано существование в атомах стационарных состояний.



$$\Delta E = 4,86 \text{ эВ}$$



# § 8.5. Теория атома водорода по Бору

Второй закон Ньютона

$$\frac{Ze \cdot e}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$$

$$\frac{m_e v^2}{2} = \frac{1}{2} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

Радиус n-ой стационарной орбиты электрона :

$$r_n = n^2 \frac{\hbar \cdot 4\pi\epsilon_0}{m_e Ze^2} \quad n = 1, 2, 3, ..$$

Для водорода (Z=1) радиус первой орбиты (первый боровский радиус)  $a_0 = 5,28 \cdot 10^{-11}$  м.

$$E = \frac{m_e v^2}{2} - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} = -\frac{1}{2} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

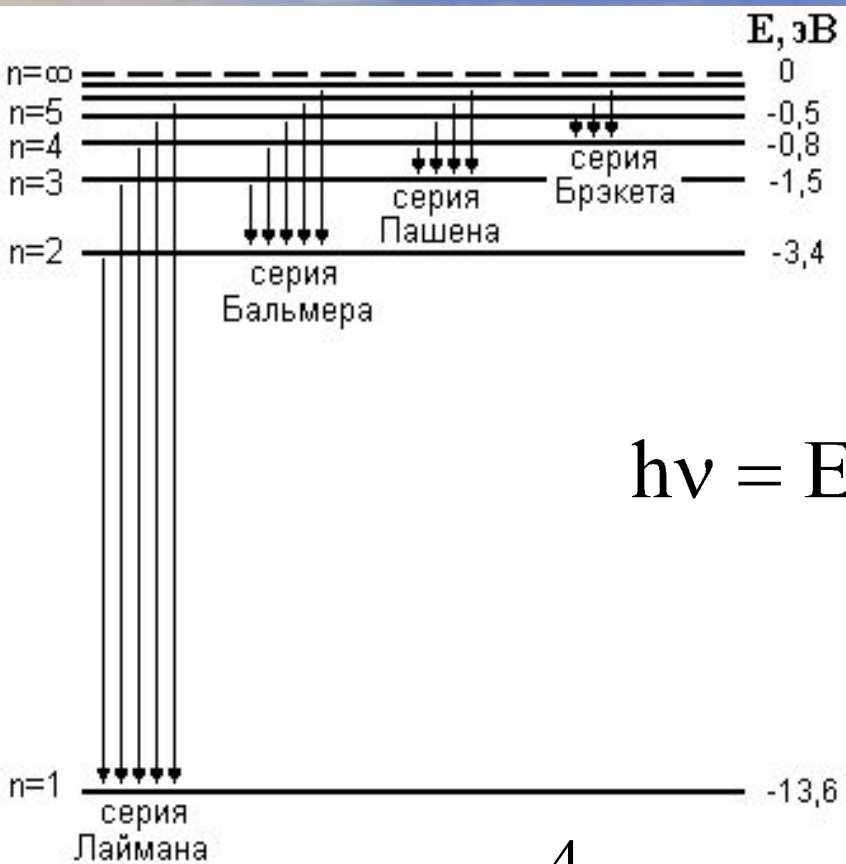
Полная энергия  
электрона :

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

где знак минус означает, что электрон находится в связанном состоянии.



Целое число  $n$ , определяющее энергетические уровни атома, называется **главным квантовым числом**. Энергетический уровень с  $n=1$  называется **основным (нормальным) уровнем**, а соответствующее ему состояние атома называется **основным (нормальным) состоянием**. Уровни с  $n>1$  и соответствующие им состояния называются **возбужденными**.



$$E_{\min} = -13,6 \text{ эВ при } n=1,$$

$$E_{\max} = 0 \text{ при } n=\infty,$$

$$E_{\text{ионизации}} = 13,6 \text{ эВ.}$$

$$h\nu = E_n - E_m = -\frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

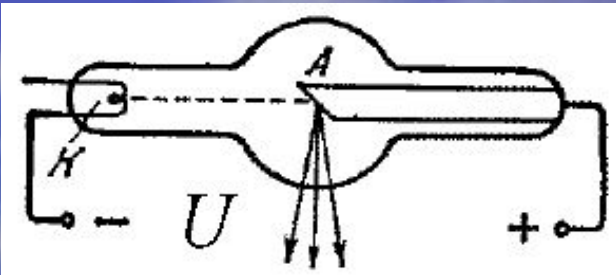
$$h\nu = hR \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

$$R = \frac{me^4}{8\varepsilon_0^2 h^3}$$

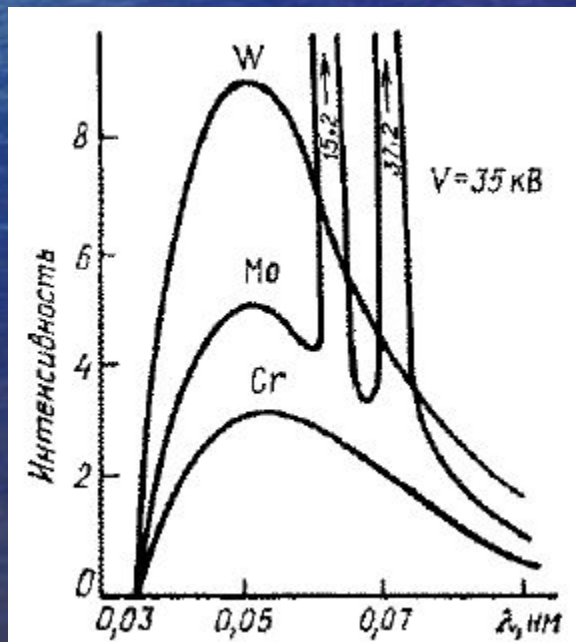
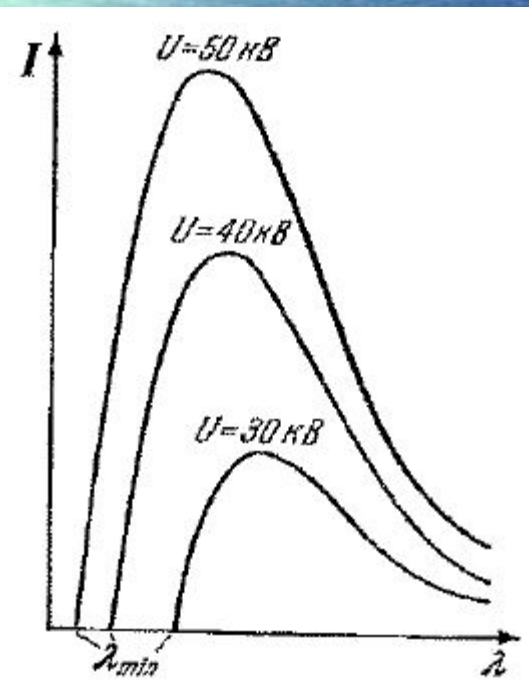
$R=3,3 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  - постоянная Ридберга

# § 8.6. Рентгеновские излучение.

рентгеновская трубка, в которой вылетающие с катода  $K$  электроны бомбардируют анод  $A$  (антикатод), изготовленный из тяжелых металлов ( $W, Cu, Pt$  и т.д.).



состоит из сплошного спектра **тормозного излучения**, возникающего при торможении электронов в аноде, и **линейчатого спектра характеристического излучения**, определяемого материалом анода.

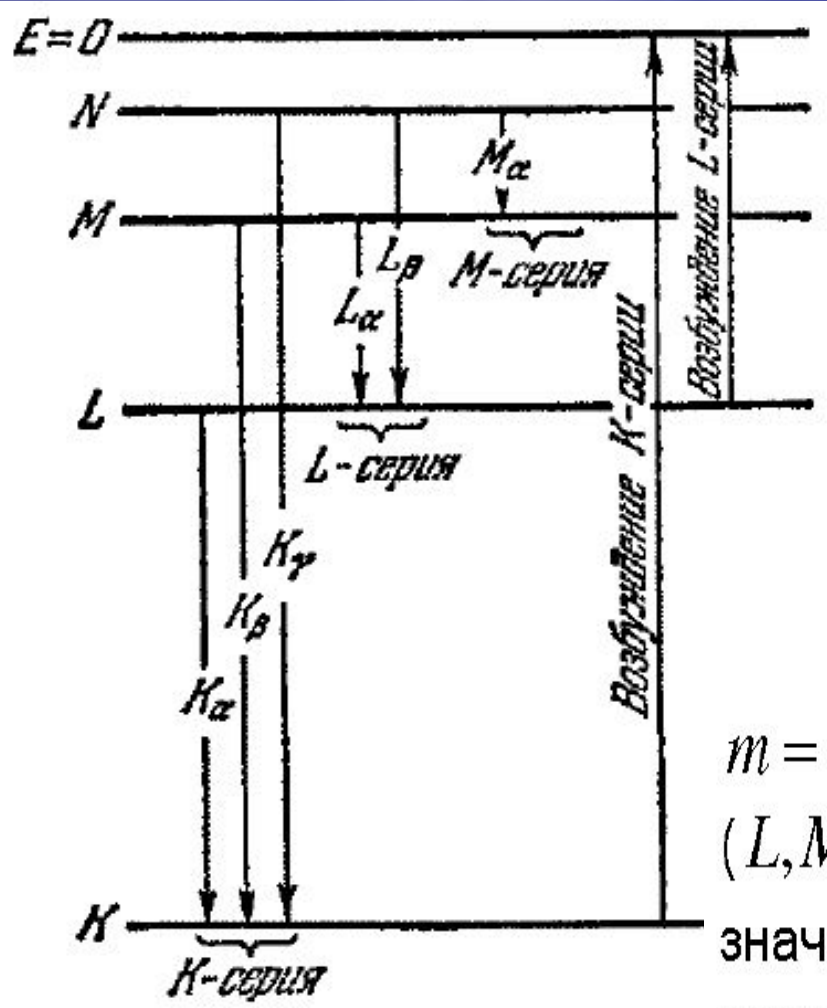


Граница сплошного спектра –  $\lambda_{\min}$  :

$$E_{\max} = h\nu_{\max} = eU$$

$$\lambda_{\min} = \frac{c}{\nu_{\max}}$$

$$\lambda_{\min} = \frac{ch}{eU} = \frac{ch}{E_{\max}}$$



# Закон МОЗЛИ :

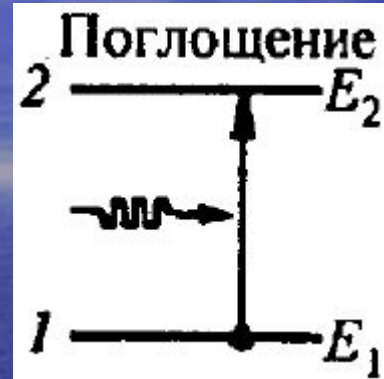
$$\nu = R(Z - \sigma)^2 \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$$

где  $R$  — постоянная Ридберга,  $m = 1, 2, 3, \dots$  определяет рентгеновскую серию ( $L, M, N, \dots$ ),  $n$  принимает целочисленные значения начиная с  $m+1$  (определяет отдельную линию  $\alpha, \beta, \gamma, \dots$  соответствующей серии),  $\sigma$  — постоянная экранирования, учитывающая экранирование данного электрона от атомного ядра другими электронами атома.



## § 8.7. Поглощение. Спонтанное и вынужденное излучение.

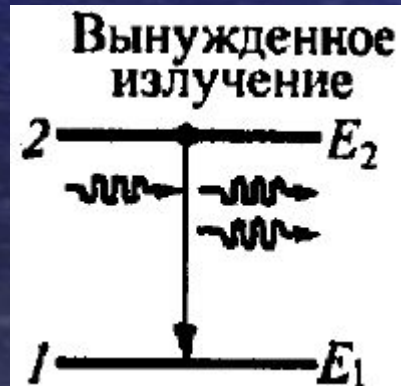
1. **Поглощение.** Если атом находится в основном состоянии 1, то под действием внешнего излучения может осуществиться вынужденный переход в возбужденное состояние 2, приводящий к поглощению излучения.



2. **Спонтанное излучение.** Атом, находясь в возбужденном состоянии 2, может спонтанно (без внешних воздействий) перейти в основное состояние, испуская при этом фотон с энергией  $h\nu = E_2 - E_1$ . Процесс испускания фотона возбужденным атомом *без внешних воздействий* называется **спонтанным излучением**.



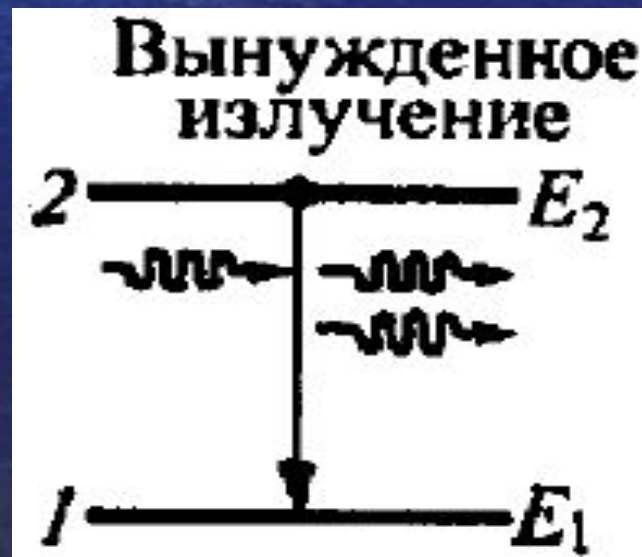
3. **Вынужденное излучение.** Атом, находящийся в возбужденном состоянии 2, действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей условию  $h\nu = E_2 - E_1$ , то возникает **вынужденный (индуцированный) переход** в основное состояние 1 с излучением фотона той же энергии  $h\nu = E_2 - E_1$  **дополнительно** к тому фотону, под действием которого произошел переход.





## § 8.8. ЛАЗЕРЫ.

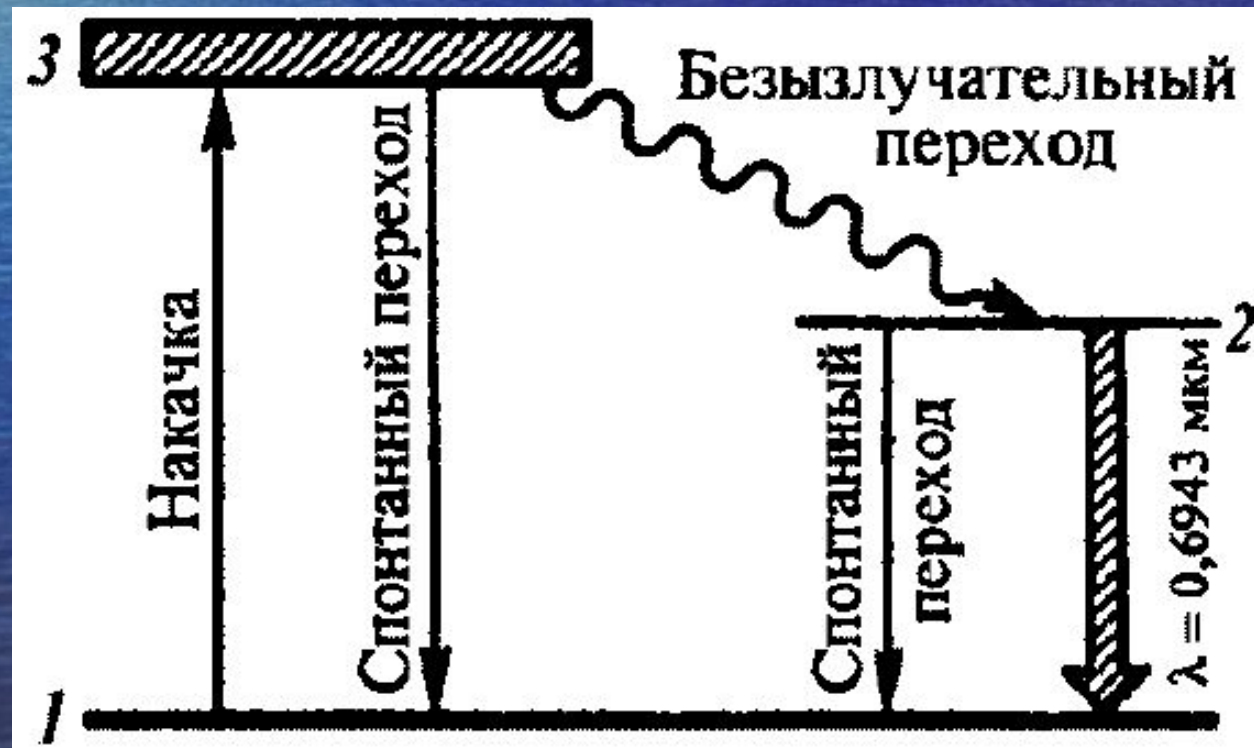
3. **Вынужденное излучение.** атом, находящийся в возбужденном состоянии 2, действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей условию  $h\nu = E_2 - E_1$ , то возникает **вынужденный (индуцированный) переход** в основное состояние 1 с излучением фотона той же энергии  $h\nu = E_2 - E_1$  **дополнительно** к тому фотону, под действием которого произошел переход.



Эффект усиления излучения в активных средах используется в **оптических квантовых генераторах**, или **лазерах** (Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation).

Лазеры подразделяются:

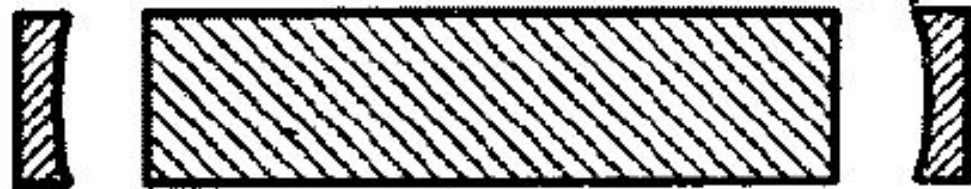
- по типу активной среды (твердотельные, газовые, полупроводниковые и жидкостные);
- по методам накачки (оптические, тепловые, химические, электроионизационные и др.);
- по режиму генерации (непрерывного или импульсного действия).



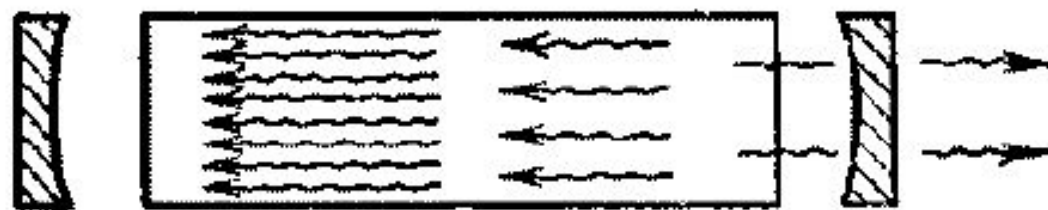
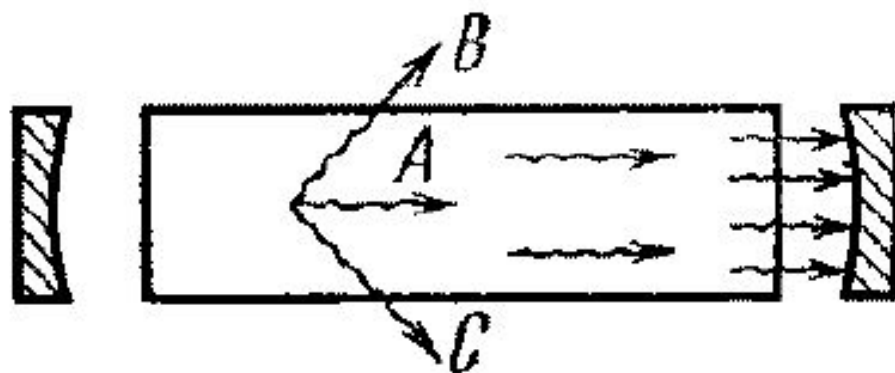


*Зеркало*

*Полупрозрач-  
ное зеркало*



*Активная среда*



# Свойства лазерного излучения

1. временная и пространственная когерентность

$$\tau \sim 10^{-3} \text{ с}, \quad l = c \cdot \tau \sim 10^5 \text{ м.}$$

2. строгая монохроматичность

$$\Delta\lambda < 10^{-11} \text{ м}$$

3. большая плотность энергии

$$\sim 10^{10} \text{ Вт/м}^2$$

4. малое угловое расхождение пучка

( в  $10^4$  раз меньше у прожектора)

