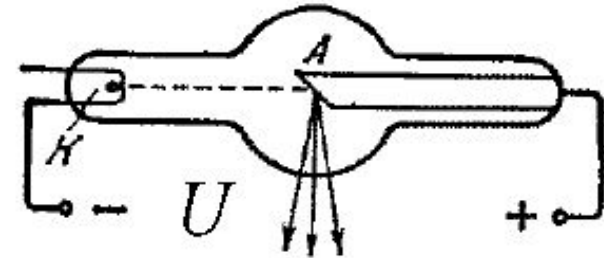


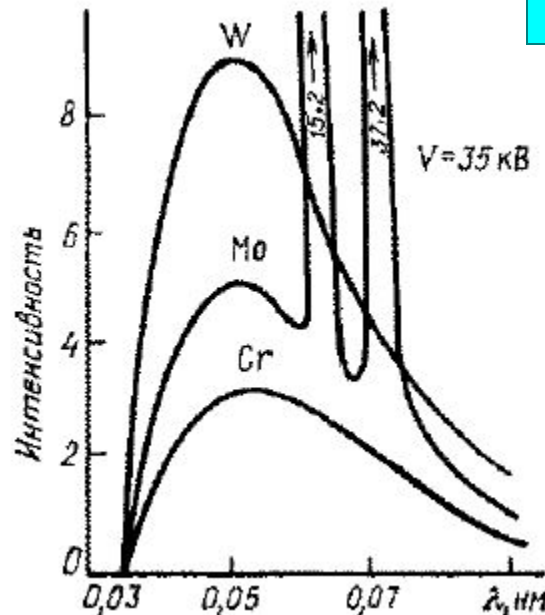
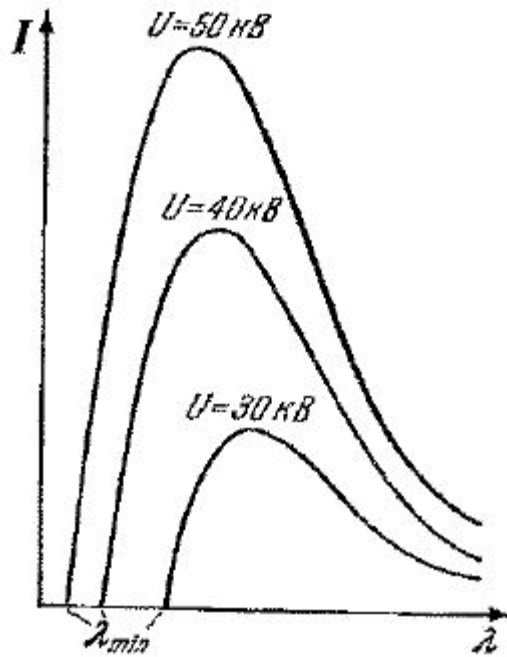
# § . Рентгеновское излучение.

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.

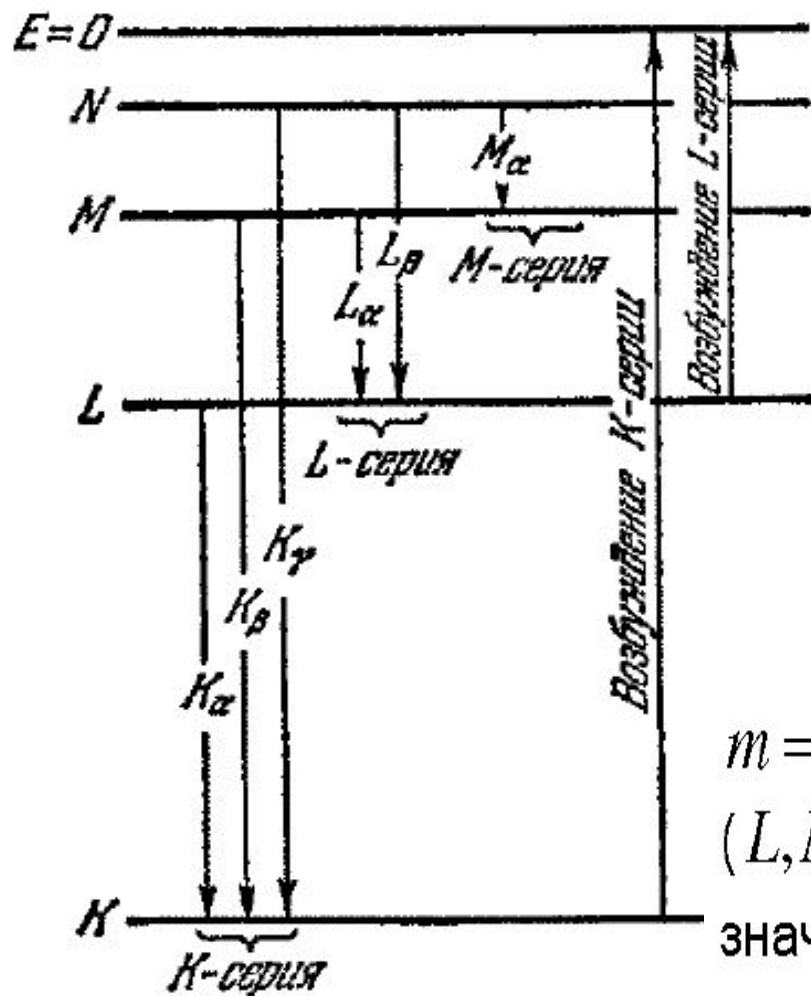
Граница сплошного спектра –  $\lambda_{\min}$  :



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

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

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



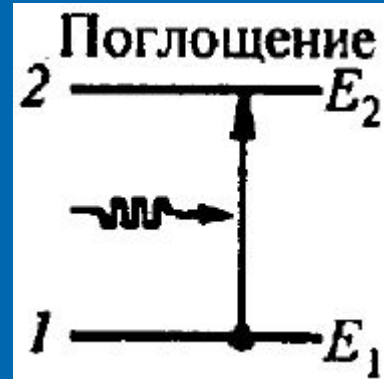
## Закон МОЗЛИ :

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

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.

# § Поглощение. Спонтанное и вынужденное излучение.

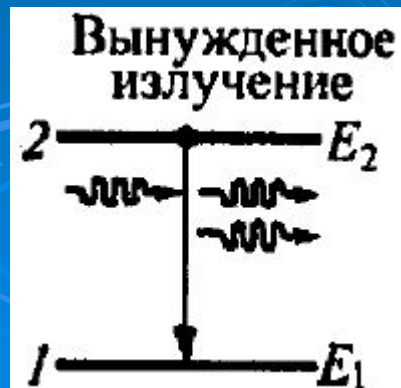
1. **Поглощение.** Если атом находится в основном состоянии 1, то под действием внешнего излучения может осуществиться вынужденный переход в возбужденное состояние 2, приводящий к поглощению излучения.



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.



# § ЛАЗЕРЫ.

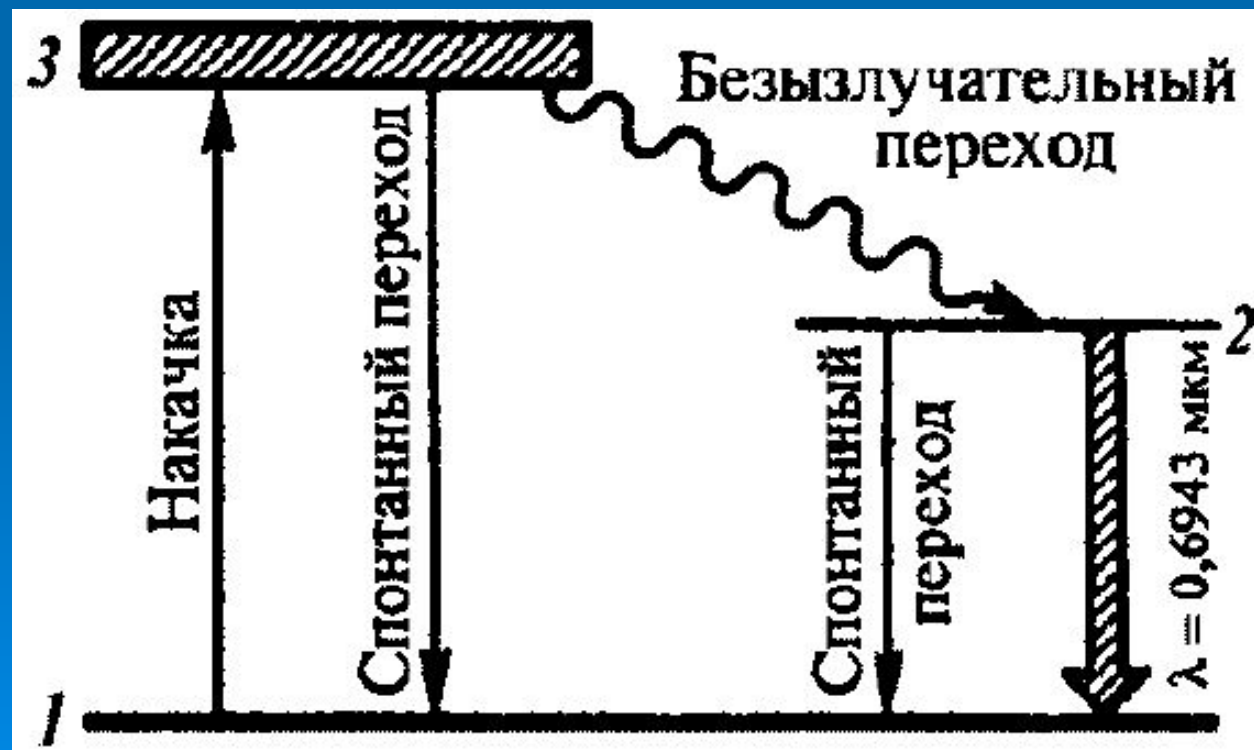
3. **Вынужденное излучение.** атом, находящийся в возбужденном состоянии 2, действует внешнее излучение с частотой, удовлетворяющей условию  $h\nu = E_2 - E_1$ , то возникает **вынужденный (индуцированный) переход** в основное состояние 1 с излучением фотона той же энергии  $h\nu = E_2 - E_1$  **дополнительно**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

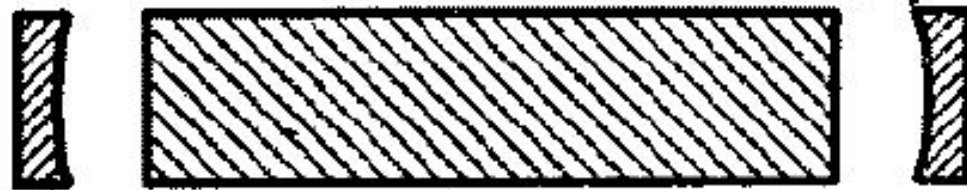
Лазеры подразделяются:

- 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).

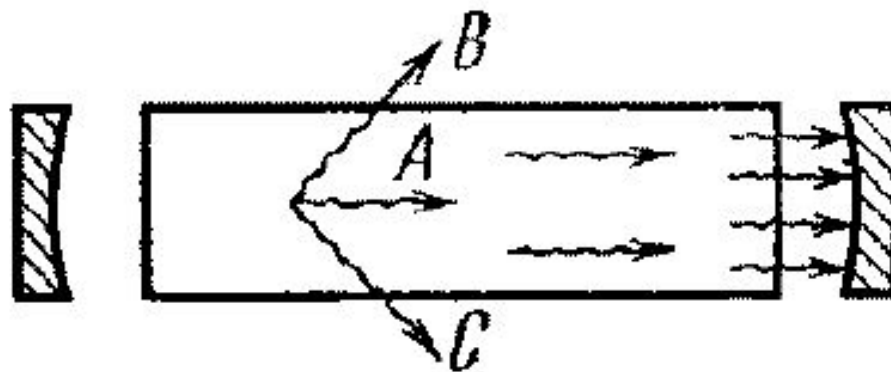


*Зеркало*

*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)



# Глава 10. ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА.

## § 10.1. Состав и характеристики атомного ядра.

- **Ядром** называется центральная часть атома, в которой сосредоточена практически вся масса атома и его положительный электрический заряд.
- В экспериментах Резерфорда по прохождению  $\alpha$ -частиц через металлическую фольгу было обнаружено, что атомные ядра имеют размеры порядка  $10^{-14} \div 10^{-15}$  м, в то время как линейные размеры атомов примерно  $10^{-10}$  м.



Атомное ядро состоит из элементарных частиц — протонов (p) и нейтронов (n), которые называются нуклонами (от лат. nucleus — ядро).

- Протон имеет положительный электрический заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона.
- Нейтрон не имеет электрического заряда.

- **Массы нуклонов:**

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1836 m_e$$

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \approx 1839 m_e$$

Общее число нуклонов в атомном ядре  $A$  называется массовым числом :  $A=Z+N$   
 $Z$  – число электронов,  $N$  – число нейтронов

- Заряд ядра равен величине  $Ze$ ,  
где  $e$  — заряд протона,  $Z$  — зарядовое число ядра (или порядковый номер химического элемента в периодической системе элементов) равное числу протонов в ядре.
- Известны 107 элементов.

Ядро химического элемента  $X$  с атомным номером  $Z$  и массовым числом  $A$  обозначается:



Поскольку атом нейтрален, то заряд ядра определяет число электронов в атоме, от которого зависит их распределение по состояниям в атоме, а следовательно, зависят химические свойства атома.

**Изотопами** называются ядра с одинаковым атомным номером  $Z$  (зарядом или числом протонов), но разными  $A$  (т.е. разным числом нейтронов). Химические свойства изотопов одинаковы.

**Изобарами** называются ядра с одинаковым массовым числом  $A$ , но разными  $Z$ .

- Для измерения массы в атомной физике вводится единица – атомная единица массы (а.е.м.)

$$1 \text{ а.е.м.} = 1 \text{ гр} / N_A = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

- $1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ.}$

- $m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00814 \text{ а.е.м.}$

Размер ядра характеризуется **радиусом ядра**, имеющим условный смысл ввиду размытости границ ядра.

Эмпирическая формула для радиуса ядра

$$R = R_0 \sqrt[3]{A}$$

где  $R_0 = (1,3 \div 1,7) 10^{-15} \text{ м}$ , может быть истолкована как пропорциональность объема ядра числу нуклонов в нем. Следовательно, плотность ядерного вещества примерно одинакова для всех ядер ( $\approx 10^{17} \text{ кг/м}^3$ ).

## § 10.2. Дефект массы и энергия связи ядра.

- Энергия связи ядра  $E_{\text{св}}$  – физическая величина, равная работе, которую надо совершить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны из которых оно состоит.

$$E_{\text{св}} = [Zm_p + (A-Z)m_n - m_{\text{я}}] c^2$$

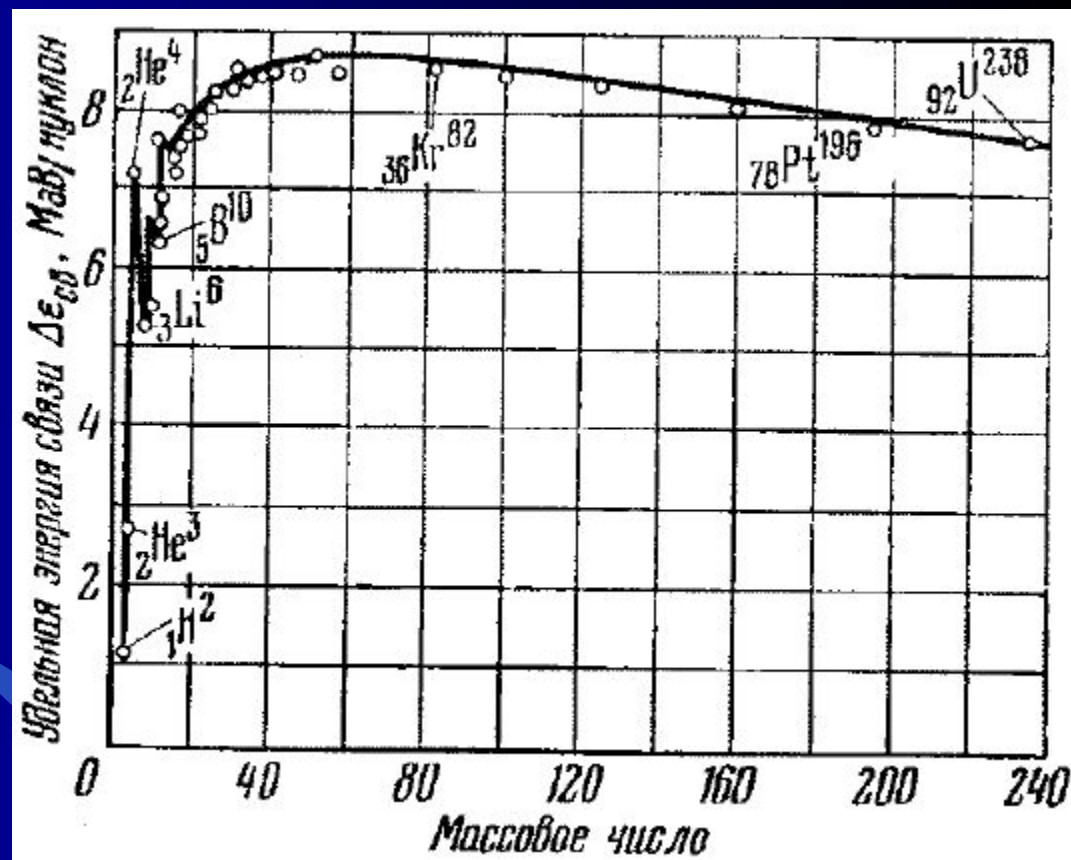
$$E_{\text{св}} = [Zm_H + (A-Z)m_n - m_{\text{ат}}] c^2$$

дефект массы ядра  $\Delta m = [Zm_p + (A-Z)m_n] - m_{\text{я}}$

- Энергия связи, приходящаяся на один нуклон, называется удельной энергией :

$$E_{\text{уд}} = E_{\text{св}} / A$$

Наиболее устойчивы ядра средней части периодической таблицы ( $28 < A < 138$ ). В этих ядрах  $E_{уд} \sim 8,7$  МэВ/нуклон.



Из графика следует, что энергетически выгодны следующие процессы:

1. Деление тяжелых ядер на более легкие.
  2. Слияние легких ядер (термоядерный синтез).
- В ходе этих процессов выделяется огромное количество энергии.

## § 10.3. Ядерные силы. Модели ядра.

Ядерные силы - это сильное взаимодействие. Оно намного превышает гравитационные, электрические и магнитные взаимодействия.

### Свойства ядерных сил:

- 1) ядерные силы являются силами притяжения;
- 2) ядерные силы являются короткодействующими — их действие проявляется на расстояниях  $< 10^{-15}$  м;

- 3) ядерным силам свойственна зарядовая независимость: притяжение между любыми двумя нуклонами одинаково; силы имеют неэлектрическую природу;
- 4) ядерным силам свойственно насыщение: каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов;
- 5) ядерные силы зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов;
- 6) ядерные силы не являются центральными, т.е. действующими по линии, соединяющей центры взаимодействующих нуклонов.



# *Модели ядра*

## **1. Капельная модель.**

Эта модель основана на аналогии между поведением молекул в капле жидкости и нуклонов в ядре — короткодействие ядерных взаимодействий, одинаковая плотность ядерного вещества в разных ядрах (несжимаемость), свойство насыщения ядерных сил.

# Модели ядра

## 2. Оболочечная модель.

В этой модели нуклоны считаются движущимися независимо друг от друга в усредненном центрально-симметричном поле, В соответствии с этим имеются дискретные энергетические уровни, заполняемые нуклонами с учетом принципа Паули.

Эти уровни группируются в оболочки, в каждой из которых может находиться определенное число нуклонов.

# Ядра с полностью заполненными оболочками являются наиболее устойчивыми:

- **магические ядра**, у которых число протонов  $Z$  или нейтронов  $N$  равно одному из *магических* чисел: 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126.
- **Дважды магические ядра**, у которых *магическими* являются и  $Z$  и  $N$ . **Дважды магических ядер** известно всего пять:

