

## **ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ**

### **КВАНТОВАЯ ПРИРОДА ИЗЛУЧЕНИЯ**

**Энергия кванта электромагнитного излучения**

$$E = h\nu = hc/\lambda,$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – *постоянная Планка*.

**Уравнение Эйнштейна для внешнего фотоэффекта**

$$E = h\nu = A + T_{\max},$$

где  $E = h\nu$  – энергия фотона, падающего на поверхность металла;  
 $A$  – работа выхода электрона из металла;  $T_{\max}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектрона.

**«Красная граница» фотоэффекта для данного металла**

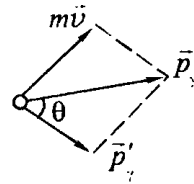
$$\nu_0 = \frac{A}{h}, \quad \lambda_0 = \frac{hc}{A},$$

где  $\lambda_0$  – максимальная длина волны излучения;  $\nu_0$  – минимальная частота, при которой фотоэффект еще возможен.

## Масса и импульс фотона

$$m_\gamma = \frac{\varepsilon}{c^2} = \frac{h\nu}{c^2}, \quad p_\gamma = \frac{h\nu}{c},$$

где  $h\nu$  – энергия фотона.



**Изменение длины волны рентгеновского излучения при комптоновском рассеянии**

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \frac{h}{m_0 c} (1 - \cos \theta) = \frac{2h}{m_0 c} \sin^2 \frac{\theta}{2} = 2\lambda_c \sin^2 \frac{\theta}{2},$$

где  $\lambda$  и  $\lambda_0$  – длина волны, соответственно падающего и рассеянного под углом  $\theta$  излучения;  $\vec{p}_\gamma$  и  $\vec{p}'_\gamma$  – импульс соответственно падающего и рассеянного под углом  $\theta$  фотона;  $\lambda_c = h/m_0 c = 2,43 \cdot 10^{-12}$  м – **комптоновская длина волны электрона**;  $m_0$  – масса покоя электрона;  $m\vec{v}$  – импульс электрона отдачи;  $m$  – масса электрона отдачи.

## ТЕОРИЯ АТОМА ВОДОРОДА ПО БОРУ

**Первый постулат Бора (постулат стационарных состояний)**

Атом или атомная система может находиться только в особых стационарных (квантовых) состояниях, каждому из которых соответствует определенная энергия  $E_1, E_2 \dots E_n$ , где  $n = 1, 2, 3 \dots$  – главное квантовое число.

**Второй постулат Бора (правило частот)**

При переходе атома или атомной системы из одного стационарного состояния  $E_k$  в другое с энергией  $E_n$  испускается или поглощается квант электромагнитной энергии частотой  $\nu$ , причем

$$E_k - E_n = h\nu,$$

где  $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$  Дж·с – **постоянная Планка**.

Постулаты Бора дополняются **правилом квантования момента импульса**

$$m_e \nu r_n = n\hbar \quad (n = 1, 2, 3 \dots),$$

где  $m_e$  – масса электрона;  $\nu$  – скорость электрона на орбите радиуса  $r_n$ ;

$$\hbar = h/2\pi = 1,05 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}.$$

Радиусы орбит электрона в атоме водорода, соответствующие главному квантовому числу  $n$ ,

$$r_n = 4\pi\varepsilon_0 \frac{\hbar^2}{m_e e^2} n^2 = r_1 n^2,$$

где  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл – **электрический заряд электрона**.

### Энергия стационарных состояний атома водорода

$$E_n = -\frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \cdot \frac{m_e e^4}{2\hbar^2 n^2} = \frac{E_1}{n^2}.$$

Энергия ионизации атома водорода численно равна энергии атома водорода при  $n = 1$

$$E_i = \frac{me^4}{4\pi\epsilon_0} 2\hbar^2 \quad (E_i = 13,6 \text{ эВ}).$$

Потенциальная энергия взаимодействия электрона с ядром в водородоподобном атоме

$$U(r) = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

где  $Z$  – порядковый номер элемента в таблице Менделеева;  $r$  – расстояние между электроном и ядром.

**Обобщенная формула Бальмера**, описывающая серии линий в спектре атома водорода

$$\nu = R \left( \frac{1}{k^2} - \frac{1}{n^2} \right),$$

где  $\nu$  – частота спектральных линий в спектре атома водорода;  $R = 3,29 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$  – *постоянная Ридберга*;  $k$  и  $n$  – номера орбит.

Набор длин волн электромагнитного излучения, испускаемого при переходе из состояний  $n = 2, 3, 4 \dots$  в основное состояние  $n = 1$  называют *серией Лаймана*; из состояний  $n = 3, 4, 5 \dots$  в состояние  $n = 2$  – *серией Пашена*.

## РАДИОАКТИВНОСТЬ

### Закон радиоактивного распада

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

где  $N$  – число не распавшихся атомов в момент времени  $t$ ;  $N_0$  – число не распавшихся атомов в момент, принятый за начальный (при  $t = 0$ );  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада.

**Число атомов, распавшихся за время  $t$**

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}).$$

**Связь периода полураспада  $T$  с постоянной распада**

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}.$$

**Активность нуклида в радиоактивном источнике** (активность изотопа)

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N, \quad [A] = \frac{\text{распад}}{c} = \text{Бк (Беккерель)}.$$

**Доза излучения** (поглощенная доза излучения)

$$D = \frac{\Delta W}{\Delta m}, \quad [D] = \text{Дж/кг} = \text{Гр (Грэй)},$$

где  $\Delta W$  – энергия ионизирующего излучения, переданная элементу облучаемого вещества;  $\Delta m$  – масса этого элемента.

## ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ АТОМНЫХ ЯДЕР

Масса покоя  $m$  устойчивой системы взаимосвязанных частиц меньше суммы масс покоя  $m_1 + m_2 + \dots + m_k$  тех же частиц, взятых в свободном состоянии.

**Дефект массы системы частиц**

$$\Delta m = (m_1 + m_2 + \dots + m_k) - m.$$

Энергия связи прямо пропорциональна дефекту массы системы частиц

$$E_{\text{св}} = c^2 \Delta m.$$

**Дефект массы атомного ядра**

$$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - m_{\text{я}},$$

где  $Z$  – зарядовое число (число протонов в ядре);  $N = (A - Z)$  – число нейтронов в ядре;  $A$  – массовое число (число нуклонов в ядре);  $m_p$  и  $m_n$  – соответственно масса протона и нейтрона;  $m_{\text{я}}$  – масса ядра.

Если учесть, что  $m_{\text{я}} = m_a - Zm_e$ ,  $m_p + m_e = M_{\text{H}^1}$ ,  $N = (A - Z)$ ,  $m_a$  – масса атома, то дефект массы ядра

$$\Delta m = Z \cdot m_{\text{H}^1} + (A - Z)m_n - m_a.$$

**Энергия связи ядра**

$$E_{\text{св}} = (Zm_{\text{H}^1} + (A - Z)m_n - m_a)c^2.$$

**Удельная энергия связи** (энергия связи на нуклон)

$$E_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}.$$

## ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

Символическая запись ядерной реакции (пример):



**Энергия ядерной реакции**

$$E = [(m_1 + m_2) - (m_3 + m_4)]c^2,$$

где  $m_1$  и  $m_2$  – массы покоя ядра-мишени и бомбардирующей частицы;  
 $(m_3 + m_4)$  – сумма масс покоя ядер продуктов реакции.

Если  $(m_1 + m_2) > (m_3 + m_4)$ , то энергия освобождается, реакция *экзотермическая*.

Если  $(m_1 + m_2) < (m_3 + m_4)$ , то энергия поглощается, реакция *эндотермическая*.

Энергия ядерной реакции может быть записана также в виде

$$E = (T_1 + T_2) - (T_3 + T_4),$$

где  $T_1$  и  $T_2$  – кинетическая энергия соответственно ядра-мишени и бомбардирующей частицы;  $T_3$  и  $T_4$  – кинетическая энергия соответственно вылетающей частицы и ядра-продукта реакции.

**Законы сохранения при ядерных реакциях**

числа нуклонов

$$A_1 + A_2 = A_3 + A_4;$$

заряда (электрического)

$$Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4;$$

релятивистской полной энергии

$$E_1 + E_2 = E_3 + E_4;$$

импульса

$$\vec{P}_1 + \vec{P}_2 = \vec{P}_3 + \vec{P}_4.$$

Если общее число ядер и частиц, образовавшихся в результате реакции, больше двух, то запись соответственно дополняется.