

# **Лекция №1.1**

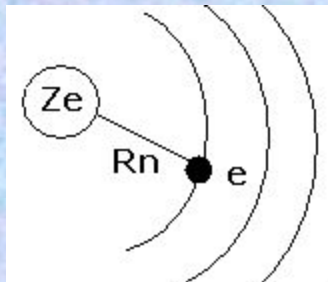
## **«Основные представления ядерной физики»**

- 1. Закономерности квантовой механики**
- 2. Дуализм квантовых объектов**
- 3. Обобщенные заряды**
- 4. Классификация элементарных частиц по группам**
- 5. Статистика элементарных частиц**
- 6. Соотношения неопределенности**
- 7. Единицы измерения энергии в микрофизике**
- 8. Масштабы величин в ядерной физике**
- 9. Релятивистские формулы для свободной частицы**
- 10. Виды взаимодействий в природе**

# Закономерности квантовой механики

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = H\psi \quad \omega = |\psi|^2$$

Уравнение Шредингера и его следствия



$$r_n^e = \frac{n^2 \hbar^2}{ze^2 m_e} \sim \frac{1}{z}$$

$$E_n^e = \frac{z^2 e^4}{2n^2 \hbar^2} \sim z^2,$$

Вывести дома

$$\vec{M} = r \vec{p} \sim r m v \leftrightarrow \hbar l, \quad l = 0, 1, \dots$$

Квантование момента

$$E = \pm \sqrt{m^2 c^4 + p^2 c^2}$$

$e^- \sim \tilde{e}^- \equiv e^+ - \text{позитрон.}$

Решение уравнения Дирака

Античастицы

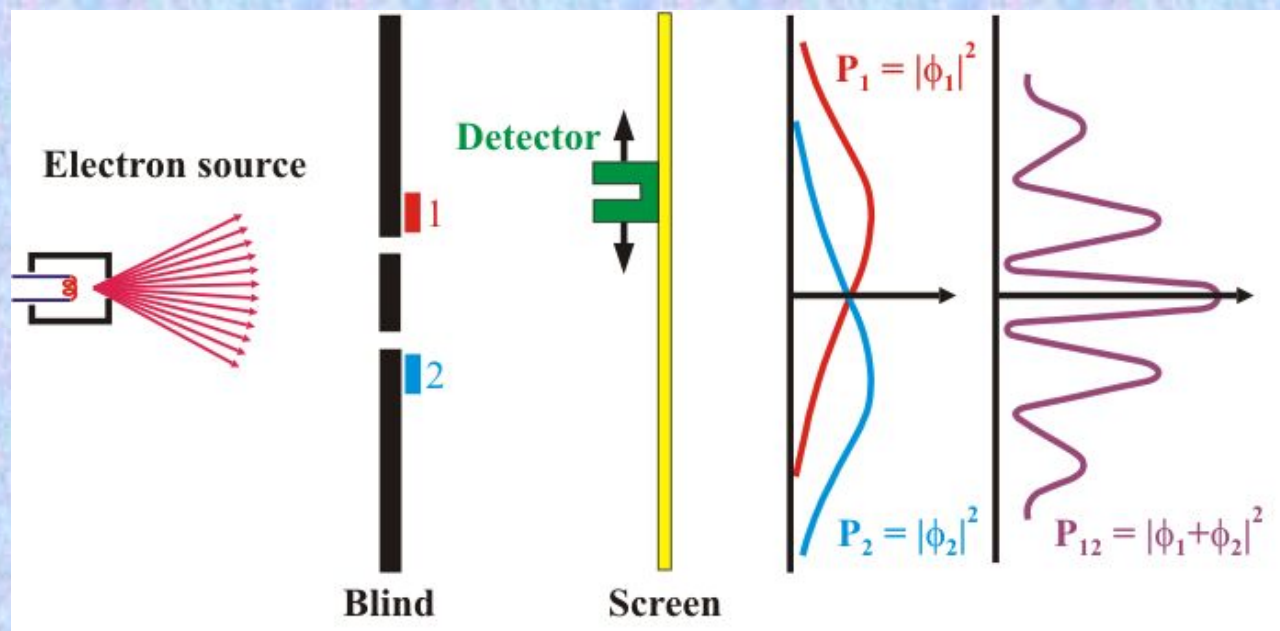
# Дуализм квантовых объектов

масса, скорость, импульс:  
атрибуты частицы

$$m, v, \quad \mathbf{p} = m\mathbf{v}$$

волновые свойства частицы

$$D = \frac{h}{p} = \frac{hc}{pc}$$



# Дискретность и обобщенные заряды

Дискретность частиц  $e^{\pm}$   $\gamma$   $\mu^{\pm}$   $\pi^{+0-}$   $n$   $p^{+}$

Дискретность зарядов  $e^{-} = 4,8 \cdot 10^{-10} e\delta.CGSE$

$|e^{-}| = |p^{+}|$  Заряд ядра  $Z |e^{-}|$

Дискретность масс частицы, ядра

Дискретность энергий  $E_1$   $E_2$   $E_3$  .....уровни ядра

Дискретность моментов  $\overset{|}{S}$ ,  $\overset{|}{L}$ ,  $\overset{|}{\mu}$ ,  $\overset{|}{Q}$ ,  $\overset{|}{I}$ ....

Обобщенные заряды  $Z$  – электрический  $+/- 1, 2, 3...$

$L$  – лептонный  $+1e^{-}...$   $-1e^{+}....$

$B$  - барионный  $+1p, n$   $-1$ анти- $p, n...$

## Обобщенные заряды

$$\text{Лептонный заряд } L = \begin{cases} +1, & \text{для лептонов: } e^-, \mu^-, \nu_e, \nu_\mu, \dots \\ -1, & \text{для антилептонов: } e^+, \mu^+, \tilde{\nu}_e, \tilde{\nu}_\mu, \dots \\ 0, & \text{для всех других частиц: } \gamma, \pi, \rho, n, \dots \end{cases}$$

$$\text{Барионный заряд } B = \begin{cases} +1, & \text{для барионов: } p^+, n, \dots \\ -1, & \text{для антибарионов: } \tilde{p}, \tilde{n}, \dots \\ 0, & \text{для всех других частиц: } \gamma, e, \mu, \nu, \pi, \dots \end{cases}$$

$$\text{Странность } S = \begin{cases} 0, & \text{для обычных частиц} \\ \pm 1, \pm 2, \dots & \text{для странных частиц: } K, \Xi, \dots \end{cases}$$

# Классификация элементарных частиц по группам

Все частицы сгруппированы в четыре класса:

Гамма квант:  $\gamma$      $m_\gamma c^2 = 0$

Лептоны     $e^-, \mu^-, \nu, \dots (m_e c^2 = 0.5 \text{ МэВ}; m_\mu c^2 = 200 m_e c^2 = 100 \text{ МэВ}, \dots)$

Мезоны     $\pi, \kappa, \dots (m_\pi c^2 = 280 m_e c^2 = 140 \text{ МэВ}, m_\kappa c^2 = 496 \text{ МэВ} \dots)$

Барионы     $p, n, \dots (m_p c^2 = 938 \text{ МэВ}, m_n c^2 = 939,6 \text{ МэВ}, \dots)$

Характеристики этих классов частиц значительно

отличаются друг от друга:

-по типу взаимодействий,

-по квантовым числам

# Статистика элементарных частиц

Коллективное поведение тождественных частиц  
зависит от величины спина ( $S$  – дробный или целый)  $S_p = 1/2$   $S_n = 1/2$

$$\psi_{1,2} - \begin{cases} \text{симметричная функция (для частиц с целым спином } s=0,1,\dots) \\ \text{антисимметричная функция (для частиц с дробным спином } s=\frac{1}{2},\dots) \end{cases}$$

дробный спин	- статистика	<i>Ферми-Дирака</i>
целый спин	- статистика	<i>Бозе-Эйнштейна</i>

распределения *Ферми-Дирака* – в одном энергетическом состоянии не могут находиться две частицы с одинаковыми квантовыми числами

Для ядра эти правила коллективного поведения позволяют правильно формировать заполнение нуклонами энергетических уровней

числа  $n, l, j, m_j$

# Единицы измерения энергии в микрофизике

В макро-физике используется система СИ; | в микро-физике - CGSE

Энергия выражается в эВ, кэВ, МэВ,... | эрг (CGSE)

$$1 \text{ В} = q \cdot V = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} \cdot 1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ эВ}$$

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{M_{\text{ат}} \left( {}_{6}^{12}\text{C} \right)}{12 \text{ (число нуклонов)}} = \frac{12 \text{ Г} \cdot 1}{N_{\text{Ав}} \cdot 12} = \frac{1}{6 \cdot 10^{23}} \text{ Г} = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ Г}$$

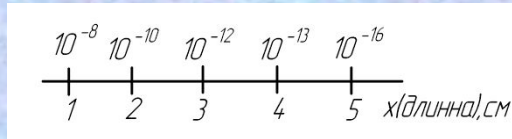
$$1 \text{ а.е.Е} = 1 \text{ (а.е.м.)} \cdot c^2 = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{ Г} \cdot \left( 10^{10} \frac{\text{см}}{\text{сек}} \right)^2 = 1,6 \cdot 10^{-8} \text{ эрг} = 931,5 \text{ МэВ}$$

Единица длины см, ферми ( $10^{-13}$  см)

Единица времени с, мс ( $10^{-3}$ ), мкс ( $10^{-6}$ ), нс ( $10^{-9}$ )

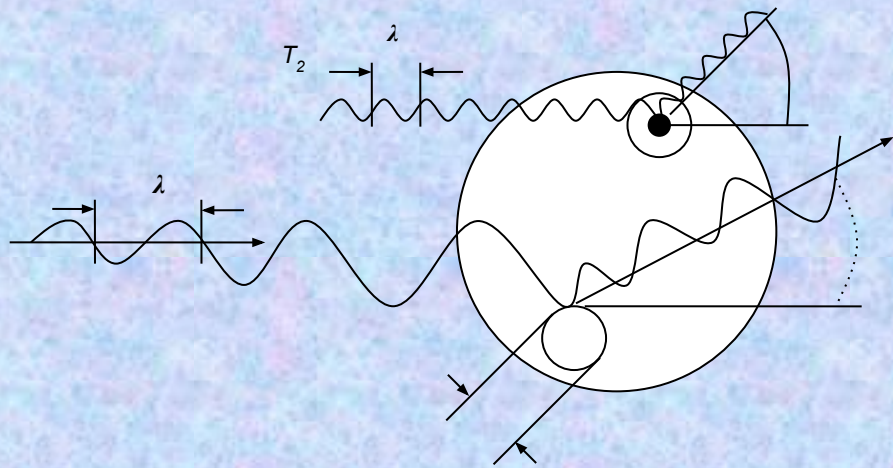


# Масштабы величин в ядерной физике



- молекулы  $10^{-8} \div 10^{-10}$  —
- атомная  $10^{-9} \div 10^{-10}$  —
- и  $10^{-12}$  меньше - характерные размеры ядра
- размер нуклона  $R_{\text{ял}} \approx R_0 A^{1/3}$ ,  $R_0 \approx 1.2$  ф.е.  $\rightarrow$
- бваржинь  $10^{-16}$  —

Зачем нужны энергии в диапазоне от долей эВ до тысяч МэВ?



$$T \uparrow \rightarrow P \uparrow \rightarrow \lambda \downarrow \approx R \times$$

# Релятивистские формулы для свободной частицы

$E = Mc^2$  – формула Эйнштейна для полной энергии частицы

$M = \frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}}$  где  $M$ -динамическая масса,  $m$ -масса покоя

$E = T + mc^2$  где  $E$  полная энергия, а  $T$  – кинетическая энергия

Импульс  $p = MV = \frac{m}{\sqrt{1-\beta^2}} V = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$ , где  $\beta = \frac{V}{c}$  – относительная скорость

$$E = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} \quad pc = \sqrt{(E + mc^2)(E - mc^2)}$$

$$\beta = \frac{pc}{E} = \frac{pc}{m\sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2}} = \frac{\sqrt{T(T + 2mc^2)}}{T + mc^2}$$

$$T = E - mc^2 = \sqrt{(pc)^2 + (mc^2)^2} - mc^2;$$

Размерность импульса  $[pc] = \text{эВ}$  или эрг;

Пример записи:  $p = 10 \text{ МэВ}$ ; иначе  $p = 10 \frac{\text{МэВ}}{c}$ ;

Эквивалентное соотношение для

$$E_\gamma = T_\gamma = pc.$$

Время жизни частицы при движении возрастает  $\tau = \tau_0 \frac{E}{mc^2} = \tau_0 \frac{T + mc^2}{mc^2}$ ;

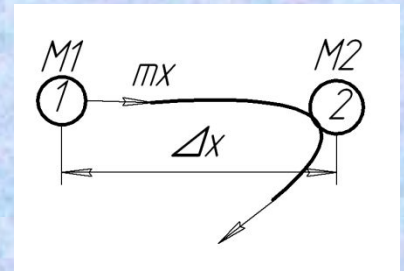
$\tau_0$  – время жизни в собственной системе координат ( $v=0$ ).



# Виды взаимодействий в природе

$\Delta p \Delta x \approx \hbar$     Взаимодействие двух частиц

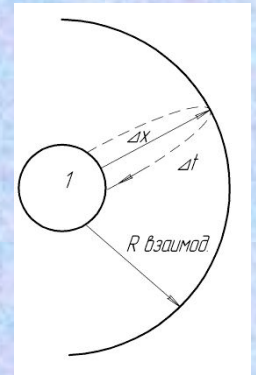
$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta E \Delta t \approx \hbar \\ \Delta E \Delta t \approx m_x c^2 \cdot \frac{\Delta x}{V} \approx \hbar \longrightarrow \Delta x = \frac{\hbar c}{m_x c^2} \end{array} \right.$$



**Сильное взаимодействие**

$$R_{\text{сильн}} \approx \frac{\hbar c}{M_{\pi} c^2} = \frac{\hbar c}{140} = \frac{1 \cdot 200 \text{Ф}}{140} = 1,4 \cdot 10^{-13}$$

**переносчик Пи-мезон,  $m c^2 \approx 140 \text{ МэВ}$**



**Электромагнитное взаимодействие**

$$R_{\text{э/м}} = \frac{\hbar c}{m_{\gamma} c^2} = \frac{\hbar c}{0} = \infty$$

**переносчик гамма-квант,  $m c^2 = 0$**

**Слабое взаимодействие**

$$R_{\text{слаб}} \approx \frac{\hbar c}{m_w c^2} \approx R \cdot \frac{1}{10^3} \approx 10^{-16}$$

**переносчик W-бозон,  $m c^2 \approx 100 \text{ ГэВ}$**

$$E = \frac{p^2}{2m}, \quad \Delta E = \frac{2 p \Delta p}{2m} = v \Delta p$$

$$\Delta E = v \Delta p \approx c \Delta p$$

---


$$\Delta p \Delta x \approx \hbar \quad (1)$$

$$\Delta p \cdot v \Delta t \approx \hbar$$

$$\Delta p \cdot c \Delta t \approx \hbar \quad (1')$$

Конец  
первой части  
лекции