

Лекция №1.1

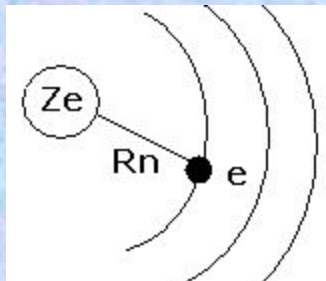
«Основные представления ядерной физики»

- 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

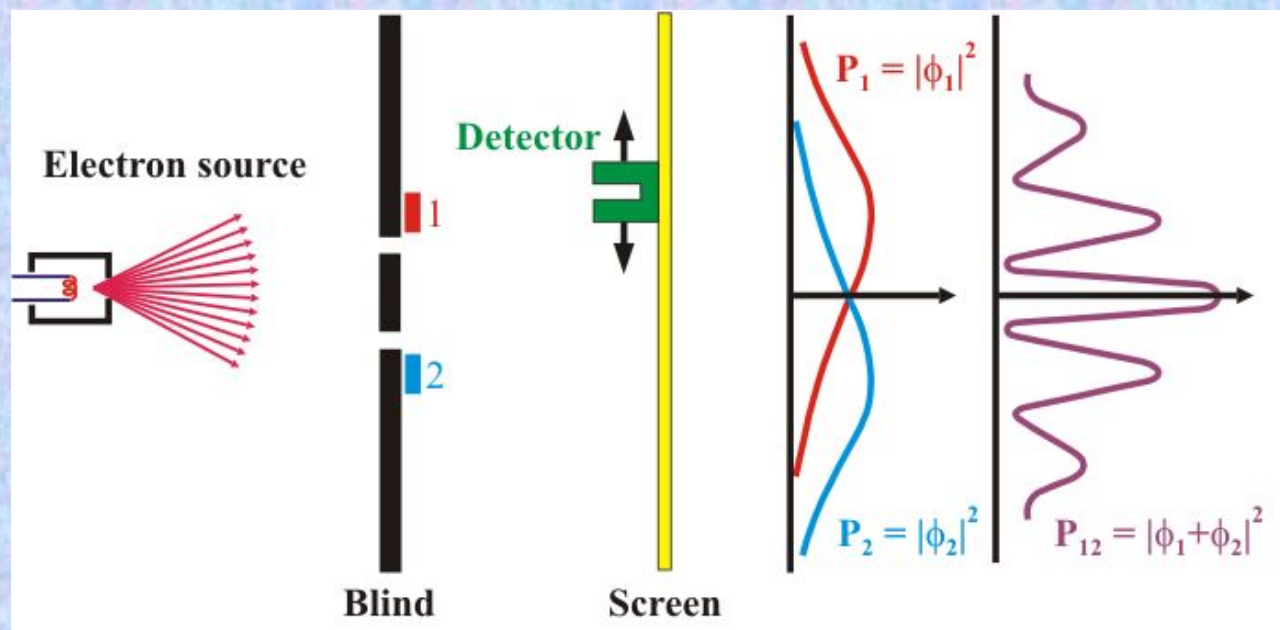
Дуализм квантовых объектов

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

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

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

Дискретность масс частицы, ядра

Дискретность энергий $E_1 \quad E_2 \quad E_3 \dots \dots \dots$ уровни ядра

Дискретность моментов $\overset{!}{S}, \overset{!}{L}, \overset{!}{\mu}, \overset{!}{Q}, \overset{!}{I} \dots$

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

L – лептонный $+1e^{-} \dots -1e^{+} \dots$

B - барионный $+1p, n -1 \text{ анти-} p, -n \dots$

Обобщенные заряды

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

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

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

Классификация элементарных частиц по группам

Все частицы сгруппированы в четыре класса:

Гамма квант: γ $m_\gamma c^2 = 0$

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 $p, n, \dots (m_p c^2 = 938,3 \text{ МэВ}, m_n c^2 = 939,6 \text{ МэВ}, \dots)$

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) $S_p = 1/2$ $S_n = 1/2$

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

дробный спин

- статистика

Ферми-Дирака

целый спин

- статистика

Бозе-Эйнштейна

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)

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

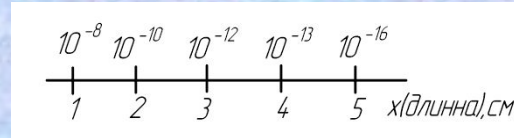
$$1\text{а.е.м} = \frac{M_{\text{ат}} \left({}^{12}_6\text{C} \right)}{12 \left(\text{число нуклонов} \right)} = \frac{12\text{г} \cdot 1}{N_{\text{Ав}} \cdot 12} = \frac{1}{6 \cdot 10^{23}} \text{г} = 1,6 \cdot 10^{-24} \text{г}$$

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

Единица длины см, ферми (10^{-13} см)

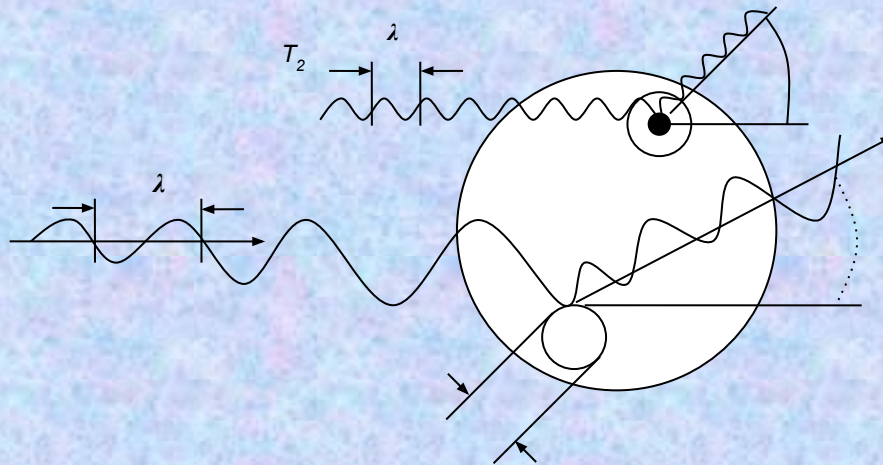
Единица времени с, мс (10^{-3}), мкс (10^{-6}), нс (10^{-9})

Масштабы величин в ядерной физике



- молекулы - 10⁻⁸ ÷ 10⁻¹⁰ —
- атомы - 10⁻⁹ ÷ 10⁻¹⁰ —
- и ускорение - 10⁻¹² — характерные размеры ядра
- размер нуклона R ядра $R = R_0 A^{1/3}$, где $R_0 = 1.4$ фм
- близость - 10⁻¹⁶ —

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



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

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

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

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

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

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 $\tau = \tau_0 \frac{E}{mc^2} = \tau_0 \frac{T + mc^2}{mc^2}$;

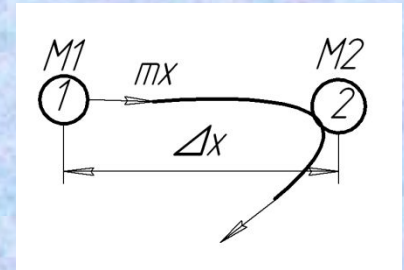
τ_0 – время жизни в собственной системе координат ($v=0$).

!

Виды взаимодействий в природе

$\begin{cases} \Delta p \Delta x \approx \hbar \\ \Delta E \Delta t \approx \hbar \end{cases}$ Взаимодействие двух частиц

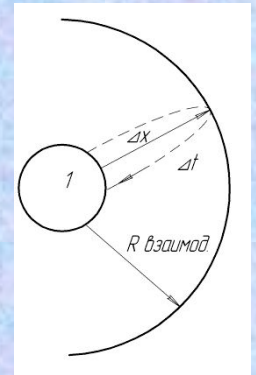
$$\Delta E \Delta t \approx m_x c^2 \cdot \frac{\Delta x}{V} \approx \hbar \longrightarrow \Delta x = \frac{\hbar c}{m_x c^2}$$



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

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

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