

Кислицын А.А.

Физика атома, атомного ядра и элементарных частиц

01.(0) Специфика законов в
микром мире. Основные формулы
теории относительности.

Специфика законов в микромире

В физике атома, ядра и элементарных частиц изучаются явления, происходящие на очень малых расстояниях, очень быстро, при больших скоростях и энергиях, приходящихся на одну частицу.

Характерные размеры:

атом $\sim 10^{-10}$ м (0.1 нанометра, или 1 ангстрем),

протон $\sim 10^{-15}$ м = 1 фм (1 фемтометр),

атомное ядро $\sim 10^{-14}$ м = 10 фм (10 фемтометров).

Характерные времена: физика атома $\sim 10^{-8}$ с - 10^{-11} с,

физика ядра и элементарных частиц $\sim 10^{-8}$ с - 10^{-24} с.

Характерные энергии: десятки Эв в физике атома, миллионы Эв (Мэв) в ядерной физике, миллиарды и триллионы Эв (Гэв и Тэв) в физике элементарных частиц.

Специфика законов в микромире

При больших скоростях и высоких энергиях классическая механика Ньютона перестает быть справедливой, и должна быть заменена релятивистской механикой.

Другой особенностью законов микромира является дискретная структура энергетических спектров атомов, атомных ядер, элементарных частиц. Фундаментальной константой, характеризующей эту дискретность, является постоянная Планка:

$$h \approx 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

Квантовыми свойствами нельзя пренебречь, если малы массы частиц и расстояния между ними, поэтому нам придется изучить некоторые основные законы квантовой теории.

Основные формулы теории относительности

- Замедление хода движущихся часов

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - V^2 / c^2}}$$

- Лоренцево сокращение длины (Lorentz H.)

$$L = L_0 \cdot \sqrt{1 - V^2 / c^2}$$

Основные формулы теории относительности

- Сложение скоростей

$$V = \frac{V_1 + V_2}{1 + \frac{V_1 V_2}{c^2}}$$

Основные формулы теории относительности

Зависимость массы от скорости

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}}$$

Связь между массой и энергией (Einstein A.)

$$E = mc^2 \quad - \text{ полная энергия}$$

$$E_0 = m_0c^2 \quad - \text{ энергия покоя}$$

$$T = E - E_0 \quad - \text{ кинетическая энергия}$$

Массы покоя некоторых элементарных частиц

Электрон: $m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг} = 511 \text{ кэВ} = 0.511 \text{ МэВ}$

Протон: $m_p = 1.6724 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 938.3 \text{ МэВ}$

Нейтрон: $m_n = 1.6748 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 939.6 \text{ МэВ}$

Разность масс нейтрона и протона:

$$m_n - m_p = 1.3 \text{ МэВ}$$

(Для справки: электрон-вольт: $1 \text{ ЭВ} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$)

Основные формулы теории относительности

- Соотношение между энергией и импульсом

$$E^2 - p^2 c^2 = m_0^2 c^4$$

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - m_0^2 c^4} = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - E_0^2}$$

Критерии применимости нерелятивистских формул

$$v \ll c \quad \text{или} \quad T \ll E_0$$

Если, например, кинетическая энергия протона равна 1 Мэв, то это много меньше его энергии (массы) покоя, которая равна 938.3 Мэв, поэтому в данном случае можно пользоваться нерелятивистскими формулами.

Если же электрон имеет энергию 1 Мэв, то он является релятивистским, т.к. для него $T > E_0$.

Ультрарелятивистские частицы

Если $T \gg E_0$, то у такой частицы скорость v почти равна скорости света c ($v \approx c$), а импульс

$$p = \frac{1}{c} \sqrt{E^2 - m_0^2 c^4} \approx \frac{1}{c} \sqrt{E^2} = \frac{E}{c}$$

(как для фотона). Такая частица называется ультрарелятивистской.

Фотон с любой энергией является ультрарелятивистской частицей. Его скорость всегда равна скорости света, масса покоя равна нулю, а релятивистская масса может быть определена из соотношения

$$E = mc^2 = h\nu :$$

$$m_{\text{фотона}} = h\nu/c^2.$$