

Раздел V. Атомная и ядерная физика.

Глава 6. Элементы ядерной физики.

1. Состав ядра.

Ядро атома водорода состоит из одного протона. Все остальные ядра атомов состоят из протонов и нейтронов, которые имеют общее название нуклоны.

Протон $m_p = 938,28 \text{ МэВ} \quad (m_p c^2)$

$$q_p = +e$$

$$\text{спин } \frac{1}{2}$$

$$\text{магнитный момент } \mu_p = +2,79 \mu_{\text{я}}$$

$$\mu_{\text{я}} = \frac{e\hbar}{2m_p c} = 5,05 \cdot 10^{-24} \frac{\text{эрг}}{\text{гс}} - \text{ядерный}$$

магнетон Бора

Нейтрон $m_n = 939,57 \text{ МэВ}$

$$q_n = 0$$

$$\text{спин } \frac{1}{2}$$

$$\mu_n = -1,91 \mu_{\text{я}}$$

В свободном состоянии нейтрон нестабилен:

$$n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e \quad \approx 12 \text{ мин (период полураспада)}$$

Для обозначения ядер применяют символ

$${}^A_Z X \quad \begin{array}{l} Z - \text{число протонов} \\ A=N+Z - \text{число нуклонов} \end{array}$$

Ядра с одинаковыми Z , но с разными A – изотопы.

Пример: изотопы водорода. ${}_1^1H$ - водород
 ${}_1^2H$ - дейтерий
 ${}_1^3H$ - тритий

Размеры ядер:

$$r = r_0 A^{\frac{1}{3}}$$

$$r_0 = 1,3 \cdot 10^{-13} \text{ см} = 1,3 \text{ ферми}$$

Соотношение протонов и нейтронов: $N = Z$ легкие

ядра

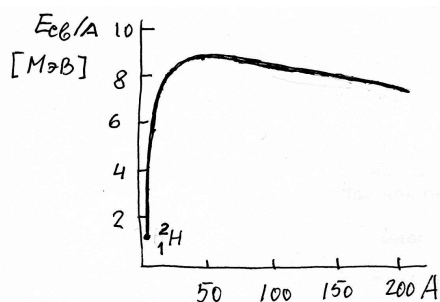
$$N = (1 \div 1,5)Z$$

тяжелые

Энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = c^2 [Zm_p + Nm_n - m_{\text{я}}]$$

(масса ядра всегда меньше суммы масс протонов и нейтронов). Зависимость удельной энергии связи $E_{\text{св}}/A$ от A имеет вид:



Энергетически возможны два процесса:
 а) деление тяжелых ядер
 б) слияние легких

Взаимодействие между нуклонами в ядре осуществляется посредством сильного взаимодействия.

Основные особенности сильного взаимодействия:

- короткодействующее $\sim 10^{-13}$ см
- не зависит от электрического заряда нуклона
- зависит от взаимной ориентации спинов нуклонов (${}_1^2H$ существует только когда спины $\uparrow\uparrow$)
- нецентральное (связано с предыдущим свойством)
- обладает насыщением (каждый нуклон в ядре взаимодействует с ограниченным числом нуклонов), проявляется в том, что удельная энергия связи ядра остается примерно постоянной с ростом числа нуклонов при $A > 50$.

2. Радиоактивность.

Закон радиоактивного распада:

$$dN = -\lambda N dt \Rightarrow \boxed{N = N_0 e^{-\lambda t}}$$

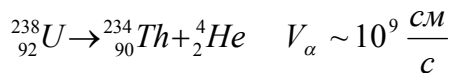
$$\boxed{N = N_0 2^{-t/T}}$$

λ - постоянная распада

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \text{ - период полураспада}$$

N – количество нераспавшихся ядер

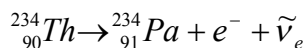
а) α - распад ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z-2}^{A-4} Y + {}_2^4 He$ $E_\alpha \sim 6 \text{ МэВ}$



(торий) (α - частица)

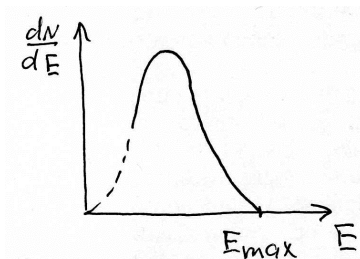
Пробег α - частиц в воздухе $\sim$ нескольких см

б) β - распад ${}_Z^A X \rightarrow {}_{Z+1}^A Y + e^- + \tilde{\nu}_e$



(торий) (протактиний)

Процесс протекает так, как если бы один из нейтронов превратился в протон $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e$



Спектр электронов

непрерывный и ограничен:

$$E_{\max} = c^2 [m_x - m_y - m_e]$$

При $E < E_{\max}$ разницу

$$E_{\max} - E \text{ уносит нейтрино}$$

(это и было

экспериментальным

основанием существования нейтрино)

$E_{\max} \sim 1 \text{ МэВ}$, пробег электронов в воздухе $\sim$ метра.

в) γ - излучение (фотоны больших энергий)

При α и β распадах дочернее ядро Y может появляться не только в нормальном, но и возбужденном состоянии. Время жизни возбужденных состояний большинства ядер составляет

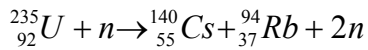
$$\tau \sim 10^{-8} - 10^{-15} \text{ с}.$$

Девозбуждение может происходить разными способами, один из которых – излучение γ - кванта.

$E_\gamma \sim 0,5 \text{ МэВ}$. Пробег в воздухе $\sim$ километр, бетон толщиной 10 см ослабляет в ~ 2 раза.

3. Деление ядер.

При облучении некоторых тяжелых элементов нейтронами происходит деление ядра на осколки примерно равной массы с выделением большой энергии $\sim 200 \text{ МэВ}$.

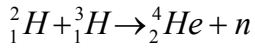


Важным обстоятельством является то, что при делении образуется 2-3 нейтрона, которые в свою очередь могут инициировать деление следующих ядер
→ цепная реакция → взрыв.

4. Реакции синтеза.

Слияние легких ядер, как и деление тяжелых, сопровождается выделением большой энергии.

В реакции



выделяется 17,6 МэВ, используется в водородной бомбе. Трудность осуществления реакции синтеза заключается в том, что ядра должны преодолеть кулоновское отталкивание, т.е. обладать достаточной кинетической энергией.

$$E = \frac{z_1 z_2 e^2}{r_{\text{я}}}$$

Даже для ядер изотопов водорода ($z_1 = z_2 = 1$)

$$E \sim 0,7 \text{ МэВ} \rightarrow \text{необходимы температуры } 10^7 - 10^8 \text{ К}$$

Вопросы.

1. Что такое нуклоны.
2. Энергия связи ядра.
3. Закон радиоактивного распада.
4. Что такое α - распад.
5. Что такое β - распад.
6. Что такое γ - распад.
7. Реакции деления ядер.
8. Реакции синтеза ядер.