

20.7. Ядерные реакции и законы сохранения

20.7.1. Покоившееся ядро полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$ выбросило α -частицу с кинетической энергией $E_{\kappa} = 5,3$ МэВ. Определите кинетическую энергию ядра отдачи и полную энергию, выделившуюся при α -распаде.

20.7.2. Возбужденное ядро атома массой m и энергией возбуждения ΔE переходит в основное состояние, излучая γ -квант. Определите частоту γ -кванта, если ядро: а) неподвижно; б) движется в результате отдачи при излучении.

20.7.3. Неподвижное ядро изотопа калия ${}^{40}_{19}\text{K}$ испускает γ -квант с энергией $E_{\gamma} = 9,4$ кэВ. Определите кинетическую энергию ядра после испускания γ -кванта.

20.7.4. При бомбардировке покоящегося литиевого ядра ${}^7_3\text{Li}$ протонами образуются два одинаковых ядра, разлетающихся симметрично по отношению к налетающим протонам. Запишите ядерную реакцию и определите отношение кинетической энергии падающих протонов к суммарной кинетической энергии продуктов реакции, если угол разлета осколков $\theta = 170^\circ$. Масса протона $m_p = 1,00783$ а.е.м., масса образовавшегося ядра $m = 4,00388$ а.е.м. Скорости ядер и протонов много меньше скорости света.

20.7.5. Протоны, налетающие на неподвижную литиевую мишень ${}^7_3\text{Li}$, вырывают из нее нейтроны. Запишите ядерную реакцию. При какой кинетической энергии протона возникающий нейтрон может оказаться покоящимся? Скорости ядер и частиц много меньше скорости света.

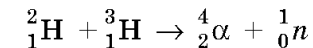
20.7.6. Покоящееся ядро полония ${}^{210}_{84}\text{Po}$ испустило α -частицу. Ядро какого атома при этом образовалось? Какую долю полной энергии, освобождаемой в данном процессе, составляет кинетическая энергия образовавшегося ядра? Масса образовавшегося ядра $m = 206,087$ а.е.м. Скорости ядер и α -частицы много меньше скорости света.

• **20.7.7.** Найдите кинетическую энергию нейтрона, который образуется в результате ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$. Кинетическую энергию дейтерия и трития не учитывать.

20.7.8. Пороговая (наименьшая) энергия нейтронов, необходимая для возбуждения реакции ${}^{11}_5\text{B} + {}^1_0\text{n} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^8_3\text{Li}$ на покоящихся ядрах бора, $E_{\text{п}} = 4$ МэВ. Какая энергия выделяется или поглощается в результате реакции? Учтите, что при пороговом значении кинетической энергии бомбардирующей частицы относительная скорость частиц, возникающих в реакции, равна нулю. Скорости ядер и частиц считать много меньше скорости света. Масса ядра бора $m_{{}^{11}_5\text{B}} = 11,0211$ а.е.м.

20.7.9. Ядерная реакция ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{p}$ может идти, если налетающие на неподвижные ядра азота α -частицы имеют энергию, превышающую пороговую энергию $E_{\text{п}} = 14,5$ МэВ. Определите минимальную энергию, поглощаемую в такой реакции.

• **20.7.10.** Реакцию синтеза дейтерия и трития



получают, направляя ускоренные до энергии $E_{\text{д}} = 2$ МэВ ионы дейтерия на практически неподвижные атомы трития (тритиевую мишень). Детектор регистрирует нейтроны, вылетающие перпендикулярно направлению потока дейтронов. Определите энергию $E_{\text{п}}$ регистрируемых нейтронов, если в реакции выделяется энергия $\Delta E = 17,6$ МэВ.

Ответы:

20.7.1. $E_{\alpha} = 0,104$ МэВ; $Q = 5,4$ МэВ.

20.7.2. а) $v = \frac{\Delta E}{h}$;

б) $v = \frac{mc^2}{h} \left(\sqrt{1 + \frac{2\Delta E}{mc^2}} - 1 \right)$.

20.7.3. $E_{\text{кин}} = \frac{E_{\gamma}^2}{2m_{\alpha}c^2} \approx 1,2 \cdot 10^{-3}$ эВ.

20.7.4. ${}^7_3\text{Li} + p \rightarrow 2 {}^4_2\text{He}$;

$\frac{E_{\text{кин}p}}{E_{\text{кин}}} = 2 \frac{m}{m_p} \cos^2(\theta/2) \approx 0,06$.

20.7.5. ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{p} \rightarrow {}^7_4\text{Be} + {}^1_0\text{n}$;

$E = \frac{m_{{}^7_4\text{Be}}}{m_{{}^7_4\text{Be}} - m_p} \cdot 931,5 \left(m_{{}^7_4\text{Be}} + m_n - m_{{}^7_3\text{Li}} - m_p \right) \approx 1,9$ МэВ.

20.7.6. Ядро атома свинца ${}^{206}_{82}\text{Pb}$;
 $\eta = \frac{E}{Q} = \frac{m_{\alpha}}{m + m_{\alpha}} \approx 0,019 = 1,9\%$.

20.7.8.
 $E_{\text{мин}} = E_{\text{п}} \frac{m_{{}^{14}_7\text{N}}}{m_{{}^{14}_7\text{N}} + m_{{}^4_2\text{He}}} \approx 11,28$ МэВ.

20.7.9. $E = E_{\text{п}} \frac{m_{{}^{11}_5\text{B}}}{m_{{}^{11}_5\text{B}} + m_p} \approx 3,66$ МэВ.