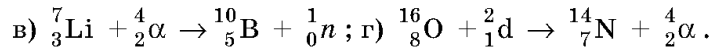
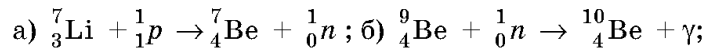


20.6. Энергия ядерной реакции

• **20.6.1.** Определите энергию ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow 2\,{}^4_2\text{He}$.

20.6.2. Определите тепловые эффекты следующих реакций:



20.6.3. Какую минимальную энергию должна иметь α -частица для осуществления ядерной реакции ${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$?

20.6.4. Найдите энергию γ -кванта, излученного при ядерной реакции ${}^2_1\text{H} + \text{n} \rightarrow {}^3_1\text{H} + \gamma$.

20.6.5. При взрыве водородной бомбы протекает термоядерная реакция образования атомов гелия ${}^4_2\text{He}$ из дейтерия ${}^2_1\text{H}$ и трития ${}^3_1\text{H}$. Напишите ядерную реакцию и определите ее энергетический выход.

20.6.6. Определите энергию ядерной реакции ${}^9_4\text{Be} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^{10}_4\text{Be} + {}^1_1\text{H}$. Какая энергия выделится при полной реакции бериллия массой $m = 1$ г?

20.6.7. Термоядерная реакция ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p}$ идет с выделением энергии $E_1 = 18,4$ МэВ. Какая энергия выделится в реакции ${}^3_2\text{He} + {}^3_2\text{He} \rightarrow {}^4_2\text{He} + 2\,{}^1_1\text{p}$, если дефект массы ядра ${}^3_2\text{He}$ на $\Delta m = 0,006$ а.е.м. больше, чем у ядра ${}^2_1\text{H}$?

20.6.8. Используя определение энергии связи, покажите, что энергию, необходимую для разделения ядра C на ядра A и B , можно представить в виде: $E_{AB} = E_C - (E_A + E_B)$, где E_A, E_B, E_C — энергии связи соответствующих ядер. Определите энергию, необходимую для разделения ядра кислорода ${}^{16}_8\text{O}$ на α -частицу и ядро углерода ${}^{12}_6\text{C}$. Энергии связи: $E_{16_8\text{O}} = 127,62$ МэВ, $E_\alpha = 28,30$ МэВ, $E_{12_6\text{C}} = 92,16$ МэВ.

20.6.9. При реакции ${}^6_3\text{Li} + {}^2_1\text{H} \rightarrow {}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{p}$ выделяется энергия $Q = 5,028$ МэВ. Энергия связи ядра лития $E_1 = 39,2$ МэВ, дейтерия $E_2 = 1,72$ МэВ. Определите массу ядра лития.

20.6.10. При делении ядер с удельной энергией связи $\varepsilon = 8,5$ МэВ/нукл образуются два осколка — один с массовым числом $A_1 = 140$ и удельной энергией связи $\varepsilon_1 = 8,3$ МэВ/нукл, другой — с массовым числом $A_2 = 94$ и удельной энергией связи $\varepsilon_2 = 8,6$ МэВ. Оцените количество теплоты, которое выделится при делении массы $m = 1$ г исходных ядер. Считать $m_p = m_n = 1,6724 \cdot 10^{-27}$ кг.

20.6.11. Считая, что в одном акте деления ядра урана ${}^{235}\text{U}$ освобождается энергия $E_0 = 200$ МэВ, определите энергию, выделяющуюся при сгорании $m = 1$ кг урана, и массу каменного угля m_1 , эквивалентную в тепловом отношении 1 кг урана.

20.6.12. При делении ядра урана ${}^{235}\text{U}$ выделяется энергия $Q = 200$ МэВ. Какую долю энергии покоя урана составляет выделившаяся энергия?

20.6.13. Определите массовый расход ядерного горючего ${}^{235}\text{U}$ в ядерном реакторе атомной электростанции. Тепловая мощность электростанции $P = 10$ МВт; ее КПД $\eta = 20\%$. Энергия, выделяющаяся при одном акте деления, $Q = 200$ МэВ.

20.6.14. Найдите мощность атомной станции, расходующей в сутки $m = 220$ г изотопа урана ${}^{235}\text{U}$ и имеющей КПД $\eta = 25\%$. Считать, что в одном акте деления ${}^{235}\text{U}$ выделяется энергия $Q = 200$ МэВ.

• **20.6.15.** Для плавления алюминия используется энергия, выделяющаяся при позитронном β -распаде изотопов углерода ${}^{11}_6\text{C}$, причем каждое ядро углерода испускает один позитрон. Продукты распада не радиоактивны. Сколько потребуется углерода ${}^{11}_6\text{C}$ для выполнения плавки $M = 100$ т алюминия за $t = 30$ мин, если начальная температура алюминия $\theta_0 = 20$ °С?

20.6.16. Натрий ${}^{24}_{11}\text{Na}$ массой $m = 10$ г, испытывающий электронный β -распад, помещают в ампуле в цистерну, содержащую $M = 1000$ т воды. Продукты распада не радиоактивны. Период полураспада натрия $T = \frac{2}{3}$ суток. На сколько градусов возрастет температура воды за первые сутки от начала распада натрия?

20.6.17. Полоний ${}^{210}_{84}\text{Po}$ распадается с испусканием α -частицы и образованием ядер свинца. Продукты распада не радиоактивны. Период полураспада полония $T = 140$ дней. Какую массу льда, взятого при температуре $\theta = 0$ °С, можно растопить, используя энергию, выделяющуюся при распаде $m = 10$ г полония за время $t = 35$ дней?

Ответы:

20.6.2. а) $Q = -1,65$ МэВ;

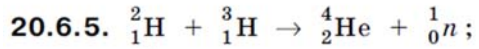
б) $Q = 6,82$ МэВ; в) $Q = -2,79$ МэВ;

г) $Q = 3,11$ МэВ.

20.6.3. $E_{\min} = c^2(m_1 + m_2 + m_3 + m_4) \approx 2,8$ МэВ.

20.6.4.

$$E = 931,5 \left(m_{\text{H}}^2 + m_n - m_{\text{H}}^3 \right) = 6,28 \text{ МэВ.}$$



$$Q = 931,5 \left(m_{\text{H}}^2 + m_{\text{H}}^3 - m_{\text{He}}^4 - m_n \right) \approx 17,57 \text{ МэВ.}$$

20.6.6. $E_1 = c^2 \left(m_{\text{Be}}^9 + m_{\text{H}}^2 - m_{\text{Be}}^{10} - m_{\text{H}}^1 \right) = 7,39 \cdot 10^{-13}$ Дж;

$$E = E_1 \frac{m}{M} N_A \approx 4,9 \cdot 10^{10} \text{ Дж.}$$

20.6.7. $Q = E_1 + 931,5 \Delta m = 18,389$ МэВ.

20.6.8. $E = 7,16$ МэВ.

20.6.9. $m = 3(m_p + m_n) - \frac{E_1 - (Q + E_2)}{931,5} \approx$

$$m = 3(m_p + m_n) - \frac{E_1 - (Q + E_2)}{931,5} \approx$$

$$\approx 6,013 \text{ а.е.м.} \approx 9,98 \cdot 10^{-27} \text{ кг.}$$

20.6.10.

$$Q = [(A_1 + A_2)\epsilon - A_1\epsilon_1 - A_2\epsilon_2] \frac{m}{m_p} \approx 1,78 \cdot 10^{12} \text{ Дж.}$$

20.6.11. $Q = \frac{m}{M} N_A E_0 = 8,2 \cdot 10^{10}$ кДж;

$$m_1 = \frac{Q}{q} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ кг, где } q \text{ — удельная теплота сгорания топлива.}$$

20.6.12. $\eta = 0,00091$.

20.6.13. $m = 53$ г в сутки.

20.6.14. $P = 53$ МВт.

20.6.16. $\Delta t \approx 56,8$ °С.

20.6.17. $M \approx 1,16 \cdot 10^4$ кг.