

Ядерные реакции

Энергетический выход ядерной реакции — это разность Q кинетической энергии продуктов реакции и кинетической энергии исходных частиц. Если $Q > 0$, то реакция идёт с *выделением энергии*; если $Q < 0$, то реакция идёт с *поглощением энергии*.

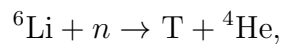
ЗАДАЧА 1. Ядерная реакция, в которой частица массы m налетает на неподвижную частицу-мишень массы M , может идти, если энергия налетающей частицы превышает пороговое значение T . Какая энергия поглощается в этой реакции?

$$J \frac{m+M}{M} = \partial$$

ЗАДАЧА 2. (МФТИ, 1979) Радон — это α -радиоактивный газ с атомным весом $A = 222$. Какую долю полной энергии, освобождаемой при распаде радона, уносит α -частица?

$$286\% = \frac{v}{v-v} = \frac{J}{vL}$$

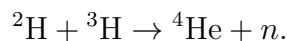
ЗАДАЧА 3. (МФТИ, 1976) При захвате нейтрона ядром лития происходит ядерная реакция



в которой выделяется энергия $Q = 4,8$ МэВ. Найти распределение энергии между продуктами реакции, считая кинетическую энергию исходных частиц пренебрежимо малой.

$$E_{\text{T}} = \frac{m_{\alpha}}{m_{\alpha} + m_{\text{T}}} Q = 2,74 \text{ МэВ}, E_{\alpha} = \frac{m_{\text{T}}}{m_{\alpha} + m_{\text{T}}} Q = 2,06 \text{ МэВ}$$

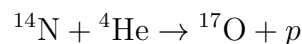
ЗАДАЧА 4. (МФТИ, 1979) В результате взаимодействия ядер дейтерия и трития образуются ядро гелия и нейтрон:



При этом выделяется значительная энергия. Какую часть её уносит с собой нейтрон? Кинетическими энергиями дейтерия и трития до реакции можно пренебречь по сравнению с выделившейся энергией.

$$8\%$$

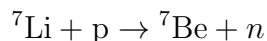
ЗАДАЧА 5. (МФТИ, 1980) Ядерная реакция



может идти, если налетающие на неподвижные ядра азота α -частицы имеют энергию, превышающую пороговую энергию $E_{\text{п}} = 1,45$ МэВ. На сколько энергия α -частиц должна быть больше пороговой, чтобы кинетическая энергия образующихся в реакции протонов была равна нулю?

$$\Delta E = E_{\text{п}} \left(\frac{m_{\text{O}} + m_{\text{N}}}{m_{\text{O}} + m_{\text{N}}} \right) \left(\frac{m_{\text{O}} - m_{\text{N}}}{m_{\text{O}} + m_{\text{N}}} \right) \approx \frac{11}{2} E_{\text{п}} \approx 25 \text{ кэВ}$$

ЗАДАЧА 6. (МФТИ, 1980) В ядерной реакции



протоны налетают на покоящиеся ядра лития. Если энергия налетающих протонов равна $E = 1,92$ МэВ, то нейтроны, образующиеся в реакции, покоятся. На сколько можно уменьшить энергию налетающих протонов, чтобы реакция вообще могла идти?

$$\Delta E \approx E \frac{6}{7} = 1,64 \text{ МэВ}$$

ЗАДАЧА 7. (МОШ, 2007, 11) Если направить поток протонов на кусок льда из тяжёлой воды D_2O , то при минимальной кинетической энергии протонов $E_1 = 1,4$ МэВ происходит ядерная реакция с образованием ядер ${}^3_2\text{He}$. Какую минимальную кинетическую энергию E_2 надо сообщить ядрам дейтерия, чтобы при их попадании на кусок льда из обычной воды произошла эта же ядерная реакция?

$$E_2 = 2E_1 = 2,8 \text{ МэВ}$$

Массы покоя протона, нейтрона и электрона:

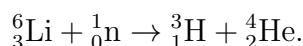
$$m_p = 1,00728 \text{ а. е. м.}, \quad m_n = 1,00867 \text{ а. е. м.}, \quad m_e = 0,00055 \text{ а. е. м.}$$

ЗАДАЧА 8. а) Какую минимальную работу (против действия ядерных сил) необходимо совершить, чтобы разбить ядро ${}^7_3\text{Li}$ на составляющие его нуклоны? Масса нейтрального атома данного изотопа лития равна 7,01601 а. е. м.

б) Вычислите энергию связи ядра ${}^{27}_{13}\text{Al}$. Масса атома алюминия равна 26,98146 а. е. м.

$$\text{а) } 39,2 \text{ МэВ; б) } 225,1 \text{ МэВ}$$

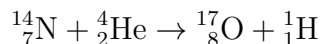
ЗАДАЧА 9. Найдите энергетический выход ядерной реакции



Массы атомов (в а. е. м.): 6,01513 (литий); 3,01605 (тритий); 4,00260 (гелий).

$$Q = 4,8 \text{ МэВ}$$

ЗАДАЧА 10. Ядерная реакция



идёт с поглощением энергии Q .

а) Вычислите величину Q , если массы атомов изотопов, участвующих в реакции, равны (в а. е. м.): 14,00307 (азот); 4,00260 (гелий); 16,99913 (кислород); 1,00783 (водород).

б) (Порог реакции) Какую минимальную кинетическую энергию T должна иметь α -частица, налетающая на неподвижное ядро азота, чтобы эта реакция могла идти?

$$\text{а) } Q = 1,2 \text{ МэВ; б) } T \approx \frac{1}{6} Q = 0,2 \text{ МэВ}$$

ЗАДАЧА 11. Какую минимальную кинетическую энергию должен иметь протон, чтобы разбить неподвижное ядро дейтерия на протон и нейтрон? Масса атома дейтерия равна 2,01410 а. е. м.

$$3,35 \text{ МэВ}$$

ЗАДАЧА 12. (МФО, 2014, 11) За год из 4 г радиоактивного вещества распадается 1 г. Сколько граммов из 4 г этого вещества распадётся за два года? А за три года? За n лет?

$$\ln \left(\frac{1}{8} \right) - \ln 1 = \lambda t$$

ЗАДАЧА 13. (МФТИ, 1978) В микрокалориметр теплоёмкостью $C = 100$ Дж/°С помещён образец изотопа кобальта с относительной атомной массой $A = 61$. Масса образца $m = 10$ мг. При распаде ядра ^{61}Co выделяется энергия $W = 2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Через время $\tau = 50$ мин температура калориметра повысилась на $\Delta t = 0,06$ °С. Оценить период полураспада ^{61}Co . Число Авогадро $N_0 = 6 \cdot 10^{23}$.

$$\ln \frac{N_0}{N} \approx \frac{W}{\tau} \tau_{\text{пол}} = \lambda \tau$$

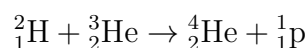
ЗАДАЧА 14. (МФТИ, 1979) В некоторый момент времени счётчик радиоактивного излучения, расположенный вблизи препарата ^{18}F с малым периодом полураспада, зафиксировал $N_0 = 100$ отсчётов в секунду. Через время $\tau = 22$ мин показание уменьшилось до $N_1 = 87$ отсчётов в секунду. Определите период полураспада ^{18}F .

$$\ln \frac{N_0}{N_1} \approx \frac{1}{\tau} \tau_{\text{пол}} = \lambda \tau$$

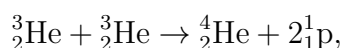
ЗАДАЧА 15. (МФТИ, 1979) Ампула с радиоактивным препаратом ^{24}Na (период полураспада $\tau = 15$ час) охлаждается потоком воздуха. В начале опыта воздух нагревается на $\Delta t = 2$ °С. Через какое время охлаждающий ампулу воздух будет нагреваться на $\Delta t_1 = 1,8$ °С?

$$\ln \frac{N_0}{N_1} \approx \frac{1}{\tau} \tau_{\text{пол}} = \lambda \tau$$

ЗАДАЧА 16. (МФТИ, 1989) Термоядерная реакция



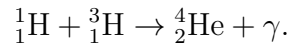
идёт с выделением энергии $E_1 = 18,4$ МэВ (кинетическая энергия образовавшихся частиц на величину E_1 больше кинетической энергии исходных). Какая энергия E_2 выделяется в реакции



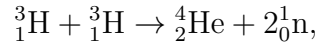
если дефект масс ядра ${}^3_2\text{He}$ на $\Delta m = 0,006$ а. е. м. больше, чем у ядра ${}^2_1\text{H}$? Одной атомной единице массы (а. е. м.) соответствует энергия 931,5 МэВ.

$$E_2 = E_1 - \Delta m c^2 \approx 12,8 \text{ МэВ}$$

ЗАДАЧА 17. (МФТИ, 1989) При слиянии протона и ядра трития образуются α -частица и γ -квант:



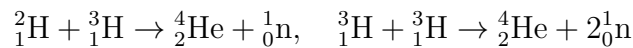
Дефект масс ядра ${}^4_2\text{He}$ составляет $\Delta m = 0,0304$ а. е. м. (одной а. е. м. — атомной единице массы — соответствует энергия 931,5 МэВ). Кинетическая энергия частиц, образующихся в реакции



на $Q = 11,3$ МэВ больше кинетической энергии исходных частиц. Определить, какую энергию уносит γ -квант в первой реакции, если кинетическими энергиями ядер ${}^1_1\text{H}$, ${}^3_1\text{H}$ и ${}^4_2\text{He}$ в ней можно пренебречь.

$$E_{\gamma} \approx (2m_0c^2 + Q) \frac{E_1}{E_1 + E_2} = 19,8 \text{ МэВ}$$

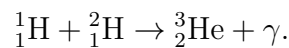
ЗАДАЧА 18. (МФТИ, 1989) В термоядерных реакциях



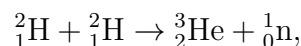
суммарная кинетическая энергия образовавшихся частиц больше суммарной кинетической энергии исходных частиц на величины $E_1 = 17,6$ МэВ и $E_2 = 11,3$ МэВ соответственно. Определить дефект масс ядра ${}^3_1\text{H}$, если у ядра ${}^2_1\text{H}$ он составляет 0,00239 а. е. м. Одной атомной единице массы (а. е. м.) соответствует энергия 931,5 МэВ.

$$\Delta m \approx 0,009 \text{ а. е. м.}$$

ЗАДАЧА 19. (МФТИ, 1989) При слиянии протона и ядра дейтерия образуются ядро ${}^3_2\text{He}$ и γ -квант:



Энергия кванта значительно больше кинетических энергий ядер ${}^3_2\text{He}$, ${}^1_1\text{H}$, ${}^2_1\text{H}$ и равна 5,5 МэВ. Кинетическая энергия частиц, образующихся в реакции



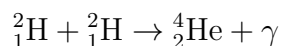
на 3,3 МэВ больше кинетической энергии исходных частиц. Определить дефект масс ядра ${}^3_2\text{He}$. Дефект масс измеряется в атомных единицах массы (а. е. м.), одной а. е. м. соответствует энергия 931,5 МэВ.

$$\Delta m \approx 0,0083 \text{ а. е. м.}$$

ЗАДАЧА 20. (МФТИ, 1990) Образовавшееся в результате ядерной реакции неподвижное ядро ${}^{40}_{19}\text{K}$ испускает γ -квант с энергией $E_{\gamma} = 9,4$ кэВ. Определить кинетическую энергию ядра после испускания кванта. Одной атомной единице массы соответствует энергия $E_1 = 931,5$ МэВ.

$$E_2 = \frac{E_{\gamma}^2}{2E_1} \approx 0,010 \text{ а. е. м.}$$

Задача 21. (МФТИ, 1990) В ядерной реакции



образуется медленно движущаяся по сравнению со скоростью света α -частица и квант света γ с энергией $Q = 19,7$ МэВ. Пренебрегая скоростями вступающих в реакцию ядер, найти скорость образовавшейся α -частицы. Энергию покоя α -частицы принять равной $mc^2 = 3730$ МэВ.

$$\frac{v}{c} \approx \frac{Q}{2mc^2} = a$$

Задача 22. (МФТИ, 1974) В настоящее время представляется возможным достижение давлений (например, с помощью специальным образом сфокусированного лазерного излучения), при которых все линейные размеры твёрдых тел можно уменьшить в 10 раз. Во сколько раз у такого «сверхплотного» вещества критическая масса меньше, чем у обычного?

В критическом состоянии, когда начинается цепная реакция, число вторичных нейтронов, рождающихся в веществе, равно числу нейтронов, покидающих его через поверхность. (Вторичными называют нейтроны, возникающие при взаимодействии с делящимся веществом уже имеющихся в нём нейтронов.)

$$k = 10^6$$