1. π-мезон массой $2,4 \cdot 10^{-28}$ кг распадается на два γ-кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся γ-квантов в системе отсчета, где первичный π^0-мезон покоится.

2. Используя таблицу масс атомных ядер, вычислите энергию, освобождающуюся при синтезе 1 кг гелия из изотопов водорода — дейтерия и трития: ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \to {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}$.

Массы атомных ядер

Атомный номер	Название элемента	Символ изотопа	Масса атомного ядра изотопа	
1	водород	${}^{1}_{1}\mathrm{H}$	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00727$ а. е. м.
1	водород	${}^{2}_{1}\mathrm{H}$	$3,3437 \cdot 10^{-27}$ кг	$2,01355$ а. е. м.
1	водород	${}^{3}_{1}\mathrm{H}$	$5,0075 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01550$ а. е. м.
2	гелий	${}^{3}_{2}\mathrm{He}$	$5,0066 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01493$ а. е. м.
2	гелий	${}^{4}_{2}\mathrm{He}$	$6,6449 \cdot 10^{-27}$ кг	$4,00151$ а. е. м.
13	алюминий	${}^{27}_{13}\mathrm{Al}$	$44,7937 \cdot 10^{-27}$ кг	$26,97441$ а. е. м.
15	фосфор	${}^{30}_{15}\mathrm{P}$	$49,7683 \cdot 10^{-27}$ кг	$29,97008$ а. е. м.
-	нейтрон	${}^{1}_{0}\mathrm{n}$	$1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00866$ а. е. м.

3. Используя таблицу масс атомных ядер, вычислите энергию, освобождающуюся при осуществлении ядерной реакции:

$$ {}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{30}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{0}\mathrm{n}. $$

Массы атомных ядер

Атомный номер	Название элемента	Символ изотопа	Масса атомного ядра изотопа	
—	нейтрон	${}^{1}_{0}\mathrm{n}$	$1,6750 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00866$ а. е. м.
1	водород	${}^{1}_{1}\mathrm{H}$	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00727$ а. е. м.
1	водород	${}^{2}_{1}\mathrm{H}$	$3,3437 \cdot 10^{-27}$ кг	$2,01355$ а. е. м.
1	водород	${}^{3}_{1}\mathrm{H}$	$5,0075 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01550$ а. е. м.
2	гелий	${}^{3}_{2}\mathrm{He}$	$5,0066 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01493$ а. е. м.
2	гелий	${}^{4}_{2}\mathrm{He}$	$6,6449 \cdot 10^{-27}$ кг	$4,00151$ а. е. м.
13	алюминий	${}^{27}_{13}\mathrm{Al}$	$44,7937 \cdot 10^{-27}$ кг	$26,97441$ а. е. м.
15	фосфор	${}^{30}_{15}\mathrm{P}$	$49,7683 \cdot 10^{-27}$ кг	$29,97008$ а. е. м.

4. Определите, ядро какого изотопа X освобождается при осуществлении ядерной реакции:

$$^{3}_{2}\mathrm{He} + ^{3}_{2}\mathrm{He} \to ^{4}_{2}\mathrm{He} + ^{1}_{1}\mathrm{H} + X.$$

Используя таблицу масс атомных ядер, вычислите энергию, освобождающуюся при осуществлении этой ядерной реакции.

Атомный номер	Название элемента	Символ изотопа	Масса атомного ядра изотопа	
1	водород	$^{1}_{1}\mathrm{H}$	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00727$ а. е. м.
1	водород	$^{2}_{1}\mathrm{H}$	$3,3437 \cdot 10^{-27}$ кг	$2,01355$ а. е. м.
1	водород	$^{3}_{1}\mathrm{H}$	$5,0075 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01550$ а. е. м.
2	гелий	$^{3}_{2}\mathrm{He}$	$5,0066 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01493$ а. е. м.
2	гелий	$^{4}_{2}\mathrm{He}$	$6,6449 \cdot 10^{-27}$ кг	$4,00151$ а. е. м.
13	алюминий	$^{27}_{13}\mathrm{Al}$	$44,7937 \cdot 10^{-27}$ кг	$26,97441$ а. е. м.
15	фосфор	$^{30}_{15}\mathrm{P}$	$49,7683 \cdot 10^{-27}$ кг	$29,97008$ а. е. м.

5. Определите, какая частица X образуется при осуществлении ядерной реакции: $^{1}_{1}\mathrm{H} + ^{2}_{1}\mathrm{H} \to ^{3}_{2}\mathrm{He} + X$. Используя таблицу масс атомных ядер, вычислите энергию, освобождающуюся при осуществлении этой ядерной реакции.

Массы атомных ядер

Атомный номер	Название элемента	Символ изотопа	Масса атомного ядра изотопа	
1	водород	$^{1}_{1}\mathrm{H}$	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг	$1,00727$ а. е. м.
1	водород	$^{2}_{1}\mathrm{H}$	$3,3437 \cdot 10^{-27}$ кг	$2,01355$ а. е. м.
1	водород	$^{3}_{1}\mathrm{H}$	$5,0075 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01550$ а. е. м.
2	гелий	$^{3}_{2}\mathrm{He}$	$5,0066 \cdot 10^{-27}$ кг	$3,01493$ а. е. м.
2	гелий	$^{4}_{2}\mathrm{He}$	$6,6449 \cdot 10^{-27}$ кг	$4,00151$ а. е. м.
13	алюминий	$^{27}_{13}\mathrm{Al}$	$44,7937 \cdot 10^{-27}$ кг	$26,97441$ а. е. м.
15	фосфор	$^{30}_{15}\mathrm{P}$	$49,7683 \cdot 10^{-27}$ кг	$29,97008$ а. е. м.

6. При взрыве атомной бомбы освобождается энергия $8,3 \cdot 10^{16}$ Дж. Эта энергия получается в основном за счет деления ядер урана 238. При делении одного ядра урана 238 освобождается 200 МэВ, масса ядра равна примерно 238 а. е. м. Вычислите массу ядер урана, испытавших деление при взрыве, и суммарный дефект массы.

7. Вычислите массу радиоактивных продуктов деления ядер урана, накапливающихся в ядерном реакторе тепловой мощностью $3 \cdot 10^{9}$ Вт за сутки, принимая выделение энергии при делении ядра урана 235 равным 200 МэВ.

8. Мировое потребление энергии человечеством составляет примерно $4 \cdot 10^{20}$ Дж в год. Если будет возможно освобождение собственной энергии вещества, сколько килограммов вещества потребуется расходовать человечеству в сутки для удовлетворения современных потребностей в энергии?

9. π^0-мезон массой $2,4 \cdot 10^{-28}$ кг распадается на два γ-кванта. Найдите модуль импульса одного из образовавшихся γ-квантов в системе отсчета, где первичный π^0-мезон покоится.

10. Препарат, активность которого равна $1,7 \cdot 10^{12}$ частиц в секунду, — помещен в калориметр, заполненный водой при 293 К. Сколько времени потребуется, чтобы довести до кипения 10 г воды, если известно, что данный препарат испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ, причем энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию? Теплоемкостью препарата, калориметра и теплообменом с окружающей средой пренебречь.

11. Препарат активностью $1,7 \cdot 10^{11}$ α-частиц в секунду помещен в медный контейнер массой 0,5 кг. На сколько повысилась температура контейнера за 1 ч, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α-частицы энергией 5,3 МэВ? Считать, что энергия всех α-частиц полностью переходит во внутреннюю энергию контейнера. Теплоемкостью препарата и теплообменом с окружающей средой пренебречь. (Удельная теплоемкость меди равна $385\ \text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.)

12. Одним из типов реакций синтеза, которые можно использовать в будущих термоядерных реакторах, является реакция ${}^2_1\text{H} + {}^3_2\text{He} = {}^4_2\text{He} + {}^1_1\text{p} + W$. Какая энергия W выделяется при этой реакции? Масса атома дейтерия ${}^2_1\text{H}$ примерно равна 2,014 а. е. м., масса атома ${}^3_2\text{He}$ — 3,016 а. е. м, масса атома ${}^4_2\text{He}$ — 4,003 а. е. м. Ответ приведите в мегаэлектрон-вольтах.

13. Пациенту ввели внутривенно дозу раствора, содержащего изотоп ${}^{24}_{11}\text{Na}$. Активность $1\ \text{см}^3$ этого раствора $a_0 = 2000$ распадов в секунду. Период полураспада изотопа ${}^{24}_{11}\text{Na}$ равен $T = 15{,}3$ ч. Через $t = 3$ ч 50 мин активность $1\ \text{см}^3$ крови пациента стала $a = 0{,}28$ распадов в секунду. Каков объем введенного раствора, если общий объем крови пациента $V = 6$ л? Переходом ядер изотопа ${}^{24}_{11}\text{Na}$ из крови в другие ткани организма пренебречь.

14. Радиоактивные источники излучения могут использоваться в космосе для обогрева оборудования космических аппаратов. Например, на советских «Луноходах» были установлены тепловыделяющие капсулы на основе полония-210. Реакция распада этого изотопа имеет вид: ${}^{210}_{84}\text{Po} \to {}^{206}_{82}\text{Pb} + \alpha$, где получающиеся α-частицы обладают кинетической энергией $E = 5,3$ МэВ. Сколько атомов полония должно распасться в тепловыделяющей капсуле, чтобы с ее помощью можно было вскипятить стакан воды объемом $V = 250$ мл? Начальная температура воды 20°C, теплоемкостью стакана и капсулы, а также потерями теплоты можно пренебречь.

15. В открытый контейнер объемом 80 мл поместили изотоп полония-210 ${}^{210}_{84}\text{Po}$. Затем контейнер герметично закрыли. Изотоп полония радиоактивен и претерпевает альфа-распад с периодом полураспада примерно 140 дней, превращаясь в стабильный изотоп свинца. Через 5 недель давление внутри контейнера составило $1,3 \cdot 10^5$ Па. Какую массу полония первоначально поместили в контейнер? Температура внутри контейнера поддерживается постоянной и равна 45°C. Атмосферное давление равно $10^5\,\text{Па}$.