

## Задачи на Состав атома и ядерные реакции с решениями

Формулы, используемые на уроках «Задачи на Состав атома, ядерные реакции и энергия связи атомного ядра».

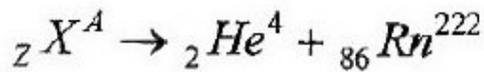
Название величины	Обозначение	Единица измерения	Формула
Масса протона	$m_p$	а.е.м	$m_p = 1,00728$
Масса нейтрона	$m_n$	а.е.м	$m_n = 1,00867$
Число протонов	$Z$		
Число нейтронов	$N$		
Масса ядра	$M_{\text{я}}$	а.е.м	
Дефект масс	$\Delta m$	а.е.м, кг	$\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$
Энергия связи ядра	$\Delta E_0$	Дж	$\Delta E_0 = \Delta mc^2$
Скорость света	$c$	м/с	$c = 3 \cdot 10^8$

### ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ

**Задача № 1.** Определите число электронов, протонов и нейтронов в атоме кислорода  ${}_8\text{O}^{17}$ .

<p><i>Дано:</i></p> <p><math>{}_8\text{O}^{17}</math></p> <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black; margin: 5px 0;"/> <p><math>Z - ?</math></p> <p><math>N - ?</math></p> <p><math>e - ?</math></p>	<p><i>Решение:</i></p> <p><math>Z = 8; e = 8; N = A - Z = 17 - 8 = 9</math></p> <p><b>Ответ: 8 электронов, 8 протонов, 9 нейтронов.</b></p>
--	---

**Задача № 2.** В результате  $\alpha$ -распада ядро некоторого элемента превратилось в ядро радона  ${}_{86}\text{Rn}^{222}$ . Что это был за элемент?



По закону сохранения массы и заряда:  $A = 4 + 222 = 226$ ;  $Z =$  Менделеева порядковый номер 88 имеет радий. Следовательно

**Задача № 3.** На сколько уменьшилась энергия атома, если при переходе из одного энергетического состояния в другое атом излучил свет длиной волны  $6,56 \cdot 10^{-7}$  м?

Дано:

$$\lambda = 6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$E = ?$$

Решение:

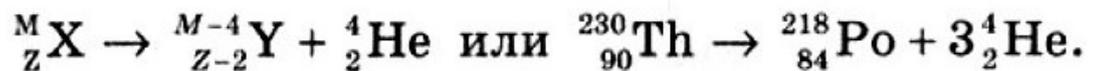
$$E = h \cdot \nu; \nu = \frac{c}{\lambda}; E = \frac{hc}{\lambda};$$

$$E = \frac{6,62 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}}{6,56 \cdot 10^{-7} \text{ м}} = 3 \cdot 10^{-19} \text{ Дж}$$

Энергия атома уменьшится на  $3 \cdot 10^{-19}$  Дж.

**Задача № 4.** В какое ядро превращается торий  ${}_{90}^{230}\text{Th}$  после трех последовательных  $\alpha$ -распадов?

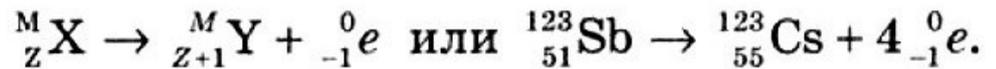
**Решение.** При  $\alpha$ -распаде исходное ядро теряет протона и два нейтрона, поэтому его массовое число уменьшается на 4, а зарядовое — на 2. Из правила смещения распада следует, что:



Ответ:  ${}_{84}^{218} \text{Po}.$

**Задача № 5.** В какое ядро превращается сурьма  $^{123}_{51}\text{Sb}$  после четырех  $\beta$ -распадов?

**Решение.** При  $\beta$ -распаде в исходном ядре один нейтрон превращается в протон, поэтому зарядовое число увеличивается на единицу, а массовое — остается неизменным, так как общее число нуклонов в ядре не изменяется. Из правил квантовой механики для  $\beta$ -распада следует, что:



Ответ:  ${}^{123}_{55}\text{Cs}$

**Задача № 6.** Каким образом можно осуществить давнюю мечту алхимиков средневековья — превратить ртуть в золото?

**Решение.** Путем осуществления, например, следующей ядерной реакции:  ${}^{198}_{80}\text{Hg} + {}^1_0n \rightarrow {}^{199}_{80}\text{Hg} \rightarrow {}^{198}_{79}\text{Au} + {}^1_1\text{H}$ .

В природе существует один стабильный изотоп золота ( ${}^{197}_{79}\text{Au}$ ) и семь изотопов ртути ( ${}^{196}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{198}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{199}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{200}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{201}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{202}_{80}\text{Hg}$ ,  ${}^{204}_{80}\text{Hg}$ ). Значит, в ходе ядерной реакции необходимо «лишь» уменьшить число протонов на единицу и, соответственно, изменить число нейтронов.

Однако, вследствие редкого попадания нейтронов в ядра ртути количество полученного золота ничтожно мало. Так как энергия при этом огромна, то процесс экономически невыгоден.

**Задача № 7.** Определите дефект масс и энергию связи ядра атома  ${}^{235}_{92}\text{U}$ .

**Решение.** Дефект масс ядра определяется по формуле  $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$ . В таблицах масс изотопов приводятся значение масс нейтральных атомов, а не массы ядер. Поэтому эту формулу целесообразно преобразовать так, чтобы вместо массы данного ядра  $M_{\text{я}}$  в нее входила масса соответствующего нейтрального атома  $M_{\text{а}}$ . Так как

$$M_{\text{я}} = M_{\text{а}} - Zm_e, \text{ то } \Delta m = Zm_p + Nm_n - (M_{\text{а}} - Zm_e) \text{ или}$$

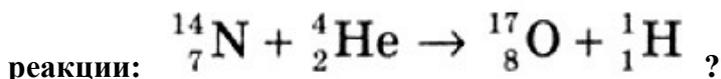
$\Delta m = Z(m_p + m_e) + Nm_n - M_{\text{а}}$ . Но  $m_p + m_e = m_{\text{1H}}$ . Следовательно, окончательно получаем  $\Delta m = (Zm_{\text{1H}} + Nm_n) - M_{\text{а}}$ . Из таблиц берем следующие данные:  $m_{\text{1H}} = 1,00783$  а.е.м.,  $m_n = 1,00866$  а.е.м.,  $M_{\text{а}} = 235,04392$ . Подставляя в последнюю формулу числовые значения масс в а.е.м., получаем  $\Delta m = 92 \cdot 1,00783 + 143 \times \times 1,00866 - 235,04392 = 1,915$  (а.е.м.). Если мы хотим получить энергию связи в джоулях, то дефект масс нужно выразить в килограммах.

Поскольку  $1 \text{ а.е.м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ , получаем  $\Delta m = 1,66 \cdot 10^{-27} \times \times 1,915 = 3,18 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)}$ . Подставляя это значение дефекта масс в формулу  $\Delta E_0 = \Delta mc^2$ , получаем:

$$\Delta E_0 = 3,18 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 28,6 \cdot 10^{-11} \text{ (Дж)}.$$

Ответ:  $3,18 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ;  $28,6 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ .

**Задача № 8.** Выделяется или поглощается энергия при следующей ядерной



**Решение.** Найдем разность  $\Delta m$  суммарной массы ядер и частиц до реакции и после реакции. Энерговыделение при ядерной реакции равно:  $\Delta E = (m_N + m_{He} - m_O - m_H) c^2$ . Если  $\Delta E > 0$ , реакция идет с выделением энергии. Если  $\Delta E < 0$ , реакция идет с поглощением энергии. Проверка единиц измерения

$$[\Delta E] = \text{а.е.м.} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{а.е.м.}} \cdot \left(\frac{\text{м}}{\text{с}}\right)^2 = \text{Дж.}$$

Вычисления:  $\Delta E = (14,00307 + 4,00260 - 16,99913 - 1,00783) \times 1,661 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = -1,93 \cdot 10^{-13} \text{ (Дж)}$ .

Так как  $\Delta E < 0$ , то энергия поглощается.

Ответ: энергия поглощается.

**Задача № 9.** Вычислите энергию связи ядра лития  ${}^7_3\text{Li}$ . Масса ядра равна 7,01436 а.е.м.

*Дано:*



$$M_{\text{я}} = 7,01436 \text{ а.е.м.}$$

$$m_p = 1,00728 \text{ а.е.м.}$$

$$m_n = 1,00867 \text{ а.е.м.}$$

---


$$\Delta E_0 = ?$$

*Решение:*

1)  $Z = 3; N = 4$

2)  $\Delta m = (Zm_p + Nm_n) - M_{\text{я}}$

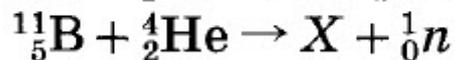
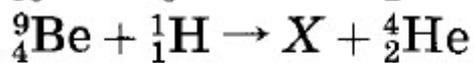
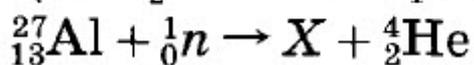
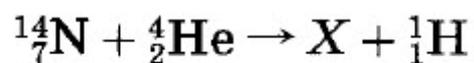
$$\Delta m = (3 \cdot 1,00728 + 4 \cdot 1,00867) - 7,01436 = 0,04216$$

3)  $\Delta m = 0,04216 \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)} = 0,07 \cdot 10^{-27}$

4)  $\Delta E_0 = \Delta m c^2 = 0,07 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 0,21 \cdot 10^{-12}$

Ответ:  $2,1 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$

Д/З- Определите неизвестный продукт X каждой из ядерных реакций:



---

### Краткая теория для решения Задачи на Состав атома и ядерные реакции.

Алгоритм решения задачи на расчет энергии связи атомного ядра:

1. Определить количество протонов и нейтронов в ядре атома.
2. Вычислить дефект масс в атомных единицах массы.
3. Перевести атомные единицы массы в килограммы:  $1 \text{ а.е.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ .
4. Вычислить энергию связи; ответ записать в стандартном виде.

Важные замечания:

1. Вычисления сложные, поэтому лучше их производить с помощью микрокалькулятора.
  2. В ходе вычисления дефекта масс нельзя ничего округлять, иначе дефект масс обратится в ноль. Округлить можно только результат.
-