

Семинар по физике для 83 и 84 групп

06.04.2020

Ильин А.Б.

Ядерная физика

1. Вычислите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$. Масса ядра алюминия $m = 26,98146$ а.е.м.

Решение:



Определяем количество протонов в ядре:

$$Z = 13$$

Определяем количество нейтронов в ядре:

$$N = A - Z = 27 - 13 = 14$$

Рассчитываем общую массу протонов в ядре:

$$m_{\text{пр}} = Z \cdot m_{\text{пр}} = 13 \cdot 1,00728 \text{ а. е. м.} = 13,09464 \text{ а. е. м.}$$

Рассчитываем общую массу нейтронов в ядре:

$$m_{\text{н}} = A - Z \cdot m_{\text{пр}} = 14 \cdot 1,00867 \text{ а. е. м.} = 14,12138 \text{ а. е. м.}$$

Рассчитываем общую массу нуклонов (протонов и нейтронов) в ядре:

$$m_{\text{нук}} = m_{\text{пр}} + m_{\text{н}} = 27,21602 \text{ а. е. м.}$$

Вычитаем из полученного значения массу ядра, и получаем дефект массы этого ядра:

$$\Delta m = m_{\text{нук}} - m_{\text{я}} = 27,21602 - 26,98146 = 0,23456 \text{ а. е. м.}$$

$$\begin{aligned} \Delta m &= 0,23456 \text{ а. е. м.} \cdot 1,66 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг}}{\text{а. е. м.}} \\ &= 0,3893696 \cdot 10^{-27} \text{ кг} \end{aligned}$$

Итак, мы получили значение дефекта масс ядра изотопа алюминия ${}_{13}^{27}\text{Al}$

$$\Delta m \approx 0,235 \text{ а. е. м.} \approx 3,89 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$$

Находим энергию связи:

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2$$

$$E_{\text{св}} = 3,89 \cdot 10^{-28} \text{ кг} \cdot 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}^2 = 35,01 \cdot 10^{-12} \text{ Дж}$$

Переведём полученное значение энергии связи из единиц СИ в более удобные – мегаэлектронвольты, сокращённо – МэВ.

Если $1 \text{ эВ} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж}$,

то $1 \text{ МэВ} = 10^6 \times 1,6 \times 10^{-19} \text{ Дж} = 1,6 \times 10^{-13} \text{ Дж}$,

Итак, действуем: переводим из джоулей в электронвольты:

$$E_{\text{св}} = \frac{35,01 \times 10^{-12} \text{ Дж}}{1,6 \times 10^{-13} \frac{\text{Дж}}{\text{МэВ}}} = 21,88 \times 10^1 \text{ МэВ} \approx 219 \text{ МэВ}$$

Итак, энергия связи этого ядра $E_{\text{св}} \approx 219 \text{ МэВ}$

Дело осталось за малым: найти удельную энергию связи:

$$\epsilon_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{св}}}{A} = \frac{219 \text{ МэВ}}{27} \approx 8,11 \text{ МэВ}$$

Ответ: $\Delta m \approx 0,235 \text{ а. е. м} \approx 3,89 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$; $E_{\text{св}} \approx 219 \text{ МэВ}$;
 $\epsilon_{\text{уд}} \approx 8,11 \text{ МэВ}$

Задачи такого типа совершенно неинтересны, переполнены рутинными вычислениями, но необходимо заставить себя действовать аккуратно и точно, получая верный ответ.

Масса протона и масса нейтрона не были заданы в условии задачи, но это известные величины, и они даются в справочных таблицах. В семинаре, я вынес эти данные на поля задания.

2. Образец радиоактивного радона ${}^{222}_{86}\text{Rn}$ содержит $N_0 = 10^{10}$ радиоактивных атомов с периодом полураспада $T = 3,825$ суток. Какое число атомов радона останется через сутки? А какое число атомов распадётся за это время?

Решение:



$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

Подставим численные данные и произведём расчёты

$$N = 10^{10} \cdot 2^{-\frac{1 \text{ сутки}}{3,825 \text{ суток}}} = 10^{10} \cdot 2^{-0,2614} = 0,83427 \cdot 10^{10}$$

Ответ: останется нераспавшимися $N \approx 8,3 \cdot 10^9$,
 распадутся $\Delta N \approx 1,7 \cdot 10^9$

3. За какое время произойдет распад изотопа полония массы M , если в начальный момент его масса равна M_0 ? Период полураспада этого изотопа равен T .

Решение:

Пусть m - масса одного ядра

Тогда $M_0 = \frac{M_0}{m}$, а $M = \frac{M_0 - \Delta M}{m}$,

Подставим полученные выражения в закон радиоактивного распада и сократим на массу одного ядра. Получим:

$$M_0 - \Delta M = M_0 \cdot 2^{-\frac{\Delta M}{m}}$$

После некоторых преобразований получим ответ.

$$\text{Ответ: } \Delta M = - \frac{m}{2} \ln \left(1 - \frac{\Delta M}{M_0} \right)$$

4. Активность радиоактивного элемента уменьшилась в 4 раза за 8 суток. Определите период полураспада этого элемента.

Решение:



$$A = A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$
$$a = \frac{A}{A_0} = \frac{A_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}}{A_0} = 2^{-\frac{t}{T}}$$

Отсюда

$$\frac{A}{A_0} = \frac{1}{2^{\frac{t}{T}}}$$

По условию $\frac{A}{A_0} = \frac{1}{4} = \frac{1}{2^2}$, следовательно $\frac{t}{T} = 2$, отсюда $T = \frac{t}{2} =$
4 суток.

Ответ: $T = 4$ суток.

А теперь решите задачу из ЕГЭ прошлых лет.

5. Радиоактивный препарат, имеющий активность $\alpha=3,7 \cdot 10^9 \text{ с}^{-1}$, помещен в калориметр теплоемкостью $C=4,19 \text{ Дж/К}$. Определите повышение температуры ΔT в калориметре за $\Delta t=1 \text{ час}$, если известно, что данное радиоактивное вещество испускает α -частицы с энергией $W_\alpha=5,3 \text{ МэВ}$.

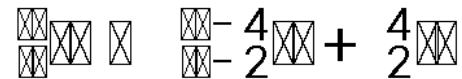
Замечание: нам не сказали, в какой момент активность препарата имеет такое значение. Это означает, что препарат распадается очень медленно, и за время эксперимента невозможно заметить изменение его активности, то есть период полураспада значительно больше времени наблюдения.

Для возможности свериться приведу ответ к этой задаче.

Ответ: $\Delta K = 2,7 \text{ К}$

В следующей задаче надо знать, что такое альфа-распад, и что такое бэта-распад, уметь записывать соответствующие ядерные реакции.

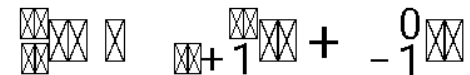
При альфа-распаде из ядра вылетает альфа-частица. Уравнение реакции выглядит вот так:



Сумма нижних индексов в ядерной реакции всегда сохраняется (это просто форма записи закона сохранения электрического заряда)

Сумма верхних индексов в ядерной реакции всегда сохраняется (это просто свидетельство того, что в результате ядерной реакции малая доля энергии покоя превращается в другие виды энергии, то есть энергия системы почти не изменяется))

Для бэ́та-распада (вылетает электрон – отрицательно заряженная частица)



Масса электрона почти в 2000 раз меньше массы нуклона, поэтому при округлении до целых (в а.е.м) массовое число получается равным нулю.

Решение:

$${}_{92}^{238}\text{X} = \text{X} + 3\text{X} + 2\text{X} - 1\text{X}$$

Для массовых чисел:

$$238 = \text{X} + 3 \cdot 4 + 2 \cdot 0$$

Отсюда

$$\text{X} = 238 - 12 = 226$$

Для зарядовых чисел:

$$92 = \text{X} + 3 \cdot 2 + 2 \cdot \text{X} - 1 \cdot \text{X}$$

Отсюда

$$\text{X} = 92 - 3 \cdot 2 - 2 \cdot \text{X} - 1 \cdot \text{X} = 92 - 6 + 2 = 88$$

По таблице Менделеева определяем название элемента.

Оно определяется зарядовым числом – 88.

Ответ: ${}_{88}^{226}\text{X}$

7. Радон ${}^{222}_{88}\text{Rn}$ – это α -радиоактивный газ. Какую долю полной энергии, освобождаемой при распаде радона, уносит α -частица (${}^4_2\text{He}$)? Считайте, что до распада ядро радона покоилось.

Решение:



Ответ: альфа частица уносит 98% выделившейся энергии при альфа-распаде ядра радона

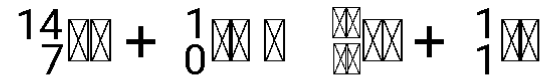
8. При бомбардировке нейтронами ядер азота ${}^{14}_7\text{N}$ испускается протон. В ядро какого элемента превращается ядро азота? Запишите уравнение реакции.

Решение:

Запишем уравнение, соответствующее описанной ядерной реакции.

Проговорим, что происходит.

В ядро азота попадает один нейтрон (ядро очень мало, вероятность попадания одного нейтрона в него крайне мала, а уж двух нейтронов – пренебрежимо мала!), получившееся ядро распадается на ядро и протон.



Находим массовое и зарядовое число:

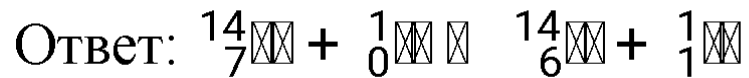
$$14 + 1 = A + 1$$

$$A = 14$$

$$7 + 0 = Z + 1$$

$$Z = 6$$

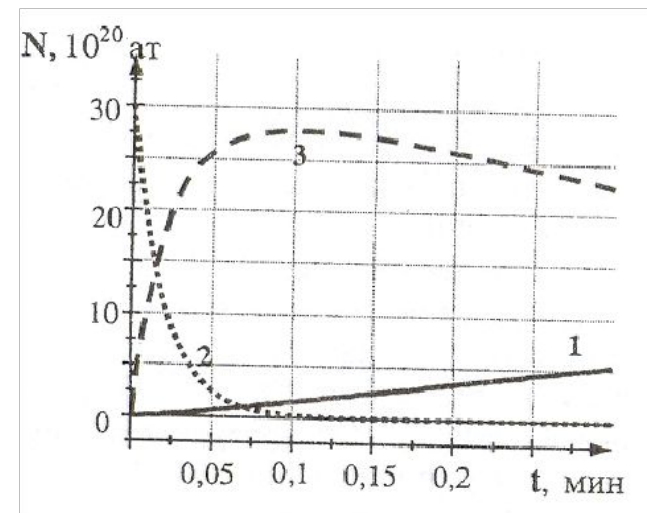
Это изотоп углерода ${}^{14}_6\text{C}$



Последняя задача также из ЕГЭ, практически на логику и сообразительность. Никаких формул писать не надо, но обосновать свой ответ парой рассуждений необходимо.

Ответ пока не привожу

9. Полоний ${}^{213}_{84}\text{Po}$ в результате α -распада переходит в радиоактивный изотоп свинца ${}^{209}_{82}\text{Pb}$, который затем превращается в стабильный изотоп висмута ${}^{209}_{83}\text{Bi}$. На рисунке приведены графики изменения числа атомов всех трех изотопов с течением времени. Найдите, какой график соответствует каждому изотопу. Ответ обосновать.



Домашнее задание:

1. Вычислите дефект массы, энергию связи и удельную энергию связи ядра кислорода $^{17}_8\text{O}$. Масса ядра кислорода $m=16,99913$ а.е.м.
2. В микрокалориметре теплоемкостью $C=100$ Дж/К помещен образец изотопа кремния массы $m_0=1$ мг (молярная масса $\mu=31$ г/моль). При распаде одного ядра выделяется энергия $W=4,4 \cdot 10^{-19}$ Дж. Период полураспада кремния $T=2$ ч 36 мин. Определите повышение температуры калориметра Δt спустя $\tau=52$ мин после начала опыта.
3. Изотоп тория $^{232}_{90}\text{Th}$ в результате серии радиоактивных распадов превращается в стабильный изотоп свинца $^{208}_{82}\text{Pb}$. Сколько α - и β - распадов при этом происходит?
4. При бомбардировке альфа-частицами ядер азота $^{14}_7\text{N}$ испускается протон. В ядро какого элемента превращается ядро азота? Запишите уравнение реакции