

# Домашнее задание 41. Ядерные реакции.

## № 1

Запишите ядерную реакцию, происходящую при бомбардировке атомов бора  ${}^{11}_5B$   $\alpha$ -частицами и сопровождающуюся выбиванием нейтрона.

$${}^{11}_5B + {}^4_2He \rightarrow {}^{14}_7X + {}^1_0n$$

Посмотрев в таблицу Менделеева, определим, что  $X \stackrel{\text{def}}{=} \text{«}N\text{»}$ :

$${}^{11}_5B + {}^4_2He \rightarrow {}^{14}_7N + {}^1_0n$$

## №2

Период полураспада  ${}^{238}U$  равен  $4.5 \cdot 10^9$  лет. В урановой руде отношение числа атомов  ${}^{238}U$  к числу атомов  ${}^{206}Pb$  равно 2.8. Считая, что весь свинец образовался в результате распада урана, определите возраст руды.

Заметим, что при распаде из одного атома урана получается ровно один атом свинца.

**Ряд радия** [\[править\]](#) [\[править код\]](#)

Радиоактивный ряд нуклидов с массовым числом, представимым в виде  $4n+2$ , называется рядом радия (иногда называют рядом урана или урано-радием). Ряд начинается с урана-238 (встречается в природе) и завершается образованием стабильного свинца-206.

Нуклид	Историческое обозначение	Историческое название	Вид распада	Период полураспада	Выделяемая энергия, МэВ	Продукт распада
${}^{238}U$	U <sub>I</sub>	Уран I	$\alpha$	$4.468 \cdot 10^9$ лет	4.270	${}^{234}Th$
${}^{234}Th$	UX <sub>1</sub>	Уран X1	$\beta^-$	24.10 сут	0.273	${}^{234m}Pa$
${}^{234m}Pa$	UX <sub>2</sub>	Уран X2, Бровей	$\beta^-$ 99.64 % изомерный переход 0.16 %	1.16 мин	2.271 0.074	${}^{234}U$ ${}^{234}Pa$
${}^{234}Pa$	UZ	Уран Z	$\beta^-$	6.70 ч	2.197	${}^{234}U$
${}^{234}U$	U <sub>2</sub>	Уран II	$\alpha$	245500 лет	4.859	${}^{230}Th$
${}^{230}Th$	Ю	Юний	$\alpha$	75380 лет	4.770	${}^{226}Ra$
${}^{226}Ra$	Ra	Радий	$\alpha$	1602 года	4.871	${}^{222}Rn$
${}^{222}Rn$	Rn (RadEm)	Радон (эмкация радия)	$\alpha$	3.8235 д	5.590	${}^{218}Po$
${}^{218}Po$	RaA	Радий A	$\alpha$ 99.98 % $\beta^-$ 0.02 %	3.10 мин	6.115 0.265	${}^{214}Pb$ ${}^{214}At$
${}^{214}At$	RaAt	Астат	$\alpha$ 99.80 % $\beta^-$ 0.10 %	1.5 с	6.874 2.883	${}^{214}Bi$ ${}^{214}Po$
${}^{214}Bi$	ABEm	эмкация астата	$\alpha$	35 мс	7.263	${}^{214}Po$
${}^{214}Po$	RaB	Радий B	$\beta^-$	26.8 мин	1.024	${}^{214}Bi$
${}^{214}Bi$	RaC	Радий C	$\beta^-$ 99.98 % $\alpha$ 0.02 %	19.9 мин	3.272 5.617	${}^{214}Po$ ${}^{214}Tl$
${}^{214}Po$	RaC'	Радий C'	$\alpha$	0.1643 мс	7.883	${}^{210}Pb$
${}^{214}Tl$	RaC''	Радий C''	$\beta^-$	1.30 мин	5.484	${}^{210}Pb$
${}^{210}Pb$	RaD	Радий D	$\beta^-$	22.3 года	0.064	${}^{210}Bi$
${}^{210}Bi$	RaE	Радий E	$\beta^-$ 99.99997 % $\alpha$ 0.000013 %	5.013 сут	1.426 5.982	${}^{210}Po$ ${}^{206}Tl$
${}^{210}Po$	RaF	Радий F, полоний	$\alpha$	138.376 сут	5.407	${}^{206}Pb$
${}^{206}Tl$	RaE'	Радий E'	$\beta^-$	4.199 мин	1.533	${}^{206}Pb$
${}^{206}Pb$	RaG	Радий G, урановый свинец	-	стабильный	-	-

Ряд радия

Пусть сейчас есть  $m_1$  грамм урана. Тогда  $m_{Pb} = m_0 - m_1 = \frac{m_1}{2.8}$ ,

$$m_0 = m_1 + (m_0 - m_1) = m_1 + \frac{m_1}{2.8} = \frac{14 + 5}{14} m_1 = \frac{19}{14} m_1 \tag{1}$$

$$m_1 = \frac{14}{19} m_0 \tag{2}$$

Причём часть (а также и масса) оставшегося урана изменяется со временем так:

$$p(t) = e^{-\gamma t}, \gamma = \frac{\ln 2}{T} \quad (3)$$

, где  $T$  - период полураспада.

Эта зависимость следует из того, что это число экспоненциально понижается, причём при  $t = T$  оно должно быть  $= \frac{1}{2}$

Таким образом,

$$\frac{14}{19} = e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{T}} \quad (4)$$

$$\ln \frac{14}{19} = -\ln 2 \cdot \frac{t}{T} \quad (5)$$

$$t = -T \cdot \frac{\ln \frac{14}{19}}{\ln 2} = T \cdot \frac{\ln \frac{19}{14}}{\ln 2} \approx 0.44 \cdot T \approx 1.98 \text{ млрд лет} \quad (6)$$

## №3

В природном уране содержится 99.3% изотопа с массовым числом 238 и 0.7% изотопа с массовым числом 235. Период полураспада  $^{238}\text{U}$  равен 4.5 млрд. лет, а период полураспада  $^{235}\text{U}$  равен 700 млн. лет. Считая, что в момент зарождения Земли содержание обоих изотопов было одинаковым, оцените возраст Земли.

Пусть возраст Земли  $= t$

За это время от 50% каждого осталось по 99.3% и 0.7%, то есть, если считать, что всего урана стало в  $k$  раз меньше, получим, что

$$p_1 = \frac{0.993}{k \cdot 0.5}, p_2 = \frac{0.07}{k \cdot 0.5} \quad (7)$$

Но

$$p_1 = e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_1}}, p_2 = e^{-\ln 2 \cdot \frac{t}{T_2}} \quad (8)$$

Тогда

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{0.993}{0.07} = e^{t \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \quad (9)$$

$$\ln \frac{0.993}{0.07} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \quad (10)$$

Таким образом,

$$t = \frac{\ln \frac{0.993}{0.07}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)} \approx 3.171 \times 10^9 \text{ years} \quad (14)$$

## №4

Вычислите энергию, освобождающуюся при осуществлении ядерной реакции:



Массы  ${}_{13}^{27}\text{Al}$ ,  ${}_2^4\text{He}$ ,  ${}_{15}^{30}\text{P}$ ,  ${}_0^1\text{n}$  равны 26,97441 а.е.м., 4,00151 а.е.м., 29,97008 а.е.м. и 1,00866 а.е.м. соответственно.

Посчитаем, какая масса *теряется* при прохождении реакции (расчёт ведётся в а.е.м.).

```
D:\Projects>python
Python 3.7.7 (tags/v3.7.7:d7c567b08f, Mar 10 2020, 09:44:33) [MSC v.1900 32 bit (Intel)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> m_al = 26.97441
>>> m_he = 4.00151
>>> m_n = 1.00866
>>> m_p = 29.97008
>>> m_he + m_al
30.97592
>>> m_p + m_n
30.97874
>>> _
```

Оказывается, масса продуктов превышает массу реагентов, то есть энергия в этой реакции *поглощается*, а не *выделяется*.

Тогда спишем это досадное недоразумение на опечатку и посчитаем, сколько энергии поглощается.

В реакции часть массы появляется за счёт поглощения энергии, а именно:

$$\Delta m \cdot c^2 = \Delta E \quad (13)$$

То есть

$$\Delta E \approx 4.21 \times 10^{-13} \text{ Joule}$$