

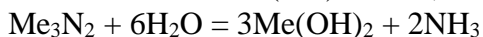
ЗАДАЧА 1. При обработке водой смеси нитрида и гидрида металла II группы с равными массовыми долями образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 2,658. Установите, какой металл входил в состав соединений. **(2 балла)**

РЕШЕНИЕ. При гидролизе нитридов и гидридов металлов образуются аммиак и водород соответственно. Найдем доли каждого газа в смеси:

$$\text{Молярная масса газовой смеси: } M_{\text{см}} = D_{\text{H}_2} \cdot M(\text{H}_2) = 2,658 \cdot 2 = 5,316 \text{ (г/моль);}$$

$$\text{Пусть } x \text{ - мольная доля аммиака, тогда } 5,316 = 17x + 2(1-x); \quad x(\text{NH}_3) = 0,221; \quad x(\text{H}_2) = 0,779;$$

$$\text{т.е. } \frac{v(\text{H}_2)}{v(\text{NH}_3)} = 3,525$$



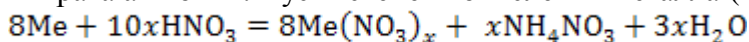
$$\text{следовательно, } \frac{v(\text{MeH}_2)}{v(\text{Me}_3\text{N}_2)} = \frac{v(\text{H}_2)}{v(\text{NH}_3)} = 3,525.$$

Пусть $M(\text{Me}) = y$. Приравняем массы гидрида и нитрида: $3,525(y+2) = 3y + 28$; $y \approx 40$, это **Ca**

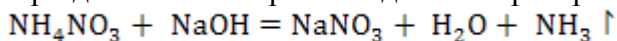
ОТВЕТ: кальций

ЗАДАЧА 2. Неизвестный металл массой 14,4 г растворили в избытке разбавленного раствора азотной кислоты, при этом был получен раствор, содержащий две соли. При добавлении к этому раствору избытка едкого натра при нагревании выделяется 4,48 л (н.у.) газа. Какой металл был растворен в азотной кислоте? Как его получают в промышленности? **(4 балла)**

РЕШЕНИЕ. Если в растворе образовалось две соли, это означает, что азотная кислота восстановилась до нитрата аммония. Пусть степень окисления металла (+x). Составим уравнение реакции



При добавлении горячего едкого натра в растворе произошла реакция



$$\text{Следовательно: } v(\text{NH}_4\text{NO}_3) = v(\text{NH}_3) = \frac{4,48}{22,4} = 0,2 \text{ (моль)}$$

Так как моли веществ относятся, как их коэффициенты: $\frac{v(\text{Me})}{v(\text{NH}_4\text{NO}_3)} = \frac{8}{x}$; откуда $v(\text{Me}) = \frac{1,6}{x}$, а молярная

$$\text{масса металла } M(\text{Me}) = \frac{m(\text{Me})}{v(\text{Me})} = \frac{14,4 \cdot x}{1,6} = 9x \text{ (напомним, что } x \text{ - степень окисления Me)}$$

для $x = 1$ $M(\text{Me}) = 9$, нет такого металла

для $x = 2$ $M(\text{Me}) = 18$, нет такого металла

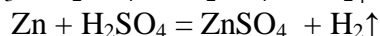
для $x = 3$ $M(\text{Me}) = 27$, это **алюминий**

для $x = 4$ $M(\text{Me}) = 36$, во-первых, мы не знаем активных четырехвалентных металлов, во-вторых, все равно с такой массой металла нет

ОТВЕТ: алюминий

ЗАДАЧА 3. В химический стакан, содержащий 200 мл 9,00 мас.% раствора серной кислоты (плотность 1,06 г/мл) поместили сначала навеску сульфата натрия, затем цинка. При этом часть цинка не растворилась. Суммарная масса содержимого сосуда после окончания реакций оказалась на 11,55 г меньше массы всех исходных веществ. Найти массовые доли солей в полученном растворе. **(2 балла)**

$$\text{РЕШЕНИЕ. Найдем моли серной кислоты: } v(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{V_{\text{р-ра}} \cdot \rho \cdot \omega}{M(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 0,195 \text{ (моль)}$$



Разность масс до и после реакции обусловлена покинувшими сосуд SO_2 и H_2 . Если обозначить $v(\text{Na}_2\text{SO}_3) = v(\text{SO}_2) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = x$, то количество вещества цинка, вступившего в реакцию, а, следовательно, и выделившегося водорода $v(\text{Zn}) = v(\text{H}_2) = 0,195 - x$.

$$\Delta m = m(\text{SO}_2) + m(\text{H}_2) = 64x + 2(0,195 - x) = 11,55 \text{ (г). откуда } x = 0,18 \text{ (моль) и}$$

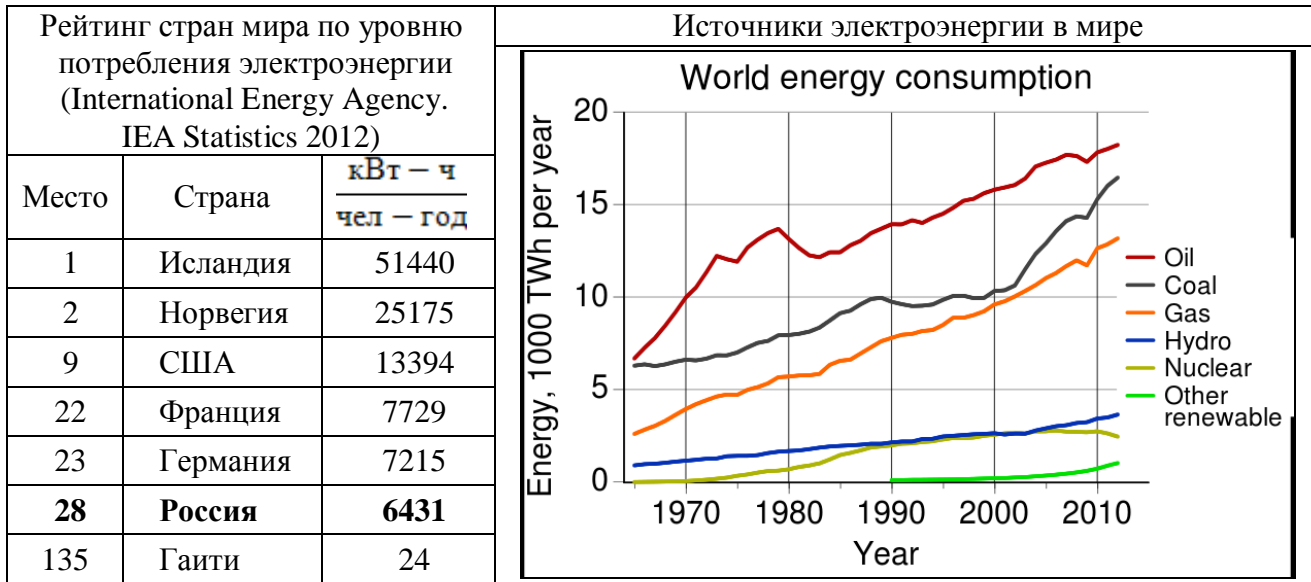
$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0,18 \cdot 142 = 25,56 \text{ (г)}$$

$$\text{Масса раствора: } m_{\text{р-ра}} = m_{\text{р-ра}}(\text{H}_2\text{SO}_4) + m(\text{Zn}) + m(\text{Na}_2\text{SO}_3) - 11,55 = \\ = 200 \cdot 1,06 + 65(0,195 - 0,18) + 0,18 \cdot 145 - 11,55 = 227,5 \text{ (г)}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = \frac{25,56}{227,5} \cdot 100\% = 11,3\%; \quad \omega(\text{ZnSO}_4) = \frac{161 \cdot 0,015}{227,5} \cdot 100\% = 1,1\%;$$

ОТВЕТ: $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 11,3\%$; $\omega(\text{ZnSO}_4) = 1,1\%$;

ЗАДАЧА 4. В настоящее время потребление электроэнергии в мире составляет около 143 ПВт-ч или 21 МВт-ч/чел в год. Однако потребление этой энергии по планете крайне неравномерно (см. табл.). Предложите свою версию объяснения, почему маленькая Исландия (насел. 320 тыс. чел) с большим отрывом занимает первое место в рейтинге стран по уровню потребления электроэнергии (ответ следует искать в области химического производства)? (за правдоподобный ответ **3 балла**)



РЕШЕНИЕ.

Исландия, хотя и северная страна, богата гидротермальными источниками энергии, поэтому практически не сжигает ископаемые топлива для теплоснабжения своего маленького населения, а также для выработки электроэнергии (**1 балл**). Поэтому напрашивается вывод, что в стране существует какая-то не просто энергоемкая отрасль промышленности, а электроемкая отрасль, которая нуждается в большом количестве дешевой электроэнергии (**1 балл**). Одними из таких производств являются электролитические способы получения металлов, особенно из расплавов их соединений (**1 балл**). И в самом деле, Исландия вырабатывает алюминий не только для собственных нужд, но и на экспорт.

ЗАДАЧА 5. Определите дефект массы (отв.1, **2 балла**) и массу урана-235 (отв.2, **2 балла**), вступившего в реакцию деления при взрыве атомной бомбы «Little man» мощностью 13 кт тринитротолуола (удельная энергия взрыва ТНТ 4,2 кДж/г-ТНТ). Определите долю «выгоревшего» урана-235 (отв.3, **1 балл**), если масса U-235 в заряде 64 кг. Во сколько раз удельная энергия ядерного превращения (на единицу массы) больше энергии химической реакции взрыва ТНТ (отв.4, **1 балл**)? При делении ядра урана-235 выделяется энергия около 210 МэВ (1 эВ $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж). (**6 баллов**)

РЕШЕНИЕ: Энергия взрыва $E_{\text{взрыва}} = m_{\text{ТНТ}} \cdot 4200 \text{ Дж/г-ТНТ} = 13 \cdot 10^9 \cdot 4200 = 5,46 \cdot 10^{13} \text{ (Дж)}$

По формуле $E = \Delta m c^2$ рассчитаем массу, которая превратилась в энергию (скорость света в вакууме $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с}$) $\Delta m = 6,08 \cdot 10^{-4} \text{ (кг)} = \mathbf{608 \text{ мкг}}$;

Рассчитаем количество делений при атомном взрыве

$$n_{\text{дел}} = \frac{E_{\text{взрыва}}}{E_{\text{деления}}} = \frac{5,46 \cdot 10^{13} \text{ Дж}}{210 \cdot 10^6 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 1,63 \cdot 10^{24};$$

Масса разделившихся ядер:

$$m(^{235}\text{U}) = \nu(^{235}\text{U}) \cdot M(^{235}\text{U}) = \frac{n_{\text{дел}}}{N_A} 235 = \frac{1,63 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23}} 235 = 636 \text{ (г)}$$

$$\text{Доля выгоревшего урана: } \eta = \frac{636 \text{ г}}{64000 \text{ г}} 100\% \cong \mathbf{1,0 \%}$$

Соотношение энергий обратно пропорционально соотношению масс, которые привели к одинаковому энерговыделению: $k = \frac{13 \cdot 10^9 \text{ г}}{636 \text{ г}} \cong \mathbf{20 \text{ млн}}$.

ОТВЕТ: $\Delta m = 608 \text{ мкг}$; $m(^{235}\text{U}) = 636 \text{ г}$; $\eta \cong 1,0 \%$; $k \cong 20 \text{ млн}$.

ЗАДАЧА 5.** Определите дефект массы (отв.1, **2 балла**) и массу плутония-239 (отв.2, **2 балла**), вступившего в реакцию деления при взрыве атомной бомбы «Fat man» мощностью 21 кт тринитротолуола (удельная энергия взрыва ТНТ 4,2 кДж/г-ТНТ). Определите долю «выгоревшего» плутония-239 (отв.3, **1 балл**), если масса Pu-239 в заряде 6,2 кг. Во сколько раз удельная энергия ядерного превращения (на единицу массы) больше энергии химической реакции взрыва ТНТ (отв.4, **1 балл**)? При делении ядра плутония-239 выделяется энергия около 210 МэВ (1 эВ $\approx 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж). (**6 баллов**)

РЕШЕНИЕ: Энергия взрыва $E_{\text{взрыва}} = m_{\text{ТНТ}} \cdot 4200 \text{ Дж/г-ТНТ} = 21 \cdot 10^9 \cdot 4200 = 8,82 \cdot 10^{13} \text{ (Дж)}$

По формуле $E = \Delta m c^2$ рассчитаем массу, которая превратилась в энергию (скорость света в вакууме $c = 2,997925 \cdot 10^8 \text{ м/с}$)

$$\Delta m = 9,81 \cdot 10^{-4} \text{ (кг)} = \mathbf{980 \text{ мкг}}$$

Рассчитаем количество делений при атомном взрыве

$$n_{\text{дел}} = \frac{E_{\text{взрыва}}}{E_{\text{деления}}} = \frac{8,82 \cdot 10^{13} \text{ Дж}}{210 \cdot 10^6 \text{ эВ} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж/эВ}} = 2,63 \cdot 10^{24};$$

Масса разделившихся ядер:

$$m(^{239}\text{Pu}) = \nu(^{239}\text{Pu}) \cdot M(^{239}\text{Pu}) = \frac{n_{\text{дел}}}{N_A} 239 = \frac{2,63 \cdot 10^{24}}{6,022 \cdot 10^{23}} 239 \cong 1040 \text{ (г)}$$

$$\text{Доля выгоревшего плутония: } \eta = \frac{1040 \text{ г}}{6200 \text{ г}} 100\% \cong \mathbf{16,8 \%}$$

Соотношение энергий обратно пропорционально соотношению масс, которые привели к одинаковому энерговыделению: $k = \frac{21 \cdot 10^9 \text{ г}}{1040 \text{ г}} \cong \mathbf{20 \text{ млн}}$.

ОТВЕТ: $\Delta m = 980 \text{ мкг}$; $m(^{239}\text{Pu}) = 1040 \text{ г}$; $\eta \cong 16,8 \%$; $k \cong 20 \text{ млн}$.

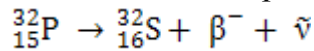
ЗАДАЧА 6. Первым искусственным радионуклидом, успешно примененным в терапии, был ^{32}P ($T_{1/2} = 14,3$ сут). Напишите **уравнение** радиоактивного распада фосфора-32 (отв.1, **2 балла**). Найдите максимальную кинетическую **энергию** вылетающих частиц (в кэВ, отв.2, **3 балла**), если масса ядра ^{32}P равна 31,965672, масса дочернего ядра - 31,963287, а в спектре излучения отсутствуют γ -кванты. Определите **долю** (масс. %) атомов ^{32}P в препарате массой 10 мг и с активностью 3 мКи. (отв.3, **2 балла**).

Справочные данные

Скорость света в вакууме c	$2,997925 \cdot 10^8$ м/с	Число Авогадро N_A	$6,022 \cdot 10^{23}$ моль $^{-1}$
Элементарный заряд e	$1,6022 \cdot 10^{-19}$ Кл	Электрон-Вольт (1 эВ)	$1,6022 \cdot 10^{-19}$ Дж
Масса электрона m_e	$9,109 \cdot 10^{-31}$ кг	Активность (1 Ки)	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк (точно)
Атомная единица массы 1 а.е.м.	$1,66054 \cdot 10^{-27}$ кг	Универсальная газовая постоянная R	$8,314 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Энергетический эквивалент 1 а.е.м.	$931,49 \cdot 10^6$ эВ	Постоянная Фарадея F	$96485 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$

РЕШЕНИЕ.

1) Фосфор - моноизотопный элемента, т.е. в природе существует один стабильный нуклид ^{31}P . Поэтому ^{32}P является нейтроноизбыточным радионуклидом, для которого наиболее вероятен β^- -распад:



(2 балла)

2) Энергия радиоактивного распада равна разности между массами материнского и дочернего ядер:

$$E_{\text{расп}} = m_{\text{яд}}(^{32}\text{P}) - m_{\text{яд}}(^{32}\text{S}) = 31,965672 - 31,963287 = 0,002385$$

(а.е.м.)

С учетом значения энергетического эквивалента 1 а.е.м.

$$E_{\text{расп}} = 0,002385 \cdot 931,49 \cdot 10^6 \text{ эВ} = 2222 \text{ (кэВ)}$$

Эта энергия распределяется между энергией возникновения β^- -частицы (мы ее с великим трудом рассчитали на семинаре, но это справочная величина и равна 511 кэВ), ее кинетической энергией и энергией электронного антинейтрино (которая при расчете граничной энергии β^- -спектра равна нулю). Следовательно, максимальная кинетическая энергия β^- -частицы $E_{\beta^-} = 2222 - 511 = 1711$ (кэВ) **(3 балла)**

Найдем массу радиофосфора:

$$m(^{32}\text{P}) = v \cdot M = \frac{N}{N_A} \cdot M = \frac{A}{\lambda \cdot N_A} \cdot M = \frac{A \cdot T_{1/2}}{\ln 2 \cdot N_A} \cdot M$$

$$= \frac{0,003 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \cdot 14,3 \cdot 24 \cdot 3600}{0,693 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}} \cdot 31 \cong 1,0 \cdot 10^{-8} \text{ (г)}$$

$$= 1,0 \cdot 10^{-5} \text{ мг}$$

Массовая доля ^{32}P в препарате:

$$\omega(^{32}\text{P}) = \frac{m(^{32}\text{P})}{m(\text{преп})} = \frac{1,0 \cdot 10^{-5} \text{ мг}}{10 \text{ мг}} \cdot 100\% \cong 1 \cdot 10^{-4} \% \quad \text{(2 балла)}$$

ОТВЕТ: ${}_{15}^{32}\text{P} \rightarrow {}_{16}^{32}\text{S} + \beta^- + \bar{\nu}$; $E_{\beta^-} = 1711$ кэВ; $\omega(^{32}\text{P}) \cong 1,1 \cdot 10^{-4} \%$