

Решение задания теоретического тура РХО-2005 для 9 класса

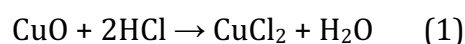
№9-1-2005респ.

Надо полагать, что в трубке оксида меди (II) восстанавливается водородом до металлической меди, причем восстановление протекает не полностью (реакционная масса взаимодействует с соляной кислотой, а медь с ней не реагирует). Стало быть, данную задачу целесообразно решать с конца.

Найдем массу прореагировавшей соляной кислоты.

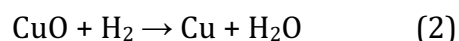
$$m(\text{HCl}) = 50 \cdot 14,6/100 = 7,3 \text{ г}$$

Запишем уравнение реакции и найдем массу оксида меди (II), растворившегося в соляной кислоте:



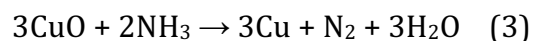
Нетрудно подсчитать что $n(\text{HCl}) = 7,3/36,5 = 0,2$ моль; по уравнению реакции $n(\text{CuO}) = 0,1$ моль, $m(\text{CuO}) = 8$ г. Таким образом, в реакцию с газами вступило $112 - 8 = 104$ г оксида меди (II).

До сих пор задача не содержала «подводных камней». Посмотрим, что будет дальше. Очевидно, что окси меди (II) восстанавливается водородом:



Количество оксида меди, вступившего в реакцию: $n(\text{CuO}) = 104/80 = 1,3$ моль. Если действовать по схеме «один реагент» (см. п.1), по уравнению (2) можно рассчитать, что $n(\text{H}_2) = 1,3$ моль. Но тогда получается, что объем исходной смеси должен быть никак не меньше $1,3 \cdot 22,4 = 29,12$ л, а у нас только 22,4 л. Что-то не сходится! Неужели опечатка?

Никакой опечатки, увы нет. Оказывается аммиак при нагревании также может реагировать с оксидом меди (II):



Введем обозначение: $n(\text{H}_2) = x$, $n(\text{NH}_3) = y$, тогда, согласно уравнению (2) и (3),

$$\begin{cases} 1,5y + x = 1,3 \\ x + y = 1 \end{cases}$$

откуда получим: $y = 0,6$; $x = 0,4$. Дальнейшее дело техники. Масса аммиака в данной смеси: $m(\text{NH}_3) = 0,6 \cdot 17 = 10,2$ г. Масса водорода: $m(\text{H}_2) = 0,4 \cdot 2 = 0,8$ г. Отсюда массовая доля аммиака в исходной смеси равна:

$$w(\text{NH}_3) = \frac{10,2}{10,2 + 0,8} = 0,927 \text{ или } 92,7\%$$

Таким образом, на долю водорода приходится 7,3% по массе.

№9-2-2005респ.

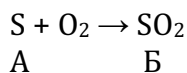
- 1) $2\text{AgNO}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{AgNO}_3 + \text{NH}_4\text{OH} + \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CAg}\downarrow + \text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 3) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} \rightarrow \text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CAg}\downarrow + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{Ag}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$
- 5) $\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{AgCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $3\text{Ag} + 4\text{HNO}_3(\text{разб}) \rightarrow 3\text{AgNO}_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$

- 7) $\text{Ag} + 2\text{HNO}_3(\text{конц}) \rightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
 $\text{AgNO}_3 + \text{KCl} \rightarrow \text{AgCl}\downarrow + \text{KNO}_3$
- 8) $\text{AgCl} + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$
- 9) $\text{CH}_3\text{COOAg} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{AgCl}\downarrow$
- 10) $2\text{Ag} + 2\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) \rightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 11) $\text{Ag}_2\text{SO}_4 + 2\text{NH}_3 \rightarrow [\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]_2\text{SO}_4$
- 12) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]_2\text{SO}_4 + 2\text{HI} \rightarrow 2\text{AgI}\downarrow + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 13) $\text{CH}_3\text{COOAg} + \text{KI} \rightarrow \text{AgI}\downarrow + \text{CH}_3\text{COOK}$
- 14) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOAg} + 2\text{CH}_3\text{COONH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 15) $2\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CAg} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{Ag}_2\text{SO}_4$
- 16) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]_2\text{SO}_4 + 6\text{HCl} \rightarrow 2\text{AgCl}\downarrow + 4\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$
- 17) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{HI} \rightarrow \text{AgI}\downarrow + \text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{I}$

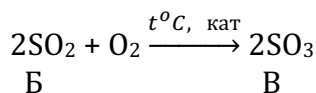
№9-3-2005респ.

Элемент А – неметалл, так как П – газ, а гидриды металлов – твердые вещества. Элемент а не находится в IV или V группе периодической системы Д.И. Менделеева – едкое кали не взаимодействует с водородными соединениями типа CH_4 и NH_3 . Вещество а не галоген: галогены не взаимодействуют напрямую с кислородом. Получается что А – сера.

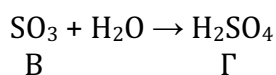
Сера горит на воздухе, превращаясь в сернистый ангидрид SO_2 (Б):



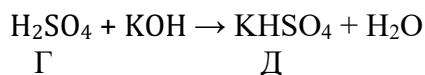
Окисление SO_2 в серный ангидрид SO_3 (В) проводят при температуре 450°C на сложном катализаторе $\text{V}_2\text{O}_5/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ и др:



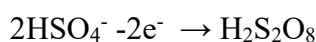
Взаимодействуя с водой, SO_3 дает серную кислоту:



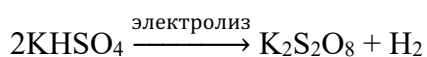
С серной кислотой гидроксид калия может образовать кислые и средние соли, но последующее превращение исходит из KHSO_4 :



Когда концентрированный раствор бисульфата калия подвергают электролизу, на катоде происходит выделение водорода и накопление KOH , а на аноде по схеме



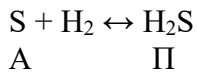
Образуется надсерная (пероксодвусерная) кислота, содержащая в своем составе пероксидную цепочку $-\text{O}-\text{O}-$ если катодное и анодное пространства не разделены диафрагмой, то по завершении электролиза в результате нейтрализации получается малорастворимый перосульфат калия $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$:



Д

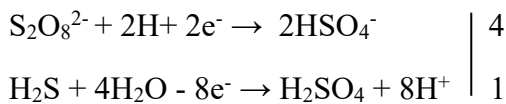
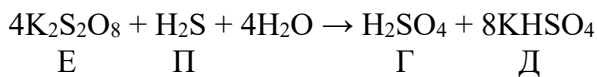
Е

Серa с водородом образует соединения различного состава (например, H_2S , H_2S_2 , H_2S_3), представляющие собой газы или маслообразные жидкости с резким запахом. Сероводород H_2S – наиболее устойчивый гидрид серы – образуется при нагревании водорода с серой:

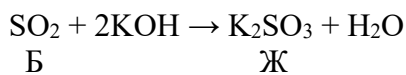


Равновесие этой реакции смещено в сторону образования сероводорода лишь до 350°C , а при более высоких температурах он разлагается.

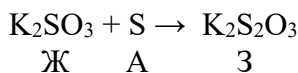
Персульфаты – сильные окислители, тогда как сероводород – восстановитель, при их взаимодействии в присутствии воды образуется серная кислота и бисульфат калия:



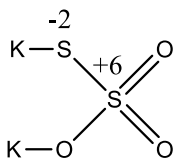
Сернистый ангидрид дает с едким кали в зависимости от соотношения реагентов кислую или среднюю соль. Из дальнейших превращений следует, что продукт Ж – средняя соль K_2SO_3 :



Сульфиты способны присоединять при кипячении серу с переходом в соли тиосерной (серноватистой) кислоты:

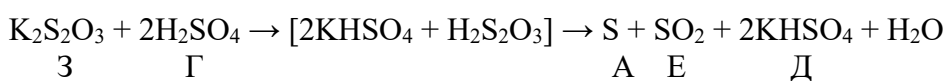


Тиосульфату калия отвечает структурная формула:

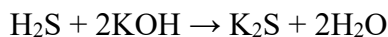


из которой видно, что один атом серы имеет степень окисления -2, а другой +6. Известны только средние соли тиосерной кислоты, поэтому исходное вещество тоже средняя соль, Ж - K_2SO_3

серная кислота вытесняет из тиосульфата тиосерную кислоту $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_3$, которая в свободном состоянии неустойчива и распадается на серу, диоксид серы и воду:



Сероводородной кислоте соответствуют средние и кислые соли, называемые сульфидами и гидросульфидами. Все гидросульфиды растворимы в воде и существуют лишь в растворах. Вещество Л – средняя соль, сульфида калия K_2S :



П Л

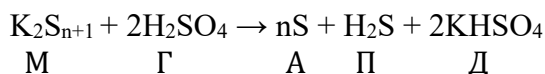
Для серы характерны тенденции к образованию связи нескольких атомов S между собой. Так, сульфиды щелочных металлов при нагревании реагируют в растворах с серой, образуя полисульфиды:



Л М

По мере увеличения содержания серы в полисульфидах окраска их меняется от желтой (K_2S_2) до красной (K_2S_9).

Обработка полисульфидов избытком серной кислоты сопровождается выделением элементарной серы, сероводорода и гидросульфата калия:



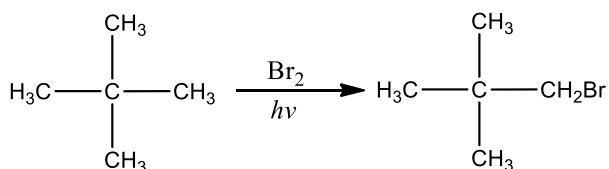
М Г А П Д

Ответ: А=S, Б=SO₂, В=SO₃, Г=H₂SO₄, Д=KHSO₄, Е=K₂S₂O₈, Ж=K₂SO₃, З=K₂S₂O₃, Л=K₂S_n, М=K₂S_{n+1}, П=H₂S.

№9-4-2005респ.

А- неопентан, Б – пропан, В – этан

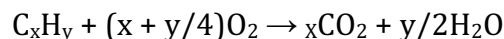
- 1) Одинаковый элементный состав означает одинаковые соотношения между числом атомов С и Н, суть одинаковую общую формулу для всех трех веществ.
- 2) Из рассмотрения уравнений реакций горения
 А: $\text{C}_x\text{H}_y + (x+y/4)\text{O}_2 \rightarrow x\text{CO}_2 + y/2\text{H}_2\text{O}$
 Б: $\text{C}_a\text{H}_b + (a+b/4)\text{O}_2 \rightarrow a\text{CO}_2 + b/2\text{H}_2\text{O}$
 В: $\text{C}_c\text{H}_d + (c+d/4)\text{O}_2 \rightarrow c\text{CO}_2 + d/2\text{H}_2\text{O}$
 откуда, с учетом п.1, $x=a+c$; $y=b+d$
- 3) Несуществование изомеров для А и Б говорит о том, что если А и Б – алканы, то число атомов углерода в их молекулах не превышает 3 для одного и 2 для другого. Если они содержат кратную связь, то по крайней мере один из них должен иметь изомер (т.к. из соединений с кратной саязью не содержат изомеров только этилен и ацетилен, но они относятся к разным гомологическим рядам, что противоречит условию задачи). Следовательно, А, Б и В – алканы. Причем число атомов углерода в молекуле А не превышает 5 (2+3).
- 4) Наличие только одного монобромпроизводного А означает равноценность всех атомов углерода. Это может быть реализовано, например, если они образуют цикл, причем либо ароматический, либо не содержащий кратных связей. Однако эти соединения не удовлетворяют условию задачи, т.к. их брутто – формула отлична от брутто – формулы алканов. В случае невозможности циклической структуры равноценность может быть достигнута, если структура исходит из четвертичного атома С и все концевые атомы симметричны, как, например, неопентане:



Неопентан – единственное соединение А, удовлетворяющее условиям задачи. Тогда Б и В должны быть этан и пропан.

Даная задача является примером, в котором умение использовать методы расчета по уравнениям реакции является только вспомогательным аппаратом. Вклад качественной части значительно превышает вклад расчетной, и тем не менее без хорошего умения правильно оценить количественные данные в задаче она не может быть решена.

№9-5-2005респ.



Количество реагентов и продуктов реакции:

$$n_{H_2O} = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{0,162}{18} = 0,009 \text{ моль}$$

$$n_{C_xH_y} = \frac{0,009}{y/2} = \frac{0,018}{y} \text{ моль} \quad (1)$$

$$n_{O_2} = \left(x + \frac{y}{4}\right) * \frac{0,009}{y/2} = \frac{x+4}{y} * 0,018 \text{ моль} \quad (2)$$

$$n_{CO_2} = x * \frac{0,009}{y/2} = \frac{x}{y} * 0,018 \text{ моль} \quad (3)$$

До реакции:

$$n_{смеси} = \frac{P * V}{R * T} = \frac{101,325 * 1}{8,314 * 406,5} = 0,03 \text{ моль}$$

$$n_{C_xH_y} + 2n_{O_2} = 0,03 \text{ моль} \quad (4)$$

После реакции:

$$n_{смеси} = \frac{P * V}{R * T} = \frac{106,4 * 1}{8,314 * 406,5} = 0,0315 \text{ моль}$$

$$n_{CO_2} + n_{O_2} + n_{H_2O} = 0,0315 \text{ моль}$$

$$n_{CO_2} + n_{O_2} = 0,0225 \text{ моль} \quad (5)$$

При подставлении (1), (2) и (3) в уравнение (4) и (5) получаем уравнение с двумя неизвестными; $x=3, y=6$. Стехиометрическая формула неизвестного углеводорода: C_3H_6

Составу C_3H_6 соответствуют два углеводорода:



Установить какой из этих углеводородов содержится в исходной смеси без дополнительных данных не возможно.

№9-6-2005респ.

По окончании полного сгорания алкана смесь состоит из углекислого газа, воды и кислорода. Вода при стандартных условиях – жидкость. Значит, в конечной смеси имеются два газа - кислород и углекислый газ. Найдем процентное содержание углекислого газа и кислорода в конечной смеси в объемных процентах.

Пусть процентное содержание кислорода равно x , тогда

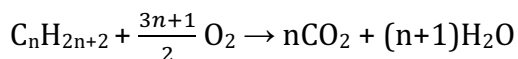
$$\frac{32x + 44(100 - x)}{100} = 19 \cdot 2 = 38$$

отсюда

$$\varphi(O_2) = \varphi(CO_2) = 50\%$$

Предположим, что перед началом реакции был 1 моль смеси газов. Пусть $n(C_nH_{2n+2}) = y$ моль, тогда $n(O_2) = (1-y)$ моль.

Составим уравнение реакции горения алкана:



Исходное количества Вещества, моль	Количество вещества, прореагировавших в ходе реакции	Оставшиеся/образовавшиеся количества вещества после реакции, моль
y $1-y$ 0	y $(1,5n-0,5)y$	0 $1-1,5ny-1,5y$ ny

После реакции $n(O_2) = n(CO_2)$, следовательно,

$$1-1,5ny-1,5y = ny$$

$$1 = 1,5y + 2,5ny$$

$$y = \frac{1}{2,5n + 1,5}$$

С другой стороны,

$$\frac{M(\text{алкана}) \cdot n(\text{алкана}) + M(O_2) \cdot n(O_2)}{n(\text{алкана}) + n(O_2)} = D_{H_2} \cdot M(H_2)$$

$$(14n+2)y + 32(1-y) = 33,4$$

$$14ny + 2y + 32 - 32y = 33,4$$

$$y(14n-30) = 1,34$$

Подставим в это выражения значение для y

$$\frac{1}{2,5n+1,5} = \frac{1,34}{14n-30}$$

Решая уравнение получаем $n=3$, тогда формула алкана C_3H_8 -пропан

№9-7-2005респ.

$$1) \ln\left(\frac{m_0}{m}\right) = \lambda \cdot t = \frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}}$$

$$a) \ln\left(\frac{2}{m}\right) = \frac{\ln 2 \cdot 24}{12} \Rightarrow m = 0,5 \text{ г}$$

$$б) \ln\left(\frac{2}{m}\right) = \frac{\ln 2 \cdot 48}{12} \Rightarrow m = 0,125 \text{ г}$$

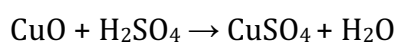
$$2) \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{1,7 \cdot 10^{-17}} = 6 \cdot 10^{16} \text{ с}$$

Таким образом, за 1 с из $6 \cdot 10^{16}$ ядер изотопа ^{40}K распадается одно ядро

- 3) Равновесное состояние в радиоактивных рядах выражается уравнением $\lambda_1 \cdot N_1 = \lambda_2 \cdot N_2 = \dots = \text{const}$, где N - число атомов радиоактивного изотопа в данный момент времени. Поскольку U и Ra - члены радиоактивного ряда, то для них справедливо равенство $\lambda(U) \cdot N(U) = \lambda(\text{Ra}) \cdot N(\text{Ra})$ или, так как λ и $T_{1/2}$ обратно пропорциональны друг другу, то

$$\frac{N(U)}{T_{1/2}(U)} = \frac{N(\text{Ra})}{T_{1/2}(\text{Ra})}, \text{ откуда } T_{1/2}(U) = \frac{N(U)T_{1/2}(\text{Ra})}{N(\text{Ra})} = \frac{1 \cdot 1600 \cdot 226}{238 \cdot 3,3 \cdot 10^{-7}} = 4,5 \cdot 10^9 \text{ лет}$$

- 4) 1. Так как $\lambda T_{1/2} = 0,693$, то $\lambda(\text{Ra}) = 0,693 / T_{1/2}(\text{Ra}) = 0,693 / (1617 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600) = 1,36 \cdot 10^{-11}$
 2. Если $\lambda(\text{Ra}) = 1,36 \cdot 10^{-11} \approx 1,4 \cdot 10^{-11} = 14 / 10^{12}$, то из 10^{12} атомов за 1 с распадаются 14 атомов радия
- 5) Известно, что из радия массой 1 г за одну секунду выделяется гелий объемом $5,03 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3$ (н.у.). По сцинтилляциям т.е. вспышкам на экране, из ZnS определено, что в этом объеме содержится $13,6 \cdot 10^{10}$ α -частиц. Тогда в $5,03 \cdot 10^{-9} \text{ см}^3$ содержится $13,6 \cdot 10^{10}$ атомов He, а в объеме одного моля газа (н.у.), т.е. в $22,4 \cdot 10^3 \text{ см}^3$, число атомов, равное постоянной Авогадро N_A :
- $5,03 \cdot 10^{-9} - 13,6 \cdot 10^{10}$ атомов
 $22,4 \cdot 10^3 - N_A$ атомов
 $N_A = 6,056 \cdot 10^{23}$ атомов

№9-8-2005респ.

$$n(\text{CuO}) = m(\text{CuO}) / M(\text{CuO}) = 20 / 79,5 = 0,2516 \text{ моль}$$

$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = n(\text{CuSO}_4) = 0,2516 \text{ моль}$$

Масса раствора CuSO_4 , полученного в результате реакции:

$$m(p - \text{ра}) = m(\text{CuO}) + m(p - \text{ра} \text{H}_2\text{SO}_4) = m(\text{CuO}) + \frac{n(\text{H}_2\text{SO}_4)M(\text{H}_2\text{SO}_4)}{w(\text{H}_2\text{SO}_4)} = 20 + \frac{0,2516 \cdot 98}{0,2} = 143,28 \text{ г}$$

Массовая доля CuSO_4 :

а) в полученном растворе

$$w(\text{CuSO}_4) = \frac{m(\text{CuSO}_4)}{m(p - \text{ра})} = \frac{n(\text{CuSO}_4)M(\text{CuSO}_4)}{m(p - \text{ра})} = 0,28$$

б) в насыщенном растворе при 20°C

$$w(\text{CuSO}_4) = 20,9 / 120,9 = 0,173$$

в) в кристаллогидрате $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$

$$w(\text{CuSO}_4) = \frac{M(\text{CuSO}_4)}{M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})} = 0,639$$

Уравнение массового баланса для CuSO_4 :

$$0,639m_1 + 0,173m_2 = 0,28m$$

Где m_1 - масса кристаллогидрата; m_2 - масса насыщенного при 20°C раствора; m - масса раствора CuSO_4 , полученного в результате реакции при более высокой температуре:

$$0,639m_1 + 0,173(143,28 - m_1) = 0,28 \cdot 143,28$$

$$m_1 = 32,9 \text{ г}$$

В результате кристаллизации будет получено 32,9 г $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$