

Олимпиада школьников «Ломоносов». 2024/25 учебный год.
Решения заданий заключительного этапа по химии
5-9 классы
Вариант 1

Указание к оформлению решения. Во всех задачах, требующих численного ответа, должны быть приведены расчеты. Все качественные вопросы требуют обоснования. Только ответы, записанные без расчетов и/или обоснований, не оцениваются.

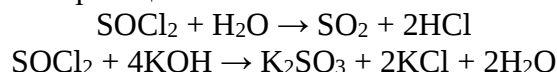
Задача 1 (10 баллов)

Жидкое вещество **X** используется для хлорирования органических и неорганических соединений. Оно состоит из трех элементов, содержание хлора составляет 59.7% по массе и 50% по числу атомов. Установите формулу **X** и запишите уравнения его реакций с водой и избытком раствора гидроксида калия.

Решение. Запишем формулу **X** в виде ACl_n , где **A** содержит n атомов двух элементов. Из выражения для массовой доли хлора:

$$\omega(Cl) = \frac{35.5n}{M(A) + 35.5n} = 0.597$$

следует: $M(A) = 24n$. Минимальное значение n равно 2, тогда на 2 атома в **A** приходится 48 г/моль, это – O и S (16 + 32). Вещество **X** – $SOCl_2$, хлористый тионил, или хлорангидрид сернистой кислоты. Уравнения реакций:

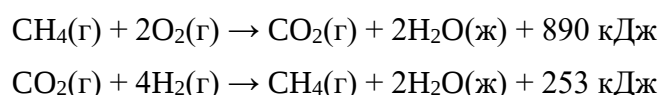


Ответ: **X** – $SOCl_2$.

Система оценивания: Формула **X** с расчетом – 6 баллов (без расчета – 0 баллов)
Уравнения реакций – $2 \times 2 = 4$ балла (второе уравнение – 1 балл за SO_2 вместо K_2SO_3)
Всего – 10 баллов

Задача 2 (14 баллов)

Даны термохимические уравнения реакций полного сгорания метана в кислороде и полного восстановления углекислого газа водородом:



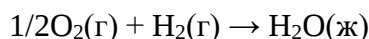
1) Найдите теплоту образования ($Q_{обр}$) жидкой воды из простых веществ (в кДж/моль). (Для экзотермических реакций $Q > 0$).

2) Сколько литров метана (в пересчете на н. у.) потребуется сжечь, чтобы выделившейся теплоты хватило на полное разложение одного литра воды на простые вещества?

Решение. Если сложить два уравнения из условия, то можно найти теплоту образования 4 моль воды:



Теплота реакции



равна $(890 + 253) / 4 = 285.75 \approx 286 \text{ кДж/моль.}$

8 баллов

(4 балла вместо 8, если приведена в 2 раза большая теплота, т. е. на 2 моль воды).

2) $\nu(H_2O) = 1000 / 18 = 55.6$ моль. Для разложения такого количества воды потребуется

$$55.6 \cdot 285.75 = 15888 \text{ кДж}$$

2 балла

$$\nu(CH_4) = 15888 / 890 = 17.85 \text{ моль,}$$

3 балла

$$V(CH_4) = 17.85 \cdot 22.4 = 400 \text{ л.}$$

1 балл

(Если в п.1 теплота найдена неправильно, но в п.2 с этой теплотой проведены правильные расчеты, то за п.2 – полный балл).

Ответ: 286 кДж/моль; 400 л.

Система оценивания – в решении

Всего – 14 баллов

Задача 3 (14 баллов)

Два положительных иона состоят из одних и тех же элементов-неметаллов и имеют одинаковый заряд. Один из двух элементов имеет в этих ионах разные степени окисления, они отличаются на 2. Соли этих катионов, как правило, гигроскопичны и реагируют с водой. Твёрдый нитрат одного из этих катионов представляет собой высший оксид.

1) Установите формулы ионов, определите степени окисления и валентности элементов в них.

2) Запишите уравнения реакций с водой кислотного оксида и перхлората каждого катиона.

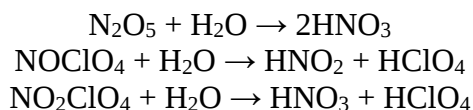
Решение. 1) Нитрат представляет собой кислотный оксид, следовательно, оба катиона образованы азотом и кислородом. Это – NO^+ (катион нитрозония) и NO_2^+ (катион нитрония).

NO^+ : $[\text{N}\equiv\text{O}]^+$, степени окисления: N^{+3} , O^{-2} , валентности: N(III), O(III).

NO_2^+ : $[\text{O}=\text{N}=\text{O}]^+$, степени окисления: N^{+5} , O^{-2} , валентности: N(IV), O(II).

Высший оксид – N_2O_5 , в твёрдом виде представляет собой ионное соединение: $\text{NO}_2^+\text{NO}_3^-$.

2) Уравнения реакций:



Ответ: NO^+ , NO_2^+ .

Система оценивания.

Формулы ионов – по 2 балла, всего 4 балла

Валентности и степени окисления азота и кислорода – по 0.5 балла, всего 4 балла

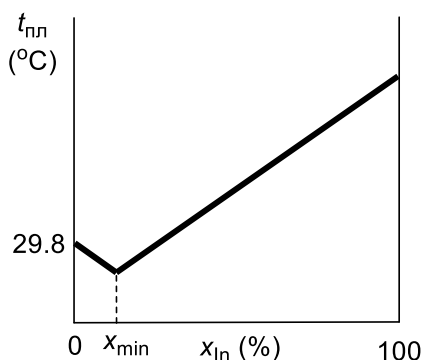
Уравнения реакций – по 2 балла, всего – 6 баллов

Всего – 14 баллов

Задача 4 (12 баллов)

Индий и галлий образуют сплавы, которые могут быть жидкими даже при комнатной температуре. Зависимость температуры плавления таких сплавов $t_{\text{пл}}$ ($^{\circ}\text{C}$) от мольной доли индия x (%) в них приближенно описывается линейной функцией:

$$t_{\text{пл}}(^{\circ}\text{C}) = \begin{cases} 29.8 - x & \text{при } x \leq x_{\text{min}} \\ 1.64x - 8 & \text{при } x \geq x_{\text{min}} \end{cases}$$



- 1) Найдите температуру плавления чистого индия.
- 2) Найдите состав и температуру плавления самого легкоплавкого сплава.
- 3) При какой температуре будет плавиться сплав, содержащий равные массы индия и галлия?

Решение. 1) Подставляем в уравнение $x = 100\%$:

$$t_{\text{пл}}(\text{In}) = 1.64 \cdot 100 - 8 = 156 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

- 2) Найдем состав с минимальной температурой плавления:

$$29.8 - x_{\text{min}} = 1.64x_{\text{min}} - 8$$

$$x_{\text{min}} = 14.3\% \text{ индия по молям}$$

$$t_{\text{пл}} = 29.8 - 14.3 = 15.5 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

- 3) Возьмем 100 г сплава, он содержит по 50 г индия и галлия.

$$\text{Мольная доля индия: } x_{\text{In}}(\%) = \frac{\frac{50}{\frac{114.8}{50} + \frac{50}{69.7}}}{100} \cdot 100\% = 37.8\%.$$

$$t_{\text{пл}} = 1.64 \cdot 37.8 - 8 = 54 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

На самом деле, сплав с мольной долей индия 37.8% начнет плавиться при температуре эвтектики, т.е. при 15.5 °C, а при температуре 54 °C расплавится весь. Правильным ответом можно считать весь диапазон от 15.5 до 54 °C, но такой ответ не встретился ни в одной работе.

Ответ. 1) 156°C. 2) 14.3 мол.% In; 15.5 °C. 3) 54 °C.

Система оценивания.

1) Температура плавления индия – 2 балла

2) Состав сплава (в любых долях) – 3 балла (без расчета – 0 баллов)

Температура плавления сплава – 2 балла

3) Мольная доля – 3 балла (без расчета – 0 баллов)

Температура плавления сплава – 2 балла

Всего – 12 баллов

Задача 5 (12 баллов)

Для измерения постоянной Авогадро был проведен следующий эксперимент. Раствор сульфата никеля подвергли электролизу с никелевым анодом в течение 2525 с при постоянной силе тока 1.234 А. За время электролиза масса анода уменьшилась на 0.9453 г. Оцените значение постоянной Авогадро с точностью три знака после запятой, используя следующие справочные данные: относительная атомная масса никеля $A_r(\text{Ni}) = 58.69$, заряд электрона $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$ Кл. *Подсказка: постоянной Фарадея пользоваться нельзя, так как она связана с постоянной Авогадро.*

Решение. На аноде растворяется никель: $\text{Ni} - 2e \rightarrow \text{Ni}^{2+}$.

$$\text{Число электронов, прошедших через раствор: } N(e) = \frac{q}{e} = \frac{2525 \text{ с} \cdot 1.234 \text{ А}}{1.602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}} = 1.945 \cdot 10^{22},$$

$$\text{число атомов никеля, перешедших в раствор: } N(\text{Ni}) = \frac{N(e)}{2} = 9.725 \cdot 10^{21},$$

$$\text{количество вещества никеля: } \nu(\text{Ni}) = \frac{0.9453}{58.69} = 1.611 \cdot 10^{-2} \text{ моль},$$

$$\text{постоянная Авогадро: } N_A = \frac{N}{\nu} = \frac{9.725 \cdot 10^{21}}{1.611 \cdot 10^{-2}} = 6.038 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}.$$

Ответ: $6.038 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$.

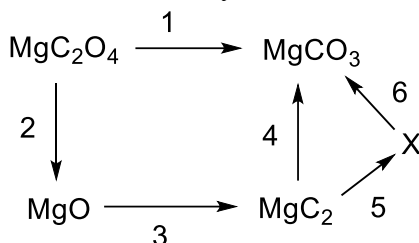
Система оценивания.

По 3 балла за каждый указанный фрагмент расчета. Уравнения процессов на электроде не оцениваются.

Всего – 12 баллов

Задача 6 (18 баллов)

Напишите уравнения реакций, соответствующие схеме превращений:



Вещество **X** состоит из двух элементов и содержит 8.7% магния по массе.

Решение. **X** – MgI_2 ($\omega(\text{Mg}) = 24.3 / 278.3 = 0.087$).

- 1) $\text{MgC}_2\text{O}_4 \xrightarrow{t} \text{MgCO}_3 + \text{CO}$
- 2) $\text{MgC}_2\text{O}_4 \xrightarrow{t} \text{MgO} + \text{CO}_2 + \text{CO}$
- 3) $\text{MgO} + 3\text{C} \xrightarrow{t} \text{MgC}_2 + 2\text{CO}$
- 4) $\text{MgC}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{MgCO}_3 + \text{C}_2\text{H}_2$
- 5) $\text{MgC}_2 + 2\text{HI} \rightarrow \text{MgI}_2 + \text{C}_2\text{H}_2$
- 6) $\text{MgI}_2 + (\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{MgCO}_3\downarrow + 2\text{NH}_4\text{I}$

Система оценивания.

Каждое уравнение – 3 б (50%, если не уравнено). Принимались любые разумные уравнения.

Всего – 18 баллов

Задача 7 (20 баллов)

«Адский камень» **X** – неорганическая соль белого цвета, которая при попадании на кожу оставляет на ней темные следы. Отлично растворима в воде. При действии щёлочи на водный раствор **X** выпадает темный осадок **Y** (реакция 1), который растворяется в аммиаке (реакция 2) и азотной кислоте (реакция 3) и светлеет при добавлении соляной кислоты (реакция 4).

Вещество **Y** используется в качестве катода в кнопочных батарейках, где анодом служит металлический цинк, а электролитом – раствор щелочи.

1) Определите вещества **X** и **Y**, запишите уравнения реакций (1) – (4).

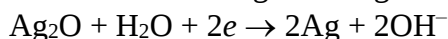
2) Запишите уравнения полуреакций на катоде и аноде и суммарное уравнение реакции, протекающей в батарейке. Щелочи в батарейке не очень много.

Решение. 1) Из описания химических свойств **X** и **Y** понятно, что **X** – AgNO_3 , **Y** – Ag_2O .

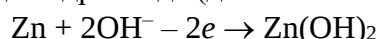
Уравнения реакций:

- 1) $2\text{AgNO}_3 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + 2\text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{Ag}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$
- 3) $\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow 2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{AgCl}\downarrow + \text{H}_2\text{O}$

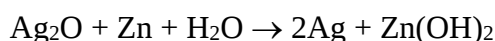
2) На катоде происходит восстановление Ag_2O до Ag в щелочной среде:



На аноде цинк окисляется до гидроксида (для комплексной соли щелочи не хватит):



Суммарное уравнение:



Ответ: **X** – AgNO_3 , **Y** – Ag_2O .

Система оценивания.

Формулы **X** и **Y** – по 2 б, всего – 4 балла

Уравнения реакций (1) – (4) – по 2 балла (50%, если не уравнено), всего – 8 баллов

Уравнения полуреакций – по 3 балла (50%, если не учтены ионы OH^-), всего – 6 баллов

Суммарное уравнение – 2 балла

Всего – 20 баллов.