

1																	18
¹ H 1.008	2											13	14	15	16	17	² He 4.003
³ Li 6.94	⁴ Be 9.01											⁵ B 10.81	⁶ C 12.01	⁷ N 14.01	⁸ O 16.00	⁹ F 19.00	¹⁰ Ne 20.18
¹¹ Na 22.99	¹² Mg 24.31	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	¹³ Al 26.98	¹⁴ Si 28.09	¹⁵ P 30.97	¹⁶ S 32.06	¹⁷ Cl 35.45	¹⁸ Ar 39.95
¹⁹ K 39.10	²⁰ Ca 40.08	²¹ Sc 44.96	²² Ti 47.87	²³ V 50.94	²⁴ Cr 52.00	²⁵ Mn 54.94	²⁶ Fe 55.85	²⁷ Co 58.93	²⁸ Ni 58.69	²⁹ Cu 63.55	³⁰ Zn 65.38	³¹ Ga 69.72	³² Ge 72.63	³³ As 74.92	³⁴ Se 78.97	³⁵ Br 79.90	³⁶ Kr 83.80
³⁷ Rb 85.47	³⁸ Sr 87.62	³⁹ Y 88.91	⁴⁰ Zr 91.22	⁴¹ Nb 92.91	⁴² Mo 95.95	⁴³ Tc -	⁴⁴ Ru 101.1	⁴⁵ Rh 102.9	⁴⁶ Pd 106.4	⁴⁷ Ag 107.9	⁴⁸ Cd 112.4	⁴⁹ In 114.8	⁵⁰ Sn 118.7	⁵¹ Sb 121.8	⁵² Te 127.6	⁵³ I 126.9	⁵⁴ Xe 131.3
⁵⁵ Cs 132.9	⁵⁶ Ba 137.3	57-71	⁷² Hf 178.5	⁷³ Ta 180.9	⁷⁴ W 183.8	⁷⁵ Re 186.2	⁷⁶ Os 190.2	⁷⁷ Ir 192.2	⁷⁸ Pt 195.1	⁷⁹ Au 197.0	⁸⁰ Hg 200.6	⁸¹ Tl 204.4	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 209.0	⁸⁴ Po -	⁸⁵ At -	⁸⁶ Rn -
⁸⁷ Fr -	⁸⁸ Ra -	89-103	¹⁰⁴ Rf -	¹⁰⁵ Db -	¹⁰⁶ Sg -	¹⁰⁷ Bh -	¹⁰⁸ Hs -	¹⁰⁹ Mt -	¹¹⁰ Ds -	¹¹¹ Rg -	¹¹² Cn -	¹¹³ Nh -	¹¹⁴ Fl -	¹¹⁵ Mc -	¹¹⁶ Lv -	¹¹⁷ Ts -	¹¹⁸ Og -

⁵⁷ La 138.9	⁵⁸ Ce 140.1	⁵⁹ Pr 140.9	⁶⁰ Nd 144.2	⁶¹ Pm -	⁶² Sm 150.4	⁶³ Eu 152.0	⁶⁴ Gd 157.3	⁶⁵ Tb 158.9	⁶⁶ Dy 162.5	⁶⁷ Ho 164.9	⁶⁸ Er 167.3	⁶⁹ Tm 168.9	⁷⁰ Yb 173.0	⁷¹ Lu 175.0
⁸⁹ Ac -	⁹⁰ Th 232.0	⁹¹ Pa 231.0	⁹² U 238.0	⁹³ Np -	⁹⁴ Pu -	⁹⁵ Am -	⁹⁶ Cm -	⁹⁷ Bk -	⁹⁸ Cf -	⁹⁹ Es -	¹⁰⁰ Fm -	¹⁰¹ Md -	¹⁰² No -	¹⁰³ Lr -



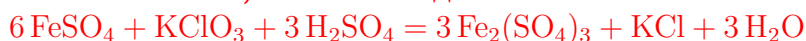
Президентская олимпиада по химии
 Заключительный этап (2022-2023).
 Официальный комплект решений.

Задача №1. Окислительно-восстановительные реакции

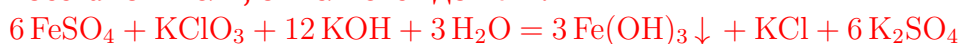
1.1 (4 балла)

За правильно составленные уравнения **по 1 баллу. По 0.5 баллов**, если реакции не уравнены.

1) ClO_3^- - сильный окислитель, восстанавливается до Cl^- ; Fe^{2+} - восстановитель, окисляется до Fe^{3+} :



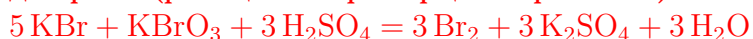
2) ClO_3^- - сильный окислитель, восстанавливается до Cl^- ; Fe^{2+} - восстановитель, окисляется до Fe^{3+} :



3) Как и все галогены (кроме фтора), иод в щелочной среде диспропорционирует:



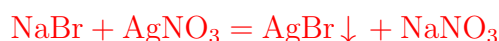
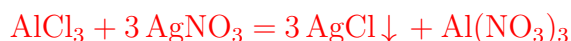
4) Бромид-ион – восстановитель и окисляется бромат-ионом в кислой среде до брома (реакция сопропорционирования):



Задача №2. Один на всех

2.1 (7 баллов)

Удобный реактив для распознавания различных солей – нитрат серебра (**1 балла**), который с различными ионами образует осадки разного цвета. За каждую реакцию **по 1 баллу**, в случае плавиковой кислоты допускается ответ "реакция не происходит".



AgCl – белый осадок, Ag_2O – черно-бурый, AgBr – желтоватый. В ходе реакции с фтороводородом видимых изменений не наблюдается, поскольку фторид серебра растворим в воде. За описание наблюдений в каждой реакции **по 0.25 балла**.

Задача №3. Электролиз

3.1 (1 балл)

Сперва, найдем объем после смешивания:

$$V = V_{\text{NaCl}} + V_{\text{CuSO}_4} = 500 \text{ мл} = 0.5 \text{ л}$$

Рассчитаем величину количества вещества для каждого из ионов:

$$\nu(\text{CuSO}_4) = 0.1 \cdot 0.2 = 0.02 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{Cu}^{2+}) = \nu(\text{SO}_4^{2-}) = \nu(\text{CuSO}_4) = 0.02 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{NaCl}) = 0.2 \cdot 0.3 = 0.06 \text{ моль} \quad \nu(\text{Na}^+) = \nu(\text{Cl}^-) = \nu(\text{NaCl}) = 0.06 \text{ моль}$$

Теперь, найдем их молярные концентрации:

$$c_M(\text{Cu}^{2+}) = c_M(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{0.02}{0.5} = 0.04 \text{ моль л}^{-1}$$

$$c_M(\text{Na}^+) = c_M(\text{Cl}^-) = \frac{0.06}{0.5} = 0.12 \text{ моль л}^{-1}$$

По **0.25 баллов** за верное нахождение концентраций для каждого из ионов

Всего – **1 балл** за пункт

3.2 (2 балла)

Электролиз шел до тех пор, пока в растворе не остался всего один тип катионов. Очевидно, что электролизу подвергались ионы меди. $I \cdot t = n \cdot F \cdot e$

$$t = \frac{n \cdot F \cdot e}{I} = \frac{0.02 \cdot 96500 \cdot 2}{1} = 3860 \text{ с} \quad (1)$$

2 балла за верное нахождение времени. Принимаются и альтернативные пути решения

3.3 (2 балла)

На катоде газов не выделялось, так как образовывалась медь. На аноде в этот момент приоритетно происходило окисление хлорид ионов с образованием газообразного хлора. Посчитаем, какое количество хлорид ионов было затрачено:



$$\nu(\text{Cl}_2) = \frac{It}{eF} = \frac{1 \cdot 3860}{2 \cdot 96500} = 0.02 \text{ моль} \quad (2)$$

$$\nu(\text{Cl}^-)_{\text{затрачено}} = 0.02 \cdot 2 = 0.04 \text{ моль}$$

Как мы видим, хлорид ионы не успели полностью расходоваться, соответственно – других газов не выделялось. Объем равен:

$$V(\text{Cl}_2) = 0.02 \cdot 22.4 = 0.448 \text{ л} \quad \mathbf{1 \text{ балл}}$$
 за нахождение количества вещества хлора. **1 балл** за нахождение объема хлора

3.4 (2 балла)

Для начала рассчитаем массу раствора после смешивания:

$$m_{\text{начальная}} = 300 \cdot 1.1 + 200 \cdot 1.3 = 590 \text{ г}$$

Масса уменьшилась в ходе электролиза, так как выделилась медь и газообразный хлор:

$$m_{\text{конечная}} = m_{\text{начальная}} - m(\text{Cl}_2) - m(\text{Cu})$$

$$m_{\text{конечная}} = 590 - 0.02 \cdot 71 - 0.02 \cdot 64 = 587.3 \text{ г}$$

Мы знаем, что не осталось ионов меди совсем, тогда справедливо утверждать, что: $\omega(\text{Cu}^{2+}) = 0\%$

Хлорид ионов после электролиза осталось:

$$\nu_{\text{конечное}}(\text{Cl}^-) = 0.06 - 0.04 = 0.02 \text{ моль}$$

$$m_{\text{конечное}}(\text{Cl}^-) = 0.02 \cdot 35.5 = 0.71 \text{ г}$$

Количество сульфат анионов и катионов натрия не изменилось:

$$\omega(\text{Cl}^-) = \frac{0.71}{587.3} \cdot 100\% = 0.121\%$$

$$\omega(\text{Na}^+) = \frac{23 \cdot 0.06}{587.3} \cdot 100\% = 0.235\%$$

$$\omega(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{96 \cdot 0.04}{587.3} \cdot 100\% = 0.654\%$$

По **0.5 баллов** за верное нахождение массовой доли для каждого иона

Задача №4. Забавное соединение

4.1 (1.5 балла)

Если при сгорании образуется хлороводород, в соединении А есть атомы хлора. Наиболее вероятным кандидатом в качестве третьего элемента является водород. В общем виде уравнение горения можно записать так:



Рассчитаем количество вещества хлороводорода:

$$\nu = \frac{0.3047}{22.4} = 0.0136 \text{ моль}$$

. Тогда, молярную массу вещества А можно записать как:

$$M = \frac{1}{\frac{1}{z} \cdot 0.0136} = 73.53z$$

Также известна средняя степень окисления атомов углерода. Поскольку молекула должна быть нейтральной, а степень окисления хлора и водорода будут -1 и +1 соответственно, можно составить следующее уравнение:

$$-\frac{1}{3}x + y - z = 0$$

Воспользуемся информацией о массовой доле и составим уравнения:

$$\frac{12x}{M} = \frac{12x}{73.53z} = 0.4897$$

Отсюда, получим что: $x = 3z$. Используя это и уравнение о нейтральности молекулы, получим:

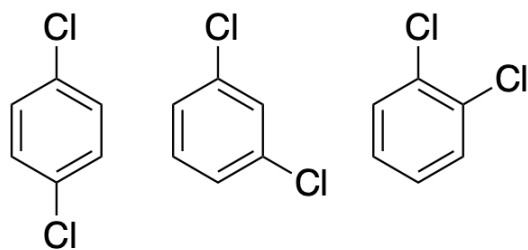
$$\begin{aligned} -\frac{1}{3} \cdot 3z + y - z &= 0 \\ -2z + y &= 0 \\ y &= 2z \end{aligned}$$

Соотношение количества атомов в соединении:

$C : H : Cl = x : y : z = 3z : 2z : z = 3 : 2 : 1$. Тогда простейшая формула вещества: C_3H_2Cl . Под условие о молярной массе подходит всего два варианта с такой простейшей формулой: C_3H_2Cl и $C_6H_4Cl_2$. Нейтральным может быть только второе соединение – дихлорбензол.

1.5 балла за нахождение формулы А

4.2 (1.5 балла)



По **0.5 балла** за каждый изомер.
Всего – **1.5 балла** за пункт

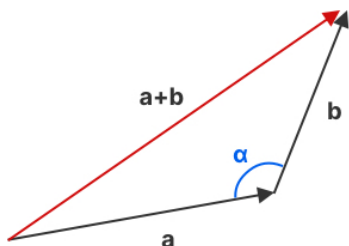
4.3 (1 балл)



По **0.5 балла** за каждый дипольный момент.
Всего – **1 балл** за пункт

4.4 (3 балла)

Для сложения векторов будем использовать теорему косинусов.



По теореме косинусов:

$$|\vec{a} + \vec{b}| = \sqrt{|\vec{a}|^2 + |\vec{b}|^2 - 2 \cdot |\vec{a}| \cdot |\vec{b}| \cdot \cos \alpha}$$

Для 1,2-дихлорбензола дипольные моменты связей С–Н на атомах 3 и 6 расположены под углом в 180° , а значит суммируются в $\vec{0}$. Связи С–Cl на атомах 1 и 2 создают дипольный момент с общей величиной, равной:

$$\begin{aligned} |\vec{v}_{12}| &= \sqrt{|\vec{v}_{Cl}|^2 + |\vec{v}_{Cl}|^2 - 2 \cdot |\vec{v}_{Cl}|^2 \cdot \cos 120^\circ} \\ &= \sqrt{2 \cdot |\vec{v}_{Cl}|^2 (1 - \cos 120^\circ)} = \sqrt{3} |\vec{v}_{Cl}| \approx 1.732 |\vec{v}_{Cl}| \end{aligned}$$

Связи С–Н на атомах 4 и 5 создают дипольный момент с общей величиной:

$$\begin{aligned} |\vec{v}_{45}| &= \sqrt{|\vec{v}_H|^2 + |\vec{v}_H|^2 - 2 \cdot |\vec{v}_H|^2 \cdot \cos 120^\circ} \\ &= \sqrt{2 \cdot |\vec{v}_H|^2 (1 - \cos 120^\circ)} = \sqrt{3} |\vec{v}_H| \approx 1.732 |\vec{v}_H| \end{aligned}$$

Эти дипольные моменты направлены в одну сторону, поэтому их можно просто сложить:

$$|\vec{v}_{1,2 \text{ изомер}}| = |\vec{v}_{12}| + |\vec{v}_{45}| \approx 1.732(|\vec{v}_{Cl}| + |\vec{v}_H|)$$

Для 1,3-дихлорбензола дипольные моменты связей С–Н на атомах 2 и 5 взаимонейтрализуют друг друга. Связи С–Cl на атомах 1 и 3 создают дипольный момент с общей величиной, равной:

$$|\vec{v}_{13}| = \sqrt{2 \cdot |\vec{v}_{Cl}|^2 (1 - \cos 60^\circ)} = |\vec{v}_{Cl}|$$

Связи С–Н на атомах 4 и 6 создают дипольный момент с общей величиной:

$$|\vec{v}_{46}| = \sqrt{2 \cdot |\vec{v}_H|^2 (1 - \cos 60^\circ)} = |\vec{v}_H|$$

Эти дипольные моменты направлены в одну сторону, поэтому их можно просто сложить:

4.4 (продолжение)

$$|\vec{v}_{1,3 \text{ изомер}}| = |\vec{v}_{13}| + |\vec{v}_{46}| = |\vec{v}_{Cl}| + |\vec{v}_H|$$

В 1,4-дихлорбензоле дипольные моменты связей в парах 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 взаимонейтрализуют друг друга (равные величины направленные в противоположные стороны). Значит общий дипольный момент молекулы 1,4-дихлорбензола равен нулю.

$$|\vec{v}_{1,4 \text{ изомер}}| = 0$$

По 1 баллу за правильное выражение каждого из дипольных моментов
Всего – 2 балла за пункт