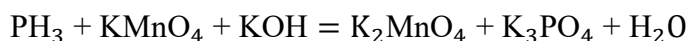




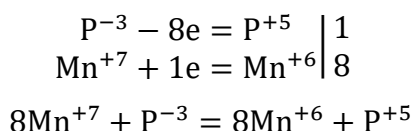
**Решение заданий заключительного тура
олимпиады школьников «Гранит науки»
по профилю Химия
в 2020/2021 учебном году**

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 1****Задание 1 (5 баллов)**

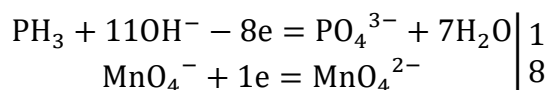
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

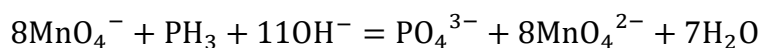
1 балл



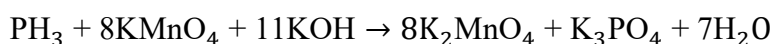
или



2 балла



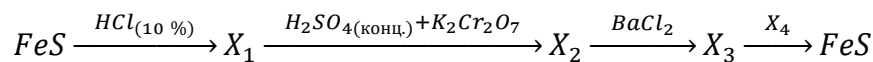
1 балла



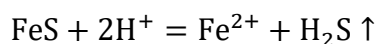
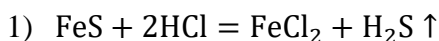
1 балл

Задание 2 (15 баллов)

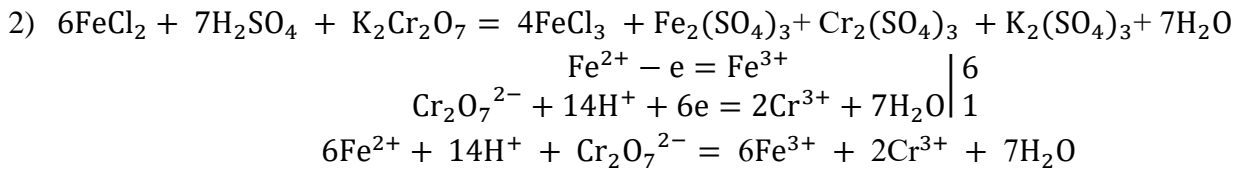
Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:



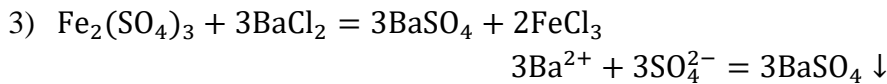
Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

Решение:

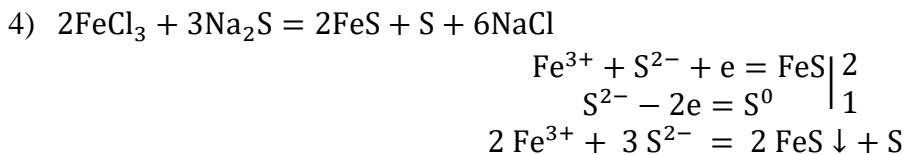
3 балла



5 баллов



3 балла

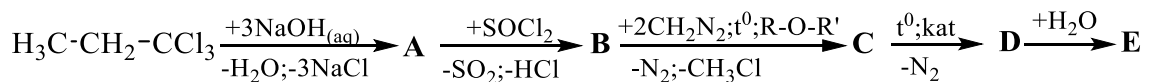


4 балла

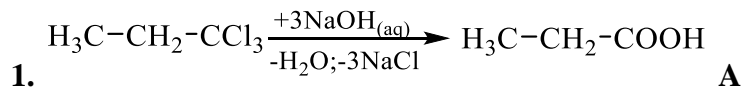
Ответ: $X_1 - \text{FeCl}_2$; $X_2 - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$; $X_3 - \text{FeCl}_3$; $X_4 - \text{Na}_2\text{S}$.

Задание 3 (15 баллов)

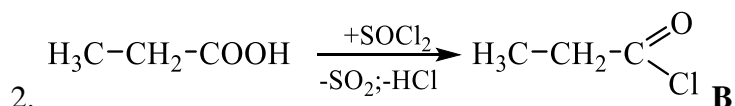
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнять и указать условия их протекания.



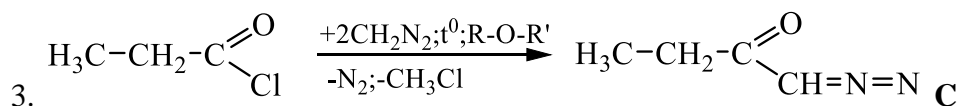
Решение:



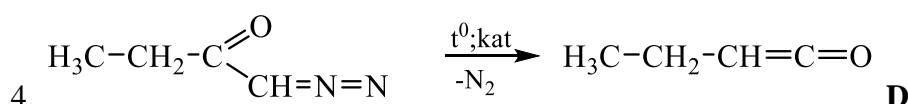
3 балла



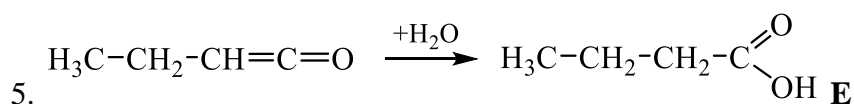
3 балла



3 балла



3 балла



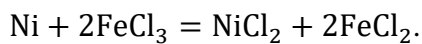
3 балла

**Задание 4 (20 баллов)**

Экспериментатор опустил кусочек никеля массой 18,9 г в 455 г раствора хлорида железа (III) с содержанием FeCl_3 10 %. После выдерживания пластинки в растворе ее изъяли, при этом оказалось, что массовая доля хлорида железа (III) стала равной массовой доле образовавшейся соли никеля (II). Определите массу пластинки после изъятия из раствора.

Решение:

Никель не может выделить железо из соли Fe^{3+} , следовательно, реакция идет до:



4 балла

Молярные массы участвующих веществ:

$$M(\text{Ni}) = 59 \text{ г/моль}; M(\text{NiCl}_2) = 130 \text{ г/моль}; M(\text{FeCl}_3) = 162,5 \text{ г/моль}.$$

2 балла

До электролиза в растворе было:

$$\nu(\text{FeCl}_3) = m(\text{FeCl}_3) \cdot \omega(\text{FeCl}_3) / M(\text{FeCl}_3) = 455 \cdot 0,1 / 162,5 = 0,28 \text{ моль}.$$

2 балла

Пусть к моменту равновесия ($\omega(\text{FeCl}_3) = \omega(\text{NiCl}_2)$).

Прореагировало:

$$\nu(\text{Ni}) = x \text{ моль};$$

$$\nu(\text{FeCl}_3) = 2x \text{ моль}.$$

Образовалось:

$$\nu(\text{NiCl}_2) = x \text{ моль}.$$

4 балла

С учетом равенства масс в состоянии равновесия:

$$(455 \cdot 0,1 / 162,5 - 2 \cdot x) \cdot 162,5 = 130 \cdot x.$$

4 балла

$$x = 0,1 \text{ моль, следовательно, никеля растворилось } 0,1 \cdot 59 = 5,9 \text{ г}.$$

$$\text{Масса пластинки стала } 18,9 - 5,9 = 13 \text{ г}.$$

4 балла

Ответ: масса пластинки после реакции = 13 г.

**Задание 5 (20 баллов)**

Какая составляющая часть пирожного может прореагировать с солью синильной кислоты, предотвратив, таким образом, ее ядовитое действие. Ответ обоснуйте, приведите уравнения химических реакций.

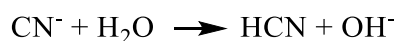
Решение:

В состав пирожных входят сахара, которые содержат альдегидную группу.

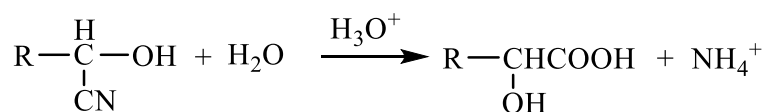
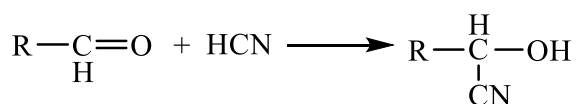
_____ 4 балла

При взаимодействии $>C=O$ группы с синильной кислотой, которая образуется вследствие гидролиза ее соли, протекает реакция циангидринного синтеза, продукт которой, в свою очередь разлагается в ходе гидролиза.

_____ 4 балла



_____ 4 балла



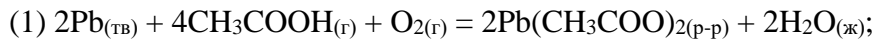
_____ 8 баллов

Задание 6 (25 баллов)

Свинцовые белила представляют одну из наиболее распространенных и важных минеральных красок. Голландский способ получения свинцовых белил является одним из самых старых. Тонкие, скрученные в спираль, свинцовые пластины подвергают действию паров уксусной кислоты, находящейся в горшках, в которые заложены навоз или другое гниющее вещество; уксусу добавляют четверть от объема горшка. Процесс гниения дает тепло, которое необходимо для медленного испарения уксусной кислоты, и двуокись углерода, которая требуется для образования свинцовых белил. Вода из свинцовых белил не выделяется ни при хранении в эксикаторе над серной кислотой, ни при нагревании до $105\text{ }^\circ\text{C}$; вся вода (2,32 % от массы белил) удаляется только при $155\text{ }^\circ\text{C}$, а при $180\text{ }^\circ\text{C}$ начинает уже выделяться и углекислый газ в количестве 11,35 % от массы белил. Установите, какой формуле отвечают лучшие сорта свинцовых белил (известно, что это основная соль свинца) и составьте уравнения реакций их получения. Определите, какую массу продукции получали ежемесячно с одной рабочей камеры, вмещающей 8000 горшков объемом 1 л с загрузкой 11 000 кг свинца, если за это время степень превращения свинца составляла не более 50 %.

**Решение:**

1. Уравнения реакций:



4 балла



4 балла



4 балла

2. Вывод формулы свинцовых белил.

Пусть масса свинцовых белил $m_{\Sigma} = 100$ г, тогда:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 2,32 \text{ г};$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{2,32}{18} = 0,129 \text{ моль};$$

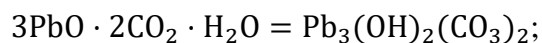
$$m_{\text{CO}_2} = 11,35 \text{ г};$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{m_{\text{CO}_2}}{M_{\text{CO}_2}} = \frac{11,35}{44} = 0,258 \text{ моль};$$

$$m_{\text{PbO}} = m_{\Sigma} - m_{\text{H}_2\text{O}} - m_{\text{CO}_2} = 100 - 2,32 - 11,35 = 86,33 \text{ г};$$

$$n_{\text{PbO}} = \frac{m_{\text{PbO}}}{M_{\text{PbO}}} = \frac{86,33}{223} = 0,387 \text{ моль};$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}} : n_{\text{CO}_2} : n_{\text{PbO}} = 0,129 : 0,258 : 0,387 = 1 : 2 : 3;$$



$$n_{\text{Pb}} = \frac{m}{M} = \frac{11 \cdot 10^6}{207} = 53,14 \text{ кмоль}.$$

9 баллов

3. Расчёт массы свинцовых белил.

Степень превращения свинца 50%, следовательно, в свинцовые белила переходит:

$$n_{\text{Pb}}^R = 0,5 \cdot 53,14 = 26,57 \text{ кмоль};$$

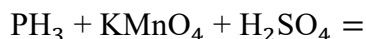
$$n_{\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2} = \frac{n_{\text{Pb}}^R}{3} = \frac{26,57}{3} = 8,857 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2} = n_{\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2} \cdot M_{\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2} = 8,857 \cdot 775 = 6,864 \text{ т}.$$

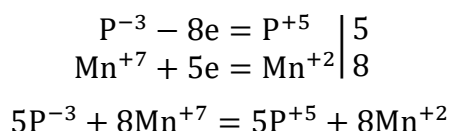
4 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 2****Задание 1 (5 баллов)**

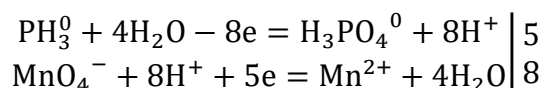
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

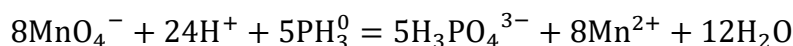
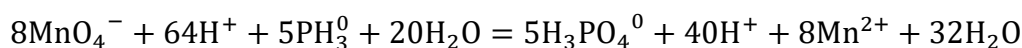
1 балл



или



2 балла



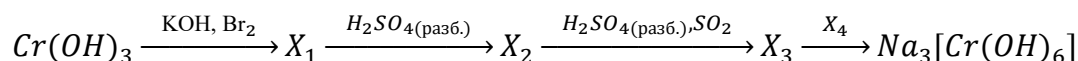
1 балла



1 балл

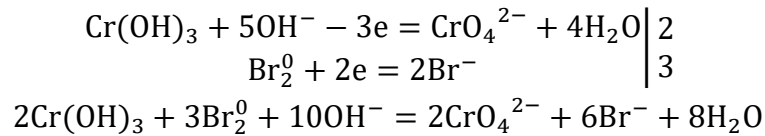
Задание 2 (15 баллов)

Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

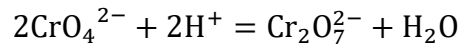
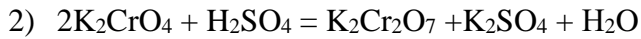


Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

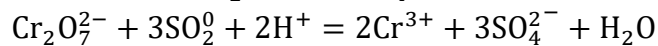
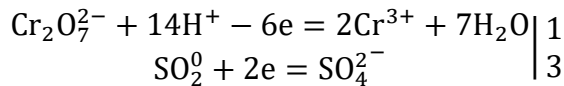
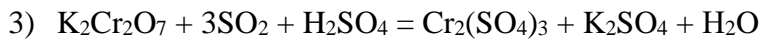
Решение:



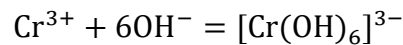
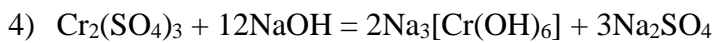
4 балла



3 балла



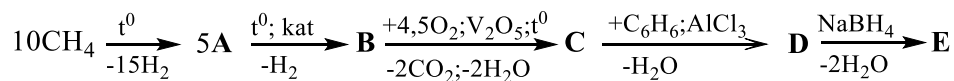
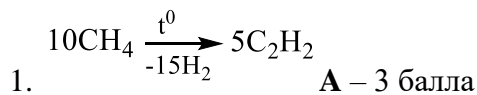
4 балла



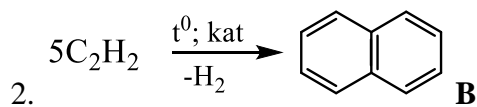
4 балла

Ответ: $X_1 - \text{K}_2\text{CrO}_4; X_2 - \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7; X_3 - \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3; X_4 - \text{NaOH}.$ **Задание 3 (15 баллов)**

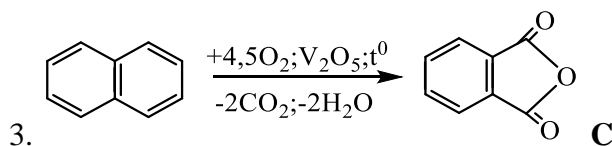
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.

**Решение:**

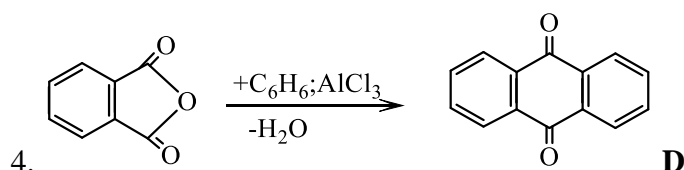
3 балла



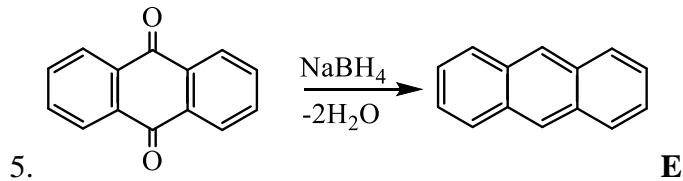
3 балла



3 балла



3 балла



3 балла

Задание 4 (20 баллов)

Экспериментатор смешал 1,17 г калия и 0,64 г серы и прогрел полученный порошок в отсутствии кислорода. Полученный порошок обработал водой и образовавшийся прозрачный раствор разбавил до объема 50 мл. Определите молярные концентрации соединений в образовавшемся растворе. Вычислите максимальную массу брома, который может прореагировать с полученным раствором.

Решение:

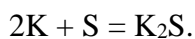
Рассчитаем число моль реагирующих веществ:

$$\nu(K) = \frac{m(K)}{M(K)} = 1,17 / 39 = 0,03 \text{ моль};$$

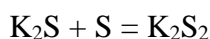
$$\nu(S) = \frac{m(S)}{M(S)} = 0,64 / 32 = 0,02 \text{ моль}.$$

4 балла

Калий и сера реагируют по реакции:

По уравнению на 0,03 моль калия требуется $0,03/2 = 0,015$ моль серы. Сера в избытке.

4 балла

Избыточная сера $\nu(S_{\text{избыточн.}}) = 0,02 - 0,015 = 0,005$ моль пойдет на реакцию:

$$\nu(K_2S_2) = \nu(S_{\text{избыточн.}}) = 0,005 \text{ моль}$$

4 балла

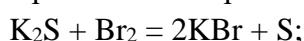
При добавлении воды до объема в 50 мл молярные концентрации веществ станут равны:

$$C(K_2S_2) = \nu(K_2S_2) / V_{p-pa} = 0,005 / 0,05 = 0,1 \text{ моль} / \text{л}$$

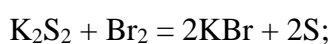
$$C(K_2S) = \nu(K_2S) / V_{p-pa} = (0,015 - 0,005) / 0,05 = 0,2 \text{ моль} / \text{л}$$

4 балла

При внесении брома в раствор сульфиды будут реагировать по реакциям:



$$\nu_1(Br_2) = \nu(K_2S) = 0,01 \text{ моль};$$



$$\nu_2(Br_2) = \nu(K_2S_2) = 0,005 \text{ моль};$$



$$\nu_{\text{общ}}(\text{Br}_2) = \nu_1(\text{Br}_2) + \nu_2(\text{Br}_2) = 0,01 + 0,005 = 0,015 \text{ моль};$$

$$m_{\text{общ}}(\text{Br}_2) = \nu_{\text{общ}}(\text{Br}_2) \cdot M(\text{Br}_2) = 0,015 \cdot 160 = 2,4 \text{ г}.$$

4 балла

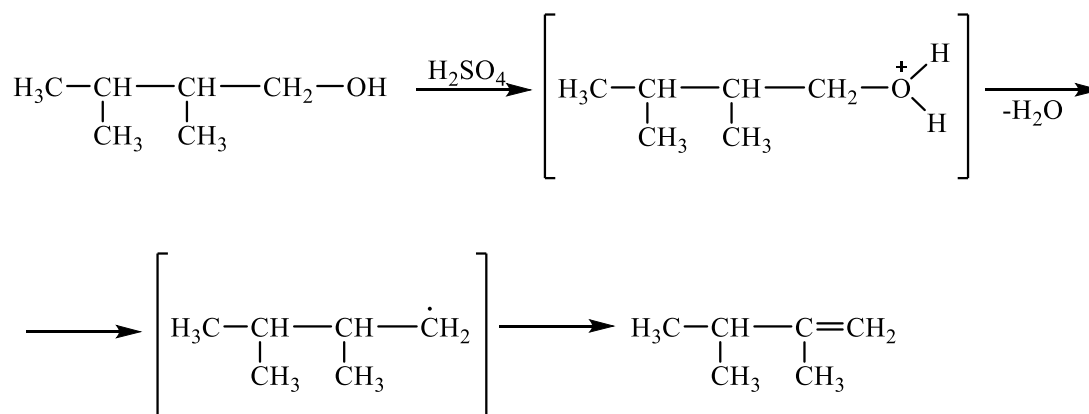
Ответ: $C(\text{K}_2\text{S}_2) = 0,1 \text{ моль / л}; C(\text{K}_2\text{S}) = 0,2 \text{ моль / л}; m_{\text{общ}}(\text{Br}_2) = 2,4 \text{ г}$

Задание 5 (20 баллов)

Как можно объяснить появление смеси алкенов при дегидратации 2,3-диметилбутанола серной кислотой? Аргументировать свой ответ уравнениями реакций.

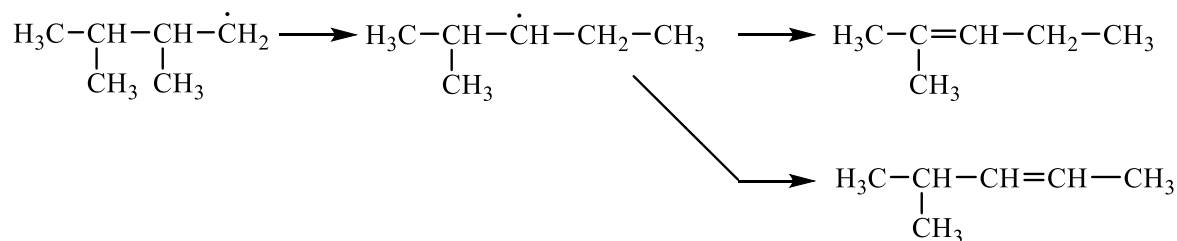
Решение:

Реакция начинается с протонирования гидроксигруппы и последующего отщепления молекулы воды:

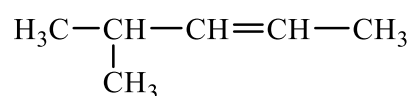


7 баллов

Однако, образующийся при дегидратации первичный радикал, не обладает достаточной устойчивостью и способен к изомеризации по реакции с образованием побочных продуктов:

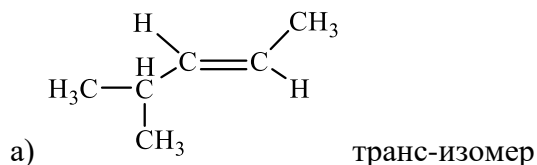


7 баллов

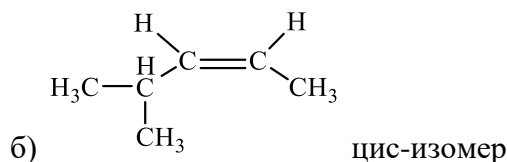


может образовывать цис- и транс-изомеры:

2 балла



2 балла



2 балла

Задание 6 (25 баллов)

Суть Байеровского способа получения глинозёма состоит в выщелачивании предварительно раздробленного и измельченного боксита щелочно-алюминатным раствором с каустическим модулем (молярное отношение Na_2O к Al_2O_3) $\alpha_k = 3,5$. Алюминийсодержащие минералы, гиббсит $\text{Al}(\text{OH})_3$ или бемит AlOОН , взаимодействуют с раствором каустической щелочи, в результате чего алюминий переходит в раствор. Кремнийсодержащие минералы – силикаты алюминия с общей формулой $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – в процессе выщелачивания боксита взаимодействуют с алюминатным раствором с образованием малорастворимого моногидрата ортосиликата алюминия-натрия. В результате теряются, переходя в шлам, полезные компоненты – Na_2O и Al_2O_3 . На завод поступила гиббсит-бемитовая бокситовая руда с массовой долей оксида кремния 6 % и массовой долей оксида алюминия 52 %, из которых 20 % приходится на долю оксида алюминия, содержащегося в гиббсите. В расчёте на 1000 тонн руды: 1) определите массу шлама; 2) вычислите массу каустической щелочи с массовой долей гидроксида натрия 97 %, которая требуется для разложения алюминийсодержащих минералов боксита согласно стехиометрии; 3) определите массу каустической щелочи, требуемой для обеспечения каустического модуля при выщелачивании, и объем раствора щелочи с массовой долей 22 %, плотностью 1,24 г/см³.

Решение:

1. Расчёт руды.

Масса руды $m_\Sigma = 1000$ т.

$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{\omega_{\text{SiO}_2}}{100} \cdot m_\Sigma = \frac{6}{100} \cdot 1000 = 60 \text{ т,}$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Sigma = \frac{\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}}{100} \cdot m_\Sigma = \frac{52}{100} \cdot 1000 = 520 \text{ т,}$$

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Sigma = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Sigma}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{520 \cdot 10^6}{102} = 5098,039 \text{ кмоль.}$$

2 балла

2. Расчёт гиббсита (Г):

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Gamma = \frac{\omega_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Gamma}{100} \cdot m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^\Sigma = \frac{20}{100} \cdot 520 = 104 \text{ т;}$$



$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Gamma} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Gamma}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{104 \cdot 10^6}{102} = 1019,608 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 2n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Gamma} = 2 \cdot 1019,608 = 2039,216 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{Al}(\text{OH})_3} = n_{\text{Al}(\text{OH})_3} \cdot M_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 2039216 \cdot 78 = 159,06 \text{ т.}$$

2 балла

3. Расчёт оксида алюминия, связанного с кремнием:

$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{60 \cdot 10^6}{60} = 1000 \text{ кмоль.}$$

Учитывая, что в $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ содержится 2SiO_2 :

$$n_{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{SiO}_2}}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{SiO}_2} = n_{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 500 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{SiO}_2} = n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{SiO}_2} \cdot M_{\text{Al}_2\text{O}_3} = 500000 \cdot 102 = 51 \text{ т.}$$

2 балла

4. Расчёт бемита (Б):

$$m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{Б}} = m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Sigma} - m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Gamma} - m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{SiO}_2} = 520 - 104 - 51 = 365 \text{ т};$$

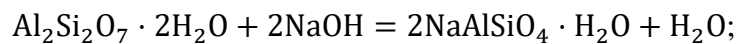
$$n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{Б}} = \frac{m_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{Б}}}{M_{\text{Al}_2\text{O}_3}} = \frac{365 \cdot 10^6}{102} = 3578,431 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{AlOOH}} = 2n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\text{Б}} = 2 \cdot 3578,431 = 7156,862 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{AlOOH}} = n_{\text{AlOOH}} \cdot M_{\text{AlOOH}} = 7156,862 \cdot 60 = 429,41 \text{ т.}$$

3 балла

5. Реакция силиката алюминия со щелочью. Расчет массы шлама:



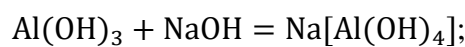
$$n_{\text{NaOH}}^{(1)} = 2n_{\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 2 \cdot 500 = 1000 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{NaOH}}^{(1)} = n_{\text{NaOH}}^{(1)} \cdot M_{\text{NaOH}} = 1000000 \cdot 40 = 40 \text{ т};$$

$$m_{\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} = n_{\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{NaAlSiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 1000000 \cdot 160 = 160 \text{ т.}$$

3 балла

6. Реакция гиббсита со щелочью:



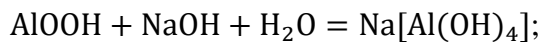
$$n_{\text{NaOH}}^{(2)} = n_{\text{Al}(\text{OH})_3} = 2039,216 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{NaOH}}^{(2)} = n_{\text{NaOH}}^{(2)} \cdot M_{\text{NaOH}} = 2039216 \cdot 40 = 81,57 \text{ т.}$$

2 балла



7. Реакция бемита со щелочью:



$$n_{\text{NaOH}}^{(3)} = n_{\text{AlOOH}} = 7156,862 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{NaOH}}^{(3)} = n_{\text{NaOH}}^{(3)} \cdot M_{\text{NaOH}} = 7156,862 \cdot 40 = 286,27 \text{ т.}$$

2 балла

8. Расчёт общего количества щёлочи:

$$n_{\text{NaOH}}^{\Sigma} = n_{\text{NaOH}}^{(1)} + n_{\text{NaOH}}^{(2)} + n_{\text{NaOH}}^{(3)} = 1000 + 2039,216 + 7156,862 = 10196,078 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{NaOH}}^{\Sigma} = m_{\text{NaOH}}^{(1)} + m_{\text{NaOH}}^{(2)} + m_{\text{NaOH}}^{(3)} = 40 + 81,57 + 286,27 = 407,84 \text{ т};$$

$$m_{\text{NaOH}}^{\text{тех}} = \frac{m_{\text{NaOH}}^{\Sigma}}{\omega_{\text{NaOH}}} \cdot 100 = \frac{407,84}{97} \cdot 100 = 420,45 \text{ т.}$$

3 балла

9. Расчёт по каустическому модулю.

$$\alpha_k = \frac{n_{\text{Na}_2\text{O}}^{\Sigma}}{n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Sigma}}.$$

Следовательно,

$$n_{\text{Na}_2\text{O}}^{\Sigma} = \alpha_k \cdot n_{\text{Al}_2\text{O}_3}^{\Sigma} = 3,5 \cdot 5098,039 = 17843,14 \text{ кмоль},$$

$$n_{\text{NaOH}}^{\Sigma} = 2n_{\text{Na}_2\text{O}}^{\Sigma} = 2 \cdot 17843,14 = 35686,28 \text{ кмоль},$$

$$m_{\text{NaOH}}^{\Sigma} = n_{\text{NaOH}}^{\Sigma} \cdot M_{\text{NaOH}} = 35686,280 \cdot 40 = 1427,45 \text{ т.}$$

3 балла

10. Расчёт массы технической щёлочи и объёма раствора:

$$m_{\text{NaOH}}^{\text{тех}} = \frac{m_{\text{NaOH}}^{\Sigma}}{\omega_{\text{NaOH}}} \cdot 100 = \frac{1427,45}{97} \cdot 100 = 1471,60 \text{ т};$$

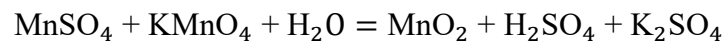
$$m_{\text{NaOH}}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{NaOH}}^{\Sigma}}{\omega_{\text{NaOH}}^{\text{p-p}}} \cdot 100 = \frac{1427,45}{22} \cdot 100 = 6488,41 \text{ т};$$

$$V_{\text{NaOH}}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{NaOH}}^{\text{p-p}}}{d_{\text{NaOH}}^{\text{p-p}}} = \frac{6488,41 \cdot 10^6}{1,241} = 5228,37 \text{ м}^3.$$

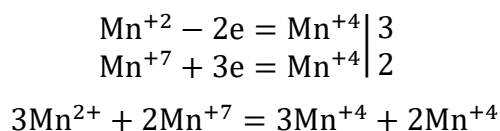
3 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 3****Задание 1 (5 баллов)**

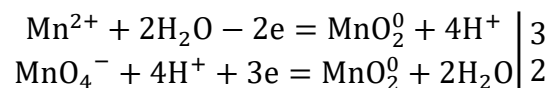
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

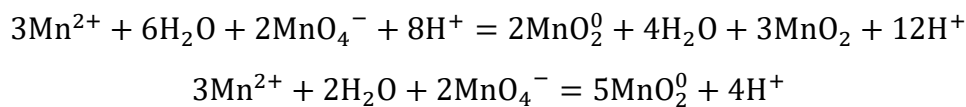
1 балл



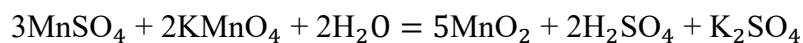
или



2 балла



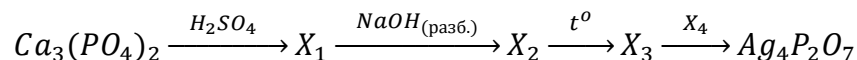
1 балл



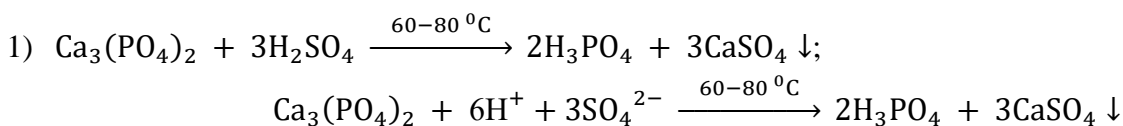
1 балл

Задание 2 (15 баллов)

Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

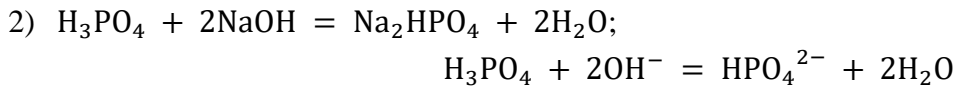


Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

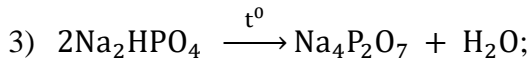
Решение:



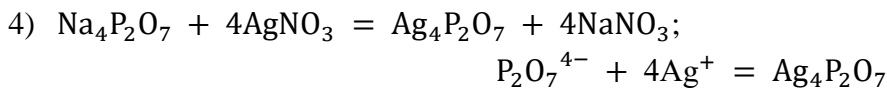
4 балла



4 балла



3 балла

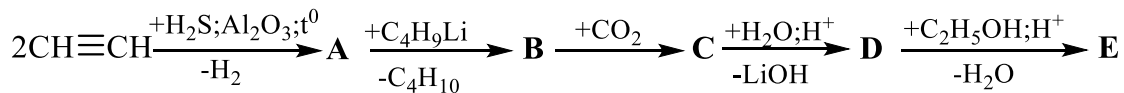


4 балла

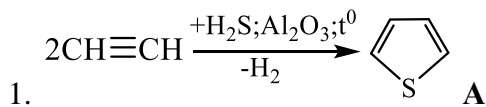
Ответ: $X_1 - \text{H}_3\text{PO}_4$; $X_2 - \text{Na}_2\text{HPO}_4$; $X_3 - \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; $X_4 - \text{AgNO}_3$.

Задание 3 (15 баллов)

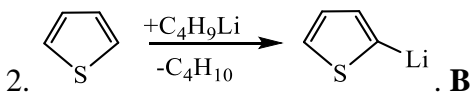
Составить цепочку превращений органических веществ с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.



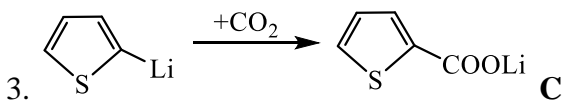
Решение:



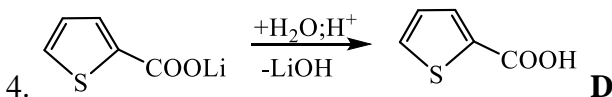
3 балла



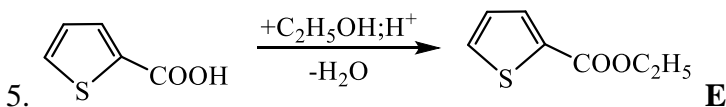
3 балла



3 балла



3 балла



3 балла

Задание 4 (20 баллов)

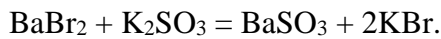
Экспериментатор поместил 23,7 г сульфита калия в химический стакан с раствором бромида бария массой 150 г и процентным содержанием бромида бария 19,8%. В дальнейшем



экспериментатор опустил в химический стакан с полученной смесью газоотводную трубку и подал 2,24 литра оксида серы (IV), измеренного при нормальных условиях. Определите массу полученного осадка и массовые доли веществ в образовавшемся растворе.

Решение:

Взаимодействие бромида бария и сульфита калия проходит по реакции:



2 балла

Определим число моль реагирующих веществ:

$$\nu(\text{K}_2\text{SO}_3) = \frac{m(\text{K}_2\text{SO}_3)}{M(\text{K}_2\text{SO}_3)} = \frac{23,7}{158} = 0,15 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{BaBr}_2) = \frac{m_{\text{р-ра}} \cdot \omega_{\text{BaBr}_2}}{M(\text{BaBr}_2) \cdot 100\%} = \frac{150 \cdot 19,8}{297 \cdot 100} = 0,1 \text{ моль}.$$

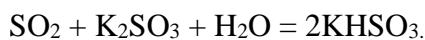
2 балла

С учетом стехиометрии BaBr_2 в недостатке и в растворе осталось:

$$\nu(\text{K}_2\text{SO}_3) = 0,15 - 0,1 = 0,05 \text{ моль}.$$

2 балла

Взаимодействие SO_2 и сульфита калия проходит по реакции:



2 балла

Определим число моль реагирующих веществ:

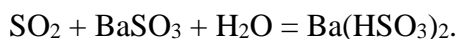
$$\nu(\text{SO}_2) = \frac{V(\text{SO}_2)}{V_m(\text{SO}_2)} = \frac{2,24}{22,4} = 0,1 \text{ моль}.$$

С учетом стехиометрии K_2SO_3 в недостатке и не прореагировало моль SO_2 :

$$\nu(\text{SO}_2) = 0,1 - 0,05 = 0,05 \text{ моль}.$$

2 балла

Остаток SO_2 частично растворяет осадок BaSO_3 по реакции:



С учетом этой реакции осталось BaSO_3 :

$$\nu(\text{BaSO}_3) = 0,1 - 0,05 = 0,05 \text{ моль}.$$

2 балла

Масса оставшегося осадка:

$$m(\text{BaSO}_3) = \nu(\text{BaSO}_3) \cdot M(\text{BaSO}_3) = 0,05 \cdot 217 = 10,85 \text{ г}.$$

2 балла

Итого, в конечной смеси имеем:



$$\nu(KBr) = 0,2 \text{ моль}$$

$$m(KBr) = \nu(KBr) \cdot M(KBr) = 0,2 \cdot 119 = 23,8 \text{ г}$$

$$\nu(KHSO_3) = 0,1 \text{ моль}$$

$$m(KHSO_3) = \nu(KHSO_3) \cdot M(KHSO_3) = 0,1 \cdot 120 = 12,0 \text{ г}$$

$$\nu(Ba(HSO_3)_2) = 0,05 \text{ моль}$$

$$m(Ba(HSO_3)_2) = \nu(Ba(HSO_3)_2) \cdot M(Ba(HSO_3)_2) = 0,05 \cdot 299 = 14,95 \text{ г}$$

4 балла

Масса всего раствора:

$$m_{p-pa} = m_{p-pa \text{ BaBr}_2} + m(K_2SO_3) + m(SO_2) - m(BaSO_3) = 150 + 23,7 + 0,1 \cdot 64 - 10,85 = 169,3 \text{ г}.$$

Массовые доли:

$$\omega(KBr) = \frac{m(KBr)}{m(p-pa)} \cdot 100\% = \frac{23,8}{169,3} \cdot 100\% = 14,1\% ;$$

$$\omega(KHSO_3) = \frac{m(KHSO_3)}{m(p-pa)} \cdot 100\% = \frac{12,0}{169,3} \cdot 100\% = 7,09\% ;$$

$$\omega(Ba(HSO_3)_2) = \frac{m(Ba(HSO_3)_2)}{m(p-pa)} \cdot 100\% = \frac{14,95}{169,3} \cdot 100\% = 8,83\% .$$

2 балла

Ответ: $m(BaSO_3) = 10,85 \text{ г}$; $\omega(KBr) = 14,1\%$; $\omega(KHSO_3) = 7,09\%$; $\omega(Ba(HSO_3)_2) = 8,83\%$

Задание 5 (20 баллов)

Произошёл пожар. В процессе расследования выдвигается версия поджога. На месте возгорания экспертиза обнаружила следы углеводородов. Адвокат гражданина, подозреваемого в поджоге, заявил, что поджога не было, а на этом месте просто сторел линолеум. Докажите факт поджога, аргументируя необходимыми химическими знаниями. Приведите уравнения реакций.

Решение:

Линолеум изготавливается с использованием поливинилхлорида (ПВХ). При нагреве ПВХ на начальной стадии выделяется хлористый водород.

4 балла

Следовательно, если в смывах с места предполагаемого поджога содержится хлорид-ион, то сторона защиты выдвигает правдивую версию.

4 балла

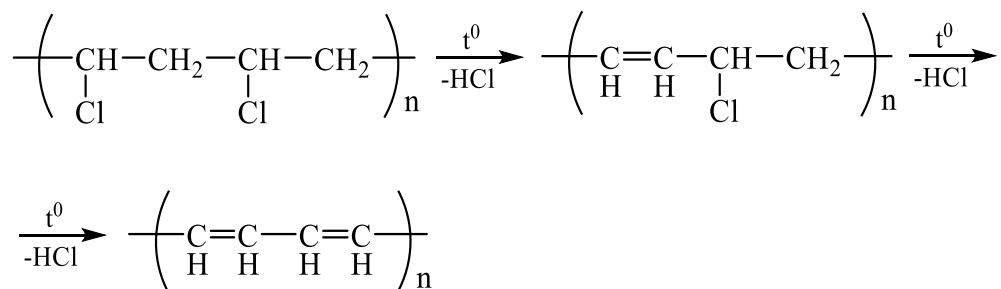
Если нет — то почти наверняка углеводороды, впитавшиеся под местом горения, это следы горючей жидкости, использованной для поджога.

4 балла

Реакция термического разложения поливинилхлорида:



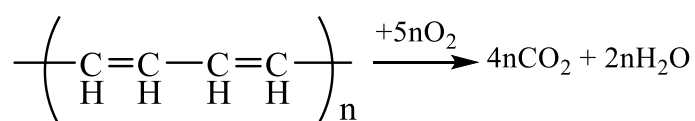
поливинилхлорид



полиены

4 балла

Реакция горения полиенов:



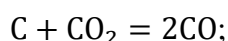
4 балла

Задание 6 (25 баллов)

Для получения оксида титана в производственной практике применяют способ прямого хлорирования шихты, состоящей из титанового шлака и нефтяного кокса. Массовая доля кокса в шихте составляет 25 % при массовой доле оксида титана в концентрате 85 %. Хлорирование проводят при температуре 950 °С и давлении 1 атм. Расход хлора составляет 0,9 т на 1 т тетрахлорида титана. Газовая смесь по окончании хлорирования содержит четыреххлористый титан, двуокись углерода, угарный газ и некоторое количество остаточного хлора. Для расчёта степени превращения двуокиси углерода в угарный газ по реакции Будуара провели контрольный эксперимент, на проведение которого взяли 10 г углерода и 10 л двуокиси углерода при обычных (температура 25 °С и давление 1 атм.) условиях. Смесь нагрели до температуры 950 °С при атмосферном давлении. По окончании процесса объем газовой смеси увеличился в 8,1 раза. Рассчитайте состав газовой смеси, полученной при хлорировании 100 т титанового концентрата, содержащего массовую долю оксида титана 85 %, массовую долю оксида железа (II) 6 %, массовую долю алюминия (в пересчёте на оксид) 6 % и оксид кремния. Массовая доля углерода в нефтяном коксе составляет не менее 97 %. Какой объём воздуха в расчёте на нормальные условия требуется для дожига угарного газа (объёмная доля кислорода в воздухе 21 %)?

Решение:

1. Расчёт реакции Будуара:



$$n_{\text{C}} = \frac{m_{\text{C}}}{M_{\text{C}}} = \frac{10}{12} = 0,83 \text{ моль};$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2} \cdot P_{\Sigma}}{RT} = \frac{10 \cdot 10^{-3} \cdot 1,013 \cdot 10^5}{8,31 \cdot 298} = 0,41 \text{ моль}.$$

По уравнению реакции:



$$n_C = n_{CO_2}.$$

По условию задачи:

$$n_C = 0,83 > n_{CO_2} = 0,41.$$

Расчёт следует вести по количеству углекислого газа, тогда вступило в реакцию:

$$n_{CO_2} = n_i \text{ моль.}$$

Прореагировало:

$$n_{CO_2}^R = \alpha n_i \text{ моль.}$$

Образовалось:

$$n_{CO} = 2n_{CO_2}^R = 2\alpha n_i \text{ моль.}$$

Остаток:

$$n_{CO_2}^k = n_{CO_2}^i - n_{CO_2}^R = (n_i - \alpha n_i) \text{ моль.}$$

По окончании реакции:

$$n_k = n_{CO_2}^k + n_{CO} = n_i - \alpha n_i + 2\alpha n_i = n_i(1 + \alpha);$$

$$V_k = 8,1V_i = 8,1 \cdot 10 = 81 \text{ л;}$$

$$n_k = \frac{V_k \cdot P_{\Sigma}}{RT} = \frac{81 \cdot 10^{-3} \cdot 1,013 \cdot 10^5}{8,31 \cdot 1223} = 0,81 \text{ моль;}$$

$$\alpha_{CO_2} = \frac{n_k}{n_i} - 1 = \frac{0,81}{0,41} - 1 = 0,9756 = 97,56 \text{ \%}.$$

4 балла

2. Расчёт массы кокса:

$$m_{\text{шихта}} = \frac{m_{\text{шлак}}}{\omega_{\text{шихта}}} \cdot 100 = \frac{100}{75} \cdot 100 = 133,333 \text{ т;}$$

$$m_{\text{кокс}} = \frac{\omega_{\text{кокс}}}{100} \cdot m_{\text{шихта}} = \frac{25}{100} \cdot 133,333 = 33,333 \text{ т.}$$

3. Расчёт компонентов шихты:

$$m_{TiO_2} = \frac{\omega_{TiO_2}}{100} \cdot m_{\text{шлак}} = \frac{85}{100} \cdot 100 = 85 \text{ т;}$$

$$n_{TiO_2} = \frac{m_{TiO_2}}{M_{TiO_2}} = \frac{85 \cdot 10^6}{80} = 1062,5 \text{ кмоль;}$$

$$m_{FeO} = \frac{\omega_{FeO}}{100} \cdot m_{\text{шлак}} = \frac{6}{100} \cdot 100 = 6 \text{ т;}$$

$$n_{FeO} = \frac{m_{FeO}}{M_{FeO}} = \frac{6 \cdot 10^6}{72} = 83,333 \text{ кмоль;}$$

$$m_{Al_2O_3} = \frac{\omega_{Al_2O_3}}{100} \cdot m_{\text{шлак}} = \frac{6}{100} \cdot 100 = 6 \text{ т;}$$

$$n_{Al_2O_3} = \frac{m_{Al_2O_3}}{M_{Al_2O_3}} = \frac{6 \cdot 10^6}{102} = 58,824 \text{ кмоль;}$$

$$\omega_{SiO_2} = 100 - \omega_{TiO_2} - \omega_{FeO} - \omega_{Al_2O_3} = 100 - 85 - 6 - 6 = 3 \text{ \%};$$



$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{\omega_{\text{SiO}_2}}{100} \cdot m_{\text{шлак}} = \frac{3}{100} \cdot 100 = 3 \text{ т};$$

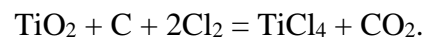
$$n_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{M_{\text{SiO}_2}} = \frac{3 \cdot 10^6}{60} = 50,0 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{C}} = \frac{\omega_{\text{C}}}{100} \cdot m_{\text{кокс}} = \frac{97}{100} \cdot 33,333 = 32,333 \text{ т};$$

$$n_{\text{C}}^i = \frac{m_{\text{C}}}{M_{\text{C}}} = \frac{32,333 \cdot 10^6}{12} = 2\,694,418 \text{ кмоль}.$$

3 балла

4. Реакция хлорирования оксида титана:



5. Расчёт количества хлора на хлорирование диоксида титана.

По уравнению реакции п. 4:

$$n_{\text{TiO}_2} = n_{\text{TiCl}_4} = 1\,062,5 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{TiCl}_4} = n_{\text{TiCl}_4} \cdot M_{\text{TiCl}_4} = 1\,062\,500 \cdot 190 = 201,875 \text{ т};$$

$$m_{\text{Cl}_2}^i = 0,9 \cdot m_{\text{TiCl}_4} = 0,9 \cdot 201,875 = 181,688 \text{ т};$$

$$n_{\text{Cl}_2}^i = \frac{m_{\text{Cl}_2}^i}{M_{\text{Cl}_2}^i} = \frac{181,688 \cdot 10^6}{71} = 2\,558,986 \text{ кмоль}.$$

2 балла

6. Расчёт материального баланса реакции хлорирования оксида титана.

По уравнению реакции:

$$n_{\text{Cl}_2} = 2n_{\text{TiO}_2} = 2 \cdot 1\,062,5 = 2\,125 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{Cl}_2}^i = 2\,558,986 \text{ кмоль} > 2\,125 \text{ кмоль}.$$

Расчёт ведут по диоксиду титана.

По реакции п. 4 прореагировало:

$$n_{\text{Cl}_2}^{R1} = 2n_{\text{TiO}_2} = 2 \cdot 1\,062,5 = 2\,125 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{C}}^R = n_{\text{TiO}_2} = 1\,062,5 \text{ кмоль}.$$

Образовалось:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{TiO}_2} = 1\,062,5 \text{ кмоль}.$$

Осталось:

$$n_{\text{Cl}_2}^{k1} = n_{\text{Cl}_2}^i - n_{\text{Cl}_2}^{R1} = 2\,558,986 - 2\,125,0 = 433,986 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{C}}^{k1} = n_{\text{C}}^i - n_{\text{C}}^R = 2\,694,418 - 1\,062,5 = 1\,631,918 \text{ кмоль}.$$

3 балла

7. Материальный баланс реакции Будуара применительно к техническим условиям.

По реакции Будуара (п. 1):



$$n_C = n_{CO_2}.$$

По условию задачи:

$$n_C = 1631,918 > n_{CO_2} = 1\,062,5.$$

Расчёт следует вести по количеству углекислого газа, тогда прореагировало:

$$n_{CO_2}^R = \alpha n_i = 0,9756 \cdot 1\,062,5 = 1\,036,575 \text{ кмоль.}$$

Образовалось:

$$n_{CO} = 2n_{CO_2}^R = 2 \cdot 1\,036,575 = 2\,073,15 \text{ кмоль.}$$

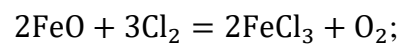
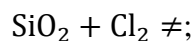
Остаток:

$$n_{CO_2}^{k1} = n_{CO_2}^i - n_{CO_2}^R = 1\,062,5 - 1\,036,575 = 25,925 \text{ кмоль;}$$

$$n_C^{k2} = n_C^i - n_C^R = 1631,918 - 1\,062,5 = 569,418 \text{ кмоль.}$$

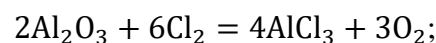
3 балла

8. Расчёт взаимодействия остаточного хлора с примесями:



$$n_{Cl_2}^{FeO} = 1,5n_{FeO} = 1,5 \cdot 83,333 = 125 \text{ кмоль;}$$

$$n_{O_2}^{FeO} = 0,5n_{FeO} = 0,5 \cdot 83,333 = 41,667 \text{ кмоль;}$$



$$n_{Cl_2}^{Al_2O_3} = 3n_{Al_2O_3} = 3 \cdot 58,824 = 176,472 \text{ кмоль;}$$

$$n_{O_2}^{Al_2O_3} = 1,5n_{Al_2O_3} = 1,5 \cdot 58,824 = 88,236 \text{ кмоль;}$$

Общий расход хлора на реакции с примесями:

$$n_{Cl_2}^{R2} = n_{Cl_2}^{FeO} + n_{Cl_2}^{Al_2O_3} = 125 + 176,472 = 301,472 \text{ кмоль.}$$

Остаток хлора после реакции с примесями:

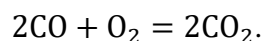
$$n_{Cl_2}^{k2} = n_{Cl_2}^{k1} - n_{Cl_2}^{R2} = 433,986 - 301,472 = 132,514 \text{ кмоль.}$$

Объём кислорода, выделившегося по реакциям с примесями:

$$n_{O_2} = n_{O_2}^{FeO} + n_{O_2}^{Al_2O_3} = 41,667 + 88,236 = 129,903 \text{ кмоль.}$$

3 балла

9. Взаимодействие угарного газа с кислородом, образовавшимся по реакциям хлора с примесями:



По реакции:

$$n_{CO} = 2n_{O_2}.$$



По условию задачи:

$$n_{\text{CO}} = 2\,073,15 \text{ кмоль} \gg n_{\text{O}_2} = 129,903 \text{ кмоль.}$$

Расчёт по количеству кислорода.

Прореагировало:

$$n_{\text{CO}}^R = 2n_{\text{O}_2} = 2 \cdot 129,903 = 259,806 \text{ кмоль.}$$

Образовалось:

$$n_{\text{CO}_2}^{k2} = 2n_{\text{O}_2} = 259,806 \text{ кмоль.}$$

Остаток:

$$n_{\text{CO}}^k = n_{\text{CO}} - n_{\text{CO}}^R = 2\,073,15 - 259,806 = 1\,813,344 \text{ кмоль.}$$

3 балла

10. Состав газовой смеси после хлорирования диоксида титана.

Общее количество углекислого газа:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{CO}_2}^{k1} + n_{\text{CO}_2}^{k2} = 25,925 + 259,806 = 285,731 \text{ кмоль;}$$

$$n_{\Sigma} = n_{\text{TiCl}_4} + n_{\text{Cl}_2}^{k2} + n_{\text{CO}}^k + n_{\text{CO}_2};$$

$$n_{\Sigma} = 1\,062,5 + 132,514 + 1\,813,344 + 285,731 = 3\,294,089 \text{ кмоль;}$$

$$x_{\text{TiCl}_4} = \varphi_{\text{TiCl}_4} = \frac{n_{\text{TiCl}_4}}{n_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{1\,062,5}{3\,294,089} \cdot 100 = 32,26\%;$$

$$x_{\text{Cl}_2} = \varphi_{\text{Cl}_2} = \frac{n_{\text{Cl}_2}}{n_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{132,514}{3\,294,089} \cdot 100 = 4,02\%;$$

$$x_{\text{CO}} = \varphi_{\text{CO}} = \frac{n_{\text{CO}}}{n_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{1\,813,344}{3\,294,089} \cdot 100 = 55,05\%;$$

$$x_{\text{CO}_2} = \varphi_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2}}{n_{\Sigma}} \cdot 100\% = \frac{285,731}{3\,294,089} \cdot 100 = 8,67\%.$$

2 балла

11. Расчёт дожига угарного газа.

Согласно уравнению п. 9 на реакцию с угарным газом требуется кислорода:

$$n_{\text{O}_2} = 0,5n_{\text{CO}} = 0,5 \cdot 1\,813,344 = 906,672 \text{ кмоль;}$$

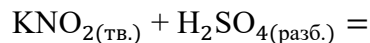
$$V_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} \cdot V_M = 906\,672 \cdot 22,4 = 20\,309,45 \text{ м}^3;$$

$$V_{\text{воздух}} = \frac{V_{\text{O}_2}}{\varphi_{\text{O}_2}} \cdot 100 = \frac{20\,309,45}{21} \cdot 100 = 96\,711,67 \text{ м}^3.$$

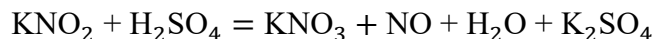
2 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 4****Задание 1 (5 баллов)**

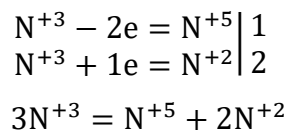
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:



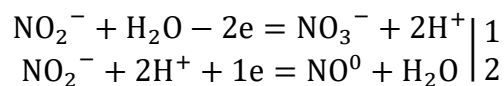
Решение:



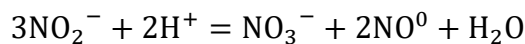
_____ 1 балл



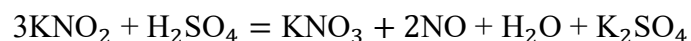
или



_____ 2 балла



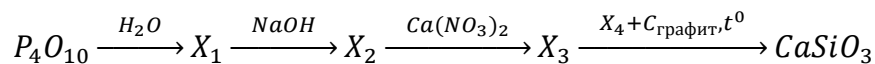
_____ 1 балла



_____ 1 балл

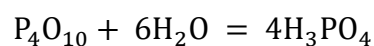
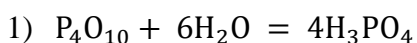
Задание 2 (15 баллов)

Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

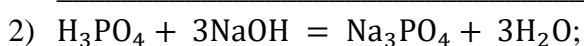


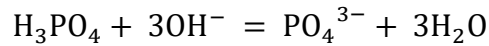
Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

Решение:

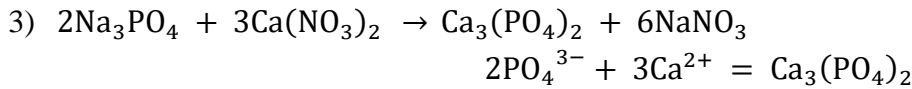


_____ 3 балла

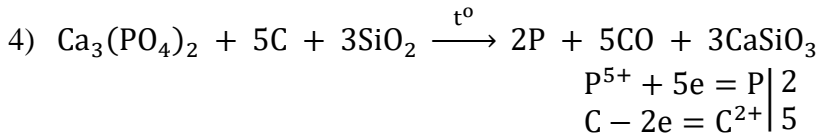




4 балла



4 балла

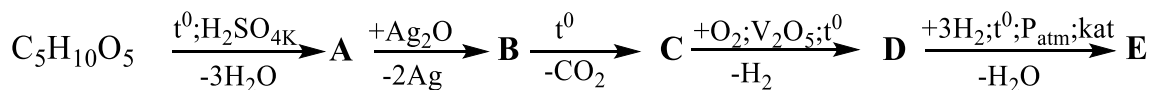


4 балла

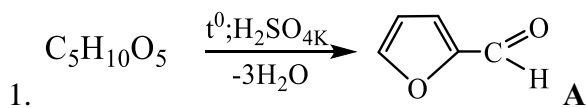
Ответ: $X_1 - \text{H}_3\text{PO}_4$; $X_2 - \text{Na}_3\text{PO}_4$; $X_3 - \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$; $X_4 - \text{SiO}_2$.

Задание 3 (15 баллов)

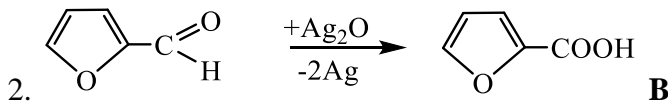
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.



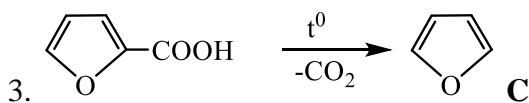
Решение:



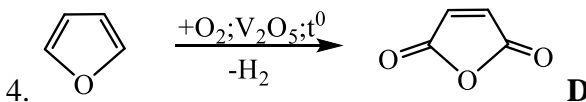
3 балла



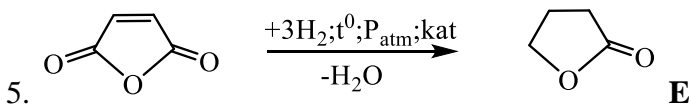
3 балла



3 балла



3 балла



3 балла

**Задание 4 (20 баллов)**

Экспериментатор пропустил смесь газов, средняя молярная масса которой на 5% меньше молярной массы гелия, состоящую из водорода и азота над нагретым катализатором. Судя по запаху, образовался аммиак, а средняя молярная масса смеси газов стала больше молярной массы гелия. Определите, больше какого выхода аммиака описанные выше условия будут соблюдены.

Решение:

Пусть в исходной смеси было $\nu(N_2) = x$ моль и $\nu(H_2) = y$ моль, средняя молярная масса смеси на 5% легче гелия, тогда:

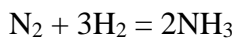
$$M_{cp} = \frac{(M_{N_2} \cdot x + M_{H_2} \cdot y)}{(x + y)} = (100\% - 5\%) \cdot M_{He} = \frac{(28 \cdot x + 2 \cdot y)}{(x + y)} = 0,95 \cdot 4 = 3,8 \text{ г.}$$

или:

$$y = 13,44 \cdot x$$

_____ 4 балла

Реакция на катализаторе:



_____ 2 балла

Пусть в реакцию вступило $\nu(N_2) = a$ моль и $\nu(H_2) = 3a$ моль, образовалось $\nu(NH_3) = 2a$ моль, тогда общее число моль в состоянии равновесия:

$$\nu_{общее} = \nu(N_2) + \nu(H_2) + \nu(NH_3) = (x - a) + (y - 3a) + 2a = 14,44x - 2a.$$

_____ 4 балла

Масса смеси в состоянии равновесия:

$$m_{смеси} = 28x + 2 \cdot 13,44x = 54,88x \text{ г.}$$

_____ 4 балла

Средняя молярная масса после реакции должна быть больше 4, следовательно:

$$M_{cp} = \frac{54,88x}{(14,44x - 2a)} > 4 \text{ г.};$$

$$a > 0,36x.$$

$$\text{Выход реакции: } \text{выход} = \frac{a}{x} \cdot 100\%.$$

Следовательно, средняя молярная масса смеси станет больше молярной массы He при $\frac{a}{x} > 0,36$ или $\text{выход} > 0,36 \cdot \frac{a}{x} > 0,36$ или $\text{выход} > 0,36$.

_____ 6 баллов

Ответ: выход NH_3 более 36%

**Задание 5 (20 баллов)**

Во время Второй мировой войны в качестве смазочного материала применяли масло, содержащее в своем составе гидроксикислоту с молярной массой 298 г/моль, состоящую по массе из 72,5 % углерода, 11,4 % водорода и кислорода. Это масло можно охарактеризовать йодным числом, числом омыления и положительной пробой с бромной водой. Определите структурную формулу масла и составте соответствующие уравнения реакций.

Решение:

Находим эмпирическую формулу гидроксикислоты, входящей в состав масла. Пусть гидроксикислоты 1 моль, тогда масса 298 г.:

$$m(C) = \frac{M_{\text{к-ты}} \cdot \omega(C)}{100\%} = \frac{298 \cdot 72,5}{100} = 216,5 \text{ г.};$$

$$m(H) = \frac{M_{\text{к-ты}} \cdot \omega(H)}{100\%} = \frac{298 \cdot 11,4}{100} = 34,0 \text{ г.};$$

$$m(O) = \frac{M_{\text{к-ты}} \cdot \omega(O)}{100\%} = \frac{M \cdot (100 - \omega(C) - \omega(H))}{100\%} = \frac{298 \cdot 16,1}{100} = 48,0 \text{ г.}$$

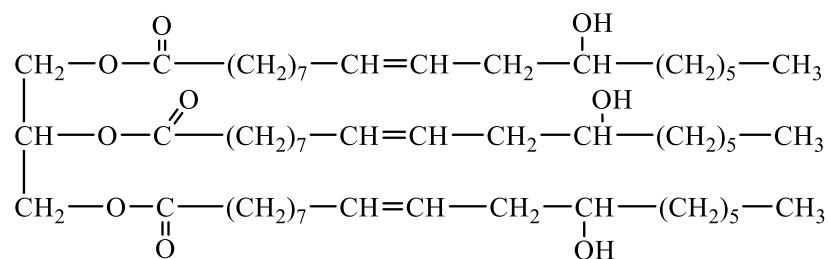
Вычислим количество атомов углерода, водорода и кислорода:

$$n(C) : n(H) : n(O) = \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(H)}{M(H)} : \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{216,05}{12} : \frac{34}{1} : \frac{48}{16} = 18 : 34 : 3.$$

Эмпирическая формула кислоты $C_{18}H_{34}O_3$.

_____ 4 балла

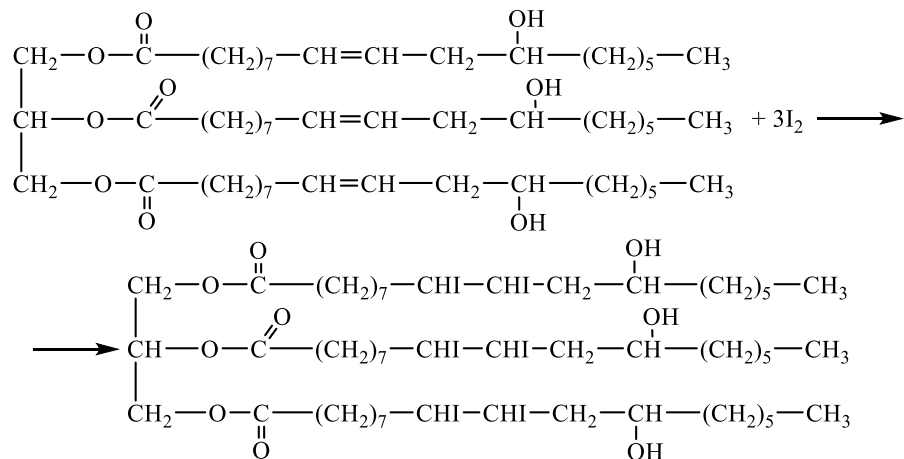
Так как гидроксикислота, входящая в состав масла, дает положительную пробу с бромной водой и характеризуется йодным числом, то она в своем составе имеет кратную связь, тогда структурная формула масла:



_____ 4 балла

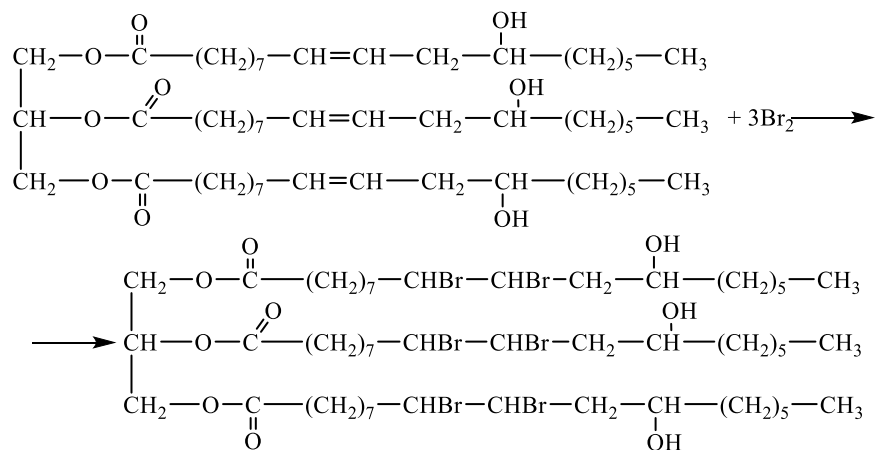
Уравнения химических реакций, согласно условию задачи:

а) взаимодействие с йодом:



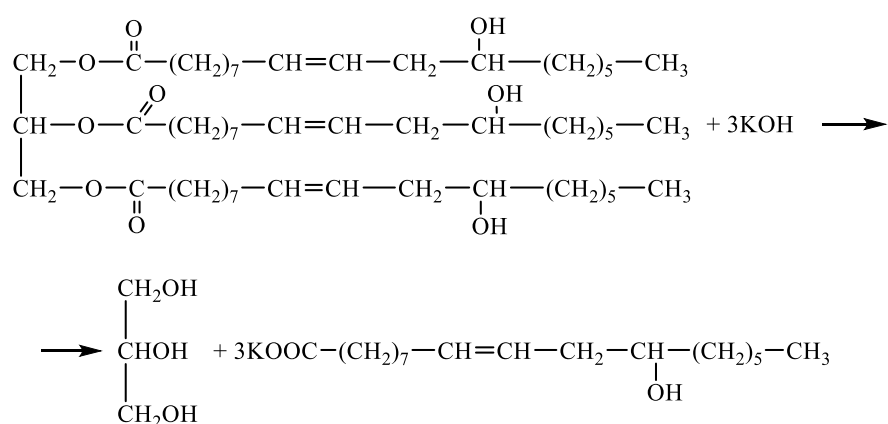
4 балла

b) реакция с бромной водой:



4 балла

c) Реакция со щелочью:



4 балла

Задание 6 (25 баллов)

Основное количество выпускаемого диоксида титана из ильменитового концентрата (массовая доля ильменита - метатитанат железа (II) - 90 % и кианит, $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$) получают сернокислотным способом. Минеральное сырьё обрабатывают серной кислотой с массовой долей



основного вещества 94 % (плотность 1,83 г/см³) при температуре 130 °С. Раствор серной кислоты берут, исходя из пятикратного избытка H₂SO₄ по отношению к массе оксида титана, содержащегося в концентрате. Полученный пек обрабатывают пятикратным объёмом воды. При этом титан и другие металлы в виде сульфатов полностью переходят в раствор, который имеет плотность 1,53 г/см³. Из раствора перед выделением диоксида титана удаляют железо в виде железного купороса, который осаждают при температуре -5 °С. Остаточная концентрация железа в растворе обычно составляет не более 20 г/л в пересчёте на трёхокись железа. Титан выделяют из раствора в виде метатитановой кислоты по реакции гидролиза сульфата оксотитана. При проведении контрольного опыта к пробе раствора выщелачивания объёмом 0,5 л прибавили избыток железных опилок, после чего массовая доля соли железа в полученном растворе составила 36 %. При охлаждении этого раствора выпало 278 г кристаллогидрата, а массовая доля соли в растворе снизилась до 25,34 %. Установите формулу железного купороса. Вычислите объём технической серной кислоты (массовая доля H₂SO₄ 94 %), требуемый для сульфатизации 100 т ильменитового концентрата. Рассчитайте массовые доли веществ в растворе выщелачивания и определите стехиометрический расход железных опилок на 1 м³ этого раствора для перевода железа в форму купороса. Определите, какую массу пигментной двуокиси титана марки Р-02 (массовая доля TiO₂ 93 %) и железного купороса получают при переработке 100 т ильменитового концентрата, если потери двуокиси титана при прокаливании метатитановой кислоты составляют 1 %.

Решение:

1. Расчёт контрольного опыта (вывод формулы железного купороса):

$$\begin{aligned}m_{\text{p-p}}^{(1)} &= V_{\text{p-p}} \cdot d_{\text{p-p}} = 500 \cdot 1,53 = 765 \text{ г}; \\m_{\text{FeSO}_4}^{(1)} &= \frac{\omega_1}{100} \cdot m_{\text{p-p}}^{(1)} = \frac{36}{100} \cdot 765 = 275,4 \text{ г}; \\m_{\text{p-p}}^{(2)} &= m_{\text{p-p}}^{(1)} - m_{\text{ос}} = 765 - 278 = 487 \text{ г}; \\m_{\text{FeSO}_4}^{(2)} &= \frac{\omega_2}{100} \cdot m_{\text{p-p}}^{(2)} = \frac{25,34}{100} \cdot 487 = 123,4 \text{ г}; \\m_{\text{FeSO}_4} &= m_{\text{FeSO}_4}^{(1)} - m_{\text{FeSO}_4}^{(2)} = 275,4 - 123,4 = 152 \text{ г}; \\n_{\text{FeSO}_4} &= \frac{m_{\text{FeSO}_4}}{M_{\text{FeSO}_4}} = \frac{152}{152} = 1 \text{ моль} = n_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}}; \\M_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}} &= \frac{m_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}}}{n_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}}} = \frac{278}{1} = 278 \text{ г/моль}; \\M_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}} &= M_{\text{FeSO}_4} + xM_{\text{H}_2\text{O}}; \\x &= \frac{M_{\text{FeSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}} - M_{\text{FeSO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{O}}} = \frac{278 - 152}{18} = 7.\end{aligned}$$

Формула железного купороса: FeSO₄ · 7H₂O.

3 балла

2. Расчёт ильменитового концентрата:

$$\begin{aligned}m_{\text{FeTiO}_3} &= \frac{\omega_{\text{FeTiO}_3}}{100} m_{\text{конц.}} = \frac{90}{100} \cdot 100 = 90 \text{ т}; \\m_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4} &= m_{\text{конц.}} - m_{\text{FeTiO}_3} = 100 - 90 = 10 \text{ т}; \\n_{\text{FeTiO}_3} &= \frac{m_{\text{FeTiO}_3}}{M_{\text{FeTiO}_3}} = \frac{90 \cdot 10^6}{152} = 592,105 \text{ кмоль}; \\n_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4} &= \frac{m_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4}}{M_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4}} = \frac{10 \cdot 10^6}{162} = 61,728 \text{ кмоль}.\end{aligned}$$

2 балла

3. Расчёт серной кислоты:



$$\begin{aligned}n_{\text{TiO}_2} &= n_{\text{FeTiO}_3} = 592,105 \text{ кмоль}; \\m_{\text{TiO}_2} &= n_{\text{TiO}_2} \cdot M_{\text{TiO}_2} = 592,105 \cdot 80 = 47,368 \text{ т}; \\m_{\text{H}_2\text{SO}_4} &= 5m_{\text{TiO}_2} = 5 \cdot 47,368 = 236,84 \text{ т}; \\m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}} \cdot 100 = \frac{236,84}{94} \cdot 100 = 251,957 \text{ т}; \\V_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}}}{d_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{p-p}}} = \frac{251,957 \cdot 10^6}{1,83} = 137,681 \text{ м}^3.\end{aligned}$$

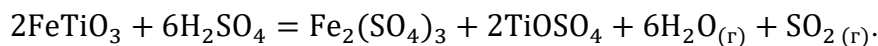
2 балла

4. Расчёт пигментной двуокиси титана:

$$\begin{aligned}m_{\text{потери}} &= \frac{\omega_{\text{потери}}}{100} \cdot m_{\text{TiO}_2} = \frac{1}{100} \cdot 47,368 = 4,737 \text{ т}; \\m_{\text{TiO}_2}^{\text{пр}} &= m_{\text{TiO}_2} - m_{\text{потери}} = 47,368 - 4,737 = 42,631 \text{ т}; \\m_{\text{TiO}_2}^{\text{пигм.}} &= \frac{m_{\text{TiO}_2}^{\text{пр}}}{\omega_{\text{TiO}_2}} \cdot 100 = \frac{42,631}{93} \cdot 100 = 45,84 \text{ т}.\end{aligned}$$

2 балла

5. Реакция ильменита с серной кислотой:



По уравнению реакции:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 3n_{\text{FeTiO}_3} = 3 \cdot 592,105 = 1\,776,315 \text{ кмоль}.$$

По условию задачи:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{236,84 \cdot 10^6}{98} = 2\,416,735 \text{ кмоль}.$$

Расчёт ведут по FeTiO_3 .

Прореагировало:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{R}} = 3n_{\text{FeTiO}_3} = 1\,776,315 \text{ кмоль}.$$

Образовалось:

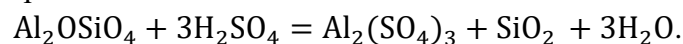
$$\begin{aligned}n_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} &= 0,5n_{\text{FeTiO}_3} = 0,5 \cdot 592,105 = 296,05 \text{ кмоль}; \\m_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} &= n_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} \cdot M_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} = 296,050 \cdot 400 = 118,420 \text{ т}; \\n_{\text{TiOSO}_4} &= n_{\text{FeTiO}_3} = 592,105 \text{ кмоль}; \\m_{\text{TiOSO}_4} &= n_{\text{TiOSO}_4} \cdot M_{\text{TiOSO}_4} = 592,105 \cdot 160 = 94,737 \text{ т}.\end{aligned}$$

Осталось

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{k1}} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} - n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{R}} = 2\,416,735 - 1\,776,315 = 640,42 \text{ кмоль}.$$

4 балла

6. Реакция кианита с серной кислотой:



По уравнению реакции:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 3n_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4} = 3 \cdot 61,728 = 185,184 \text{ кмоль}.$$

По условию задачи:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{k1}} = 640,42 \text{ кмоль} \gg 185,184 \text{ кмоль}.$$

Расчёт ведут по силикату алюминия.

Прореагировало:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{R2}} = 3n_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4} = 185,184 \text{ кмоль}.$$

Образовалось:



$$\begin{aligned}n_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} &= n_{\text{SiO}_2} = n_{\text{Al}_2\text{OSiO}_4} = 61,728 \text{ кмоль}; \\m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} &= n_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} \cdot M_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} = 61\,728 \cdot 342 = 21,111 \text{ т}; \\m_{\text{SiO}_2} &= n_{\text{SiO}_2} \cdot M_{\text{SiO}_2} = 61\,728 \cdot 60 = 3,704 \text{ т}.\end{aligned}$$

Осталось:

$$\begin{aligned}n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{k2} &= n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{k1} - n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{R2} = 640,42 - 185,184 = 455,236 \text{ кмоль}; \\m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{k2} &= n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{k2} \cdot M_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 455\,236 \cdot 98 = 44,613 \text{ т}.\end{aligned}$$

4 балла

7. Расчёт массы воды для выщелачивания пека:

$$\begin{aligned}m_{\text{пек}} &= m_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} + m_{\text{TiOSO}_4} + m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} + m_{\text{SiO}_2} + m_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{k2}; \\m_{\text{пек}} &= 118,42 + 94,737 + 21,110 + 3,700 + 44,613 = 282,58 \text{ т}; \\m_{\text{H}_2\text{O}} &= 5m_{\text{пек}} = 5 \cdot 282,58 = 1\,412,9 \text{ т}.\end{aligned}$$

8. Расчёт состава раствора выщелачивания:

$$\begin{aligned}m_{\text{p-p}} &= m_{\text{H}_2\text{O}} + m_{\text{пек}} - m_{\text{SiO}_2} = 1\,412,9 + 282,58 - 3,700 = 1\,691,78 \text{ т}; \\\omega_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} &= \frac{m_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3}}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100\% = \frac{118,42}{1\,691,78} \cdot 100 = 7,0\%; \\\omega_{\text{TiOSO}_4} &= \frac{m_{\text{TiOSO}_4}}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100\% = \frac{94,737}{1\,691,78} \cdot 100 = 5,6\%; \\\omega_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3} &= \frac{m_{\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3}}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100\% = \frac{21,110}{1\,691,78} \cdot 100 = 1,25\%; \\\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4} &= \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{m_{\text{p-p}}} \cdot 100\% = \frac{44,613}{1\,691,78} \cdot 100 = 2,64\%.\end{aligned}$$

9. Расчёт массы опилок:

$$\begin{aligned}\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Fe} &= 3\text{FeSO}_4; \\n_{\text{Fe}} &= n_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} = 296,05 \text{ кмоль}; \\m_{\text{Fe}} &= n_{\text{Fe}} \cdot M_{\text{Fe}} = 296\,050 \cdot 56 = 16,580 \text{ т};\end{aligned}$$

4 балла

10. Расчёт массы железного купороса:

$$C_{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}^k = \frac{C_{\text{Fe}_2\text{O}_3}}{M_{\text{Fe}_2\text{O}_3}} = \frac{20}{160} = 0,125 \text{ моль/л}; n_{\text{Fe}} = 2n_{\text{Fe}_2\text{O}_3}.$$

Тогда:

$$C_{M(\text{Fe})}^k = 2C_{M(\text{Fe}_2\text{O}_3)}^k = 2 \cdot 0,125 = 0,25 \text{ моль/л}.$$

Остаточное количество вещества железа в растворе:

$$\begin{aligned}V_{\text{p-p}} &= \frac{m_{\text{p-p}}}{d_{\text{p-p}}} = \frac{1\,691,78 \cdot 10^6}{1,53} = 1\,105,74 \text{ м}^3; \\n_{\text{Fe}} &= C_{M(\text{Fe})}^k \cdot V_{\text{p-p}} = 0,25 \cdot 1\,105,74 \cdot 10^3 = 276,435 \text{ кмоль} = n_{\text{FeSO}_4}^k.\end{aligned}$$

Исходное количество вещества сульфата железа (II) согласно реакции п. 9:

$$n_{\text{FeSO}_4}^i = 3n_{\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3} = 3 \cdot 296,05 = 888,15 \text{ кмоль}.$$

Выпало в осадок в виде железного купороса:

$$\begin{aligned}n_{\text{FeSO}_4} &= n_{\text{FeSO}_4}^i - n_{\text{FeSO}_4}^k = 888,15 - 276,435 = 611,715 \text{ кмоль} = n_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \\m_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} &= n_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}} = 611\,715 \cdot 278 = 170,0 \text{ т}\end{aligned}$$

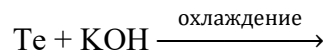
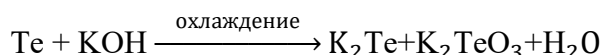
Расход железных опилок на 1 м³ раствора:

$$m_{\text{Fe}} = \frac{m_{\text{опилки Fe}}}{V_{\text{p-p}}} = \frac{16580}{1105,74} = 15 \text{ кг}$$

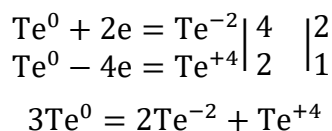
4 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 5****Задание 1 (5 баллов)**

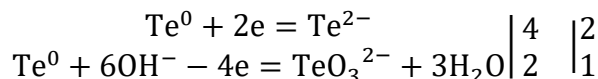
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

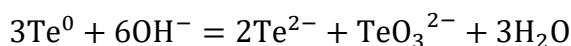
1 балл



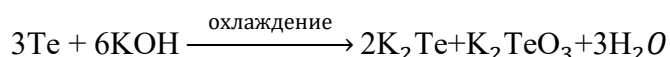
или



2 балла



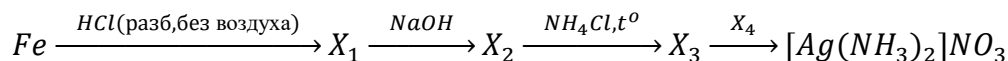
1 балла



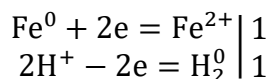
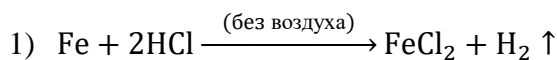
1 балл

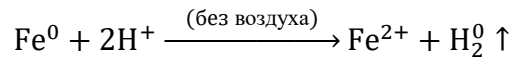
Задание 2 (15 баллов)

Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

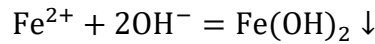
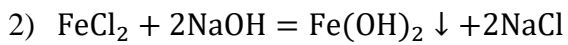


Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

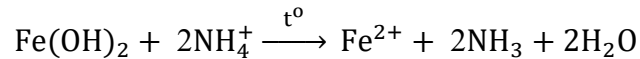
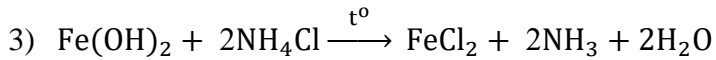
Решение:



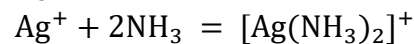
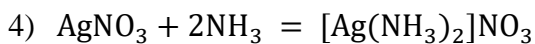
4 балла



3 балла



4 балла

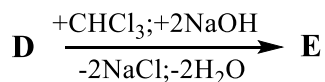
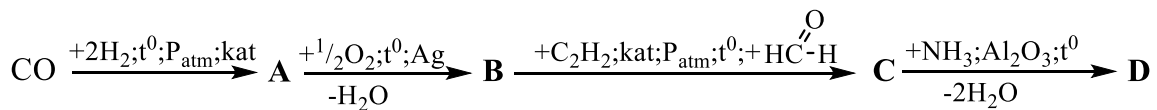


4 балла

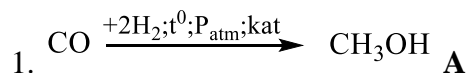
Ответ: $X_1 - \text{FeCl}_2$; $X_2 - \text{Fe(OH)}_2$; $X_3 - \text{NH}_3$; $X_4 - \text{AgNO}_3$.

Задание 3 (15 баллов)

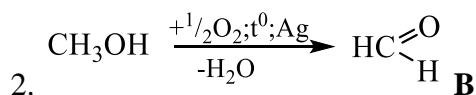
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.



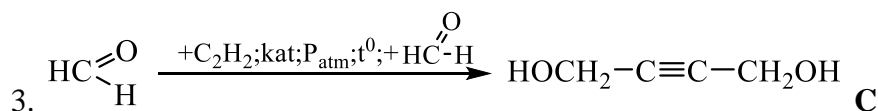
Решение:



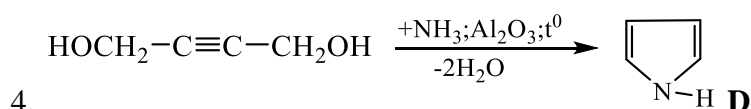
3 балла



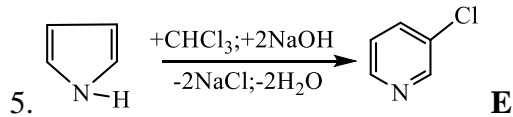
3 балла



3 балла



3 балла



3 балла

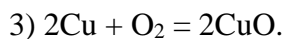
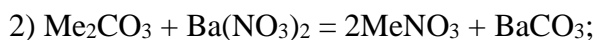
Задание 4 (20 баллов)

Перед экспериментатором поставлена задача – установить формулу соединения металла с кислородом. Сначала он взял 32,9 г изучаемого соединения и подействовал на него избытком углекислого газа. Образовалось твердое соединение **Х** и выделился газ **У**. Все образовавшееся вещество **Х** экспериментатор растворил в воде и добавил к полученному раствору избыток нитрата бария. Выпало 27,58 г осадка. Собранный газ **У** экспериментатор закачал в емкость с раскаленной медью, что после полного взаимодействия привело к увеличению массы ёмкости на 6,72 г.

Решение:

Из исходных данных можно сделать вывод, что после взаимодействия вещества с углекислым газом образовался карбонат металла – **Х**. Металл относится к группе щелочных, поскольку достаточно растворимы в воде только карбонаты щелочных металлов. Тогда газ **У** может быть кислородом, а само вещество – надпероксид MeO_2 или пероксид Me_2O_2 .

Взаимодействие оксида описанных веществ происходит по реакциям:



4 балла

Раскаленная медь приросла в массе за счет кислорода:

$$\nu(O_2) = \frac{\Delta m_{Cu}}{M_{O_2}} = \frac{6,72}{32} = 0,21 \text{ моль.}$$

4 балла

По реакции 2:

$$\nu(Me) = 2 \cdot \nu(Me_2CO_3) = 2 \cdot \nu(BaCO_3) = 2 \cdot \frac{m_{BaCO_3}}{M_{BaCO_3}} = 2 \cdot \frac{27,58}{197} = 0,28 \text{ моль ;}$$

$$\nu(Me_2CO_3) = \nu(BaCO_3) = 0,14 \text{ моль.}$$

4 балла

По реакции 1:

$$\frac{x}{(y - 0,5x)} = \frac{0,14}{0,21} \text{ или } \frac{x}{y} = \frac{1}{2}.$$

Можно заключить, что формула соединения - $(MeO_2)_m$.



4 балла

Пусть $m = 1$, тогда формула исходного соединения - MeO_2 и

$$\nu(MeO_2) = \nu(Me) = 0,28 \text{ моль}$$

$$M(MeO_2) = \frac{m_{MeO_2}}{\nu_{MeO_2}} = \frac{32,9}{0,28} = 117,5 \text{ г / моль}$$

$$M(Me) = M(MeO_2) - M(O_2) = 117,5 - 32 = 85,5 \text{ г / моль}$$

Исходный металл – Rb.

4 балла

Ответ: исходное соединение - RbO_2

Задание 5 (20 баллов)

Лаборант-неорганик приготовил 20% раствор едкого натра. Зная о вредном воздействии щёлочи на стекло, он перелил приготовленный раствор в пластиковую бутылку из-под лимонада. Через неделю на полке шкафа образовалась лужа, а в дырявой помутневшей бутылке находилась сероватая непрозрачная жидкость с какими-то хлопьями... Объясните произошедшее, если пластиковый материал бутылки представлял собой лавсан. Приведите структурную формулу лавсана и химическую реакцию его синтеза.

Решение:

Лаборант-неорганик знал, что твёрдые чешуйки щёлочи хранятся в полиэтиленовых банках. Но не все полимерные материалы устойчивы к действию щелочи.

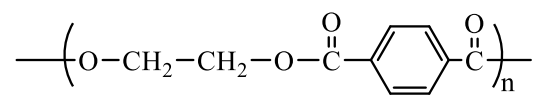
5 баллов

Нарушение целостности полимерного материала произошло вследствие химического взаимодействия со щелочью (щелочной гидролиз), которому способны подвергаться полимеры со

сложной эфирной группой $—O—C \begin{array}{l} \nearrow O \\ \searrow \end{array}$.

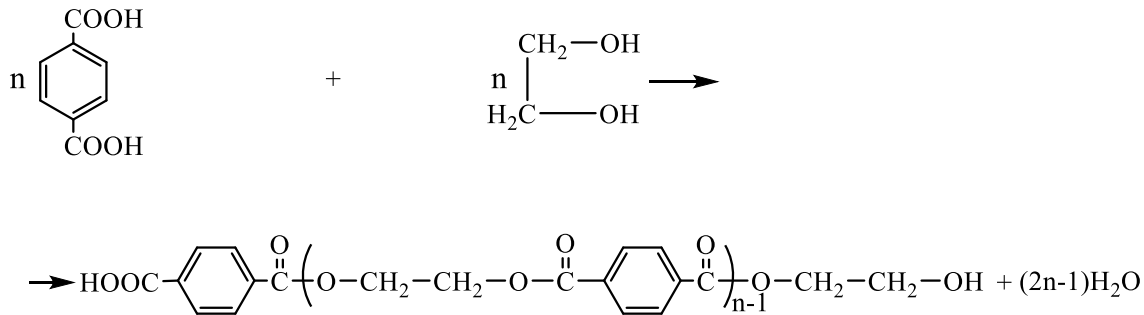
5 баллов

А так как бутылка изготовлена из лавсана, а иное название полимера — полиэтилентерефталат, то химической мономерной единицей является:



5 баллов

Исходными веществами для синтеза полиэтилентерефталата являются терефталевая кислота и этиленгликоль согласно реакции:



5 баллов

Задание 6 (25 баллов)

Сероводород и диоксид углерода являются кислыми коррозионно-агрессивными компонентами горючих газов, которые способствуют коррозии трубопроводов. При промышленной подготовке их удаляют при пропускании газа под давлением 1,5 МПа и температуре 25 °С через водный раствор, содержащий массовую долю моноэтаноламина 20 % (плотность 1,05 г/см³). Моноэтаноламин регенерируют, сероводород отправляют на переработку в Клаус-процесс для получения серы и серной кислоты. Сероводород при давлении 2 МПа и температуре 1100 °С окисляют стехиометрическим количеством кислорода воздуха и в каталитическом процессе при температуре 260 °С получают серу в виде одноатомного газа. При реакции стехиометрического соотношения H₂S и кислорода конечный объём газов в 2,15 раза превышает взятый для реакции объём сероводорода. Каталитическая реакция сероводорода с оксидом серы протекает со степенью превращения H₂S 96 %, сера образуется как моноатомный газ.

Вычислите объём водного раствора моноэтаноламина для промышленной подготовки 100 000 м³ природного газа (н.у.), содержащего объёмную долю сероводорода 5 % и диоксида углерода 2,35 %. Известно, что при поглощении избытка сероводорода 290,5 мл раствора моноэтаноламина его масса увеличивается на 34 г и образуется 95 г соли, а при взаимодействии с диоксидом углерода образуется тот же тип соли. Определите состав газовой смеси после протекания Клаус-процесса и конденсации серы, и массу серы, которая при этом может быть получена.

Решение:

1. Расчёт количества «кислых газов»:

$$V_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{\varphi_{\text{H}_2\text{S}}}{100} \cdot V_{\Sigma} = \frac{5}{100} \cdot 100\,000 = 5\,000 \text{ м}^3;$$

$$n_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{V_{\text{H}_2\text{S}}}{V_M} = \frac{5 \cdot 10^6}{22,4} = 223,214 \text{ кмоль};$$

$$V_{\text{CO}_2} = \frac{\varphi_{\text{CO}_2}}{100} \cdot V_{\Sigma} = \frac{2,35}{100} \cdot 100\,000 = 2\,350 \text{ м}^3;$$

$$n_{\text{CO}_2} = \frac{V_{\text{CO}_2}}{V_M} = \frac{2,35 \cdot 10^6}{22,4} = 104,911 \text{ кмоль}.$$

3 балла

2. Вывод формулы продукта реакции моноэтаноламина с сероводородом:



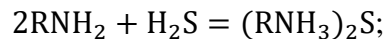
Формула моноэтаноламина $\text{HO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-NH}_2$ или RNH_2 ;

$$m_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} = V_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} \cdot d_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} = 290,5 \cdot 1,05 = 305,025 \text{ г};$$

$$m_{\text{RNH}_2} = \frac{\omega_{\text{RNH}_2}}{100} \cdot m_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} = \frac{20}{100} \cdot 305,025 = 61,0 \text{ г};$$

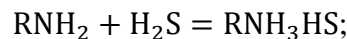
$$n_{\text{RNH}_2} = \frac{m_{\text{RNH}_2}}{M_{\text{RNH}_2}} = \frac{61}{61} = 1 \text{ моль}.$$

При поглощении сероводорода масса раствора увеличилась на 34 г, что соответствует поглощению 1 моль сероводорода ($M = 34 \text{ г/моль}$) по реакции образования средней соли:



$$n_{\text{H}_2\text{S}} = n_{(\text{RNH}_3)_2\text{S}} = 1 \text{ моль}.$$

Или кислой соли по реакции:



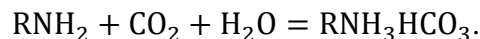
$$n_{\text{H}_2\text{S}} = n_{\text{RNH}_3\text{HS}} = 1 \text{ моль}.$$

Молярная масса продукта реакции должна соответствовать массе соли:

$$M_{(\text{RNH}_3)_2\text{S}} = 156 \text{ г/моль} \neq 95;$$

$$M_{\text{RNH}_3\text{HS}} = 95 \text{ г/моль}.$$

Образуется кислая соль и взаимодействие с углекислым газом протекает по реакции



4 балла

3. Расчёт раствора моноэтаноламина для поглощения кислых газов.

Для реакции моноэтаноламина с сероводородом:

$$n_{\text{H}_2\text{S}} = n_{\text{RNH}_2}.$$

Для реакции моноэтаноламина с углекислым газом:

$$n_{\text{CO}_2} = n_{\text{RNH}_2}.$$

Общее количество моноэтаноламина для реакции с кислыми газами:

$$n_{\text{RNH}_2} = n_{\text{H}_2\text{S}} + n_{\text{CO}_2} = 223,214 + 104,911 = 328,125 \text{ кмоль};$$

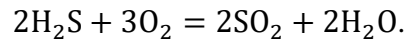
$$m_{\text{RNH}_2} = n_{\text{RNH}_2} \cdot M_{\text{RNH}_2} = 328,125 \cdot 61 = 20,016 \text{ т};$$

$$m_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{RNH}_2}}{\omega_{\text{RNH}_2}} \cdot 100 = \frac{20,016}{20} \cdot 100 = 100,08 \text{ т};$$

$$V_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}}}{d_{\text{RNH}_2}^{\text{p-p}}} = \frac{100,08 \cdot 10^6}{1,05} = 95,313 \text{ м}^3.$$

3 балла

4. Расчёт степени превращения сероводорода в оксид серы:



Вступило в реакцию:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^i;$$
$$n_{\text{O}_2}^i = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i.$$

Прореагировало:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^R = \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i;$$
$$n_{\text{O}_2}^R = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^R = 1,5\alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i.$$

Образовалось:

$$n_{\text{SO}_2} = n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{S}}^R = \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i.$$

Осталось:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^k = n_{\text{H}_2\text{S}}^i - n_{\text{H}_2\text{S}}^R = n_{\text{H}_2\text{S}}^i - \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i;$$
$$n_{\text{O}_2}^k = n_{\text{O}_2}^i - n_{\text{O}_2}^R = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i - 1,5\alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i.$$

Общее количество газов в конечной смеси:

$$n_{\Sigma} = n_{\text{H}_2\text{S}}^k + n_{\text{O}_2}^k + n_{\text{SO}_2} + n_{\text{H}_2\text{O}} =$$
$$= n_{\text{H}_2\text{S}}^i - \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i + 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i - 1,5\alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i + 2\alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i =$$
$$= 2,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i - 0,5\alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i = 2,15n_{\text{H}_2\text{S}}^i;$$
$$\alpha = \frac{2,50 - 2,15}{0,5} = 0,7.$$

4 балла

5. Расчёт окисления сероводорода до SO_2 в Клаус-процессе.

Вступило в реакцию:

$$n_{\text{O}_2}^i = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i = 1,5 \cdot 223,214 = 334,821 \text{ кмоль};$$
$$n_{\text{воздух}} = \frac{n_{\text{O}_2}^i}{x_{\text{O}_2}} \cdot 100 = \frac{334,821}{21} \cdot 100 = 1594,386 \text{ кмоль}.$$

Образовалось:

$$n_{\text{SO}_2} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)} = \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^i = 0,7 \cdot 223,214 = 156,250 \text{ кмоль}.$$

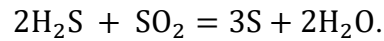
Осталось:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^{k1} = n_{\text{H}_2\text{S}}^i(1 - \alpha) = 223,214 \cdot (1 - 0,7) = 66,964 \text{ кмоль};$$
$$n_{\text{O}_2}^k = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^i(1 - \alpha) = 334,821 \cdot (1 - 0,7) = 100,446 \text{ кмоль};$$
$$n_{\text{T}} = n_{\text{воздух}} - n_{\text{O}_2}^i = 1594,386 - 334,821 = 1259,565 \text{ кмоль}.$$

3 балла



6. Расчёт образования серы в в Клаус-процессе:



По уравнению реакции:

$$n_{\text{SO}_2} = 0,5n_{\text{H}_2\text{S}} = 0,5 \cdot n_{\text{H}_2\text{S}}^{k1} = 0,5 \cdot 66,964 = 33,482 \text{ кмоль}.$$

По условию задачи:

$$n_{\text{SO}_2} = 156,250 \text{ кмоль} > 33,482 \text{ кмоль}.$$

Расчёт следует вести по сероводороду, степень превращения сероводорода составляет 0,96.

Прореагировало:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^R = \alpha n_{\text{H}_2\text{S}}^{k1} = 0,96 \cdot 66,964 = 64,285 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{SO}_2}^R = 0,5n_{\text{H}_2\text{S}}^R = 0,5 \cdot 64,285 = 32,1425 \text{ кмоль}.$$

Образовалось:

$$n_{\text{S}} = 1,5n_{\text{H}_2\text{S}}^R = 1,5 \cdot 64,285 = 96,4275 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{S}} = n_{\text{S}} \cdot M_{\text{S}} = 96\,427,5 \cdot 32 = 3,086 \text{ т};$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)} = n_{\text{H}_2\text{S}}^R = 64,285 \text{ кмоль}.$$

Осталось:

$$n_{\text{H}_2\text{S}}^{k2} = n_{\text{H}_2\text{S}}^{k1} - n_{\text{H}_2\text{S}}^R = 66,964 - 64,285 = 2,679 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{SO}_2}^k = n_{\text{SO}_2} - n_{\text{SO}_2}^R = 156,250 - 32,1425 = 124,1075 \text{ кмоль}.$$

4 балла

7. Расчёт состава газовой смеси после конденсации серы.

Общее количество паров воды:

$$n_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{O}}^{(1)} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{(2)} = 156,250 + 64,285 = 220,535 \text{ кмоль}.$$

Общее количество моль газов:

$$n_{\Sigma} = n_{\text{H}_2\text{S}}^{k2} + n_{\text{SO}_2}^k + n_{\text{H}_2\text{O}} + n_{\text{O}_2}^k + n_{\text{r}};$$

$$n_{\Sigma} = 2,679 + 124,1075 + 220,535 + 100,446 + 1259,565 = 1707,3325 \text{ кмоль};$$

$$\varphi_{\text{H}_2\text{S}} = x_{\text{H}_2\text{S}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{S}}^{k2}}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{2,679}{1707,3325} \cdot 100 = 0,16 \%;$$

$$\varphi_{\text{SO}_2} = x_{\text{SO}_2} = \frac{n_{\text{SO}_2}^k}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{124,1075}{1707,3325} \cdot 100 = 7,27 \%;$$

$$\varphi_{\text{H}_2\text{O}} = x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{220,535}{1707,3325} \cdot 100 = 12,92 \%;$$

$$\varphi_{\text{O}_2} = x_{\text{O}_2} = \frac{n_{\text{O}_2}^k}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{100,446}{1707,3325} \cdot 100 = 5,88 \%;$$

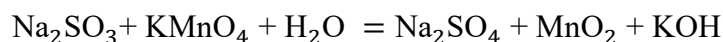


$$\varphi_r = x_r = \frac{n_r}{n_\Sigma} \cdot 100 \% = \frac{1259,565}{1707,3325} \cdot 100 = 73,77 \%$$

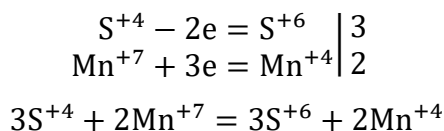
4 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 6****Задание 1 (5 баллов)**

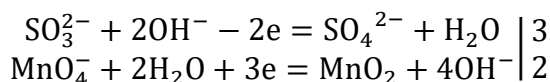
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

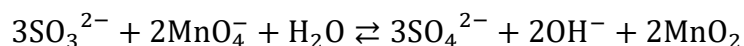
1 балл



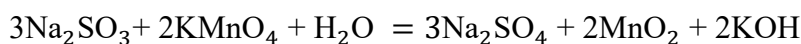
или



2 балла



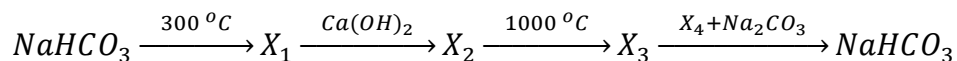
1 балла



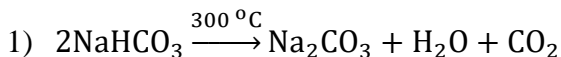
1 балл

Задание 2 (15 баллов)

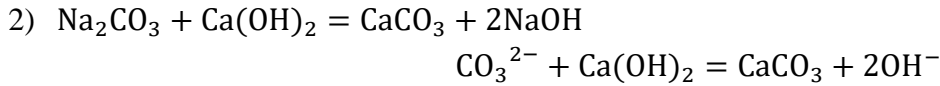
Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:



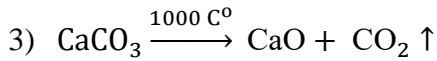
Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

Решение:

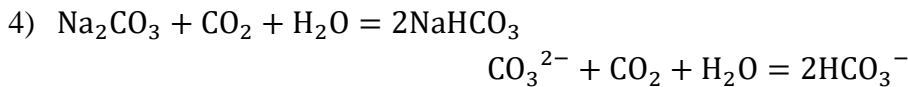
4 балла



4 балла



3 балла

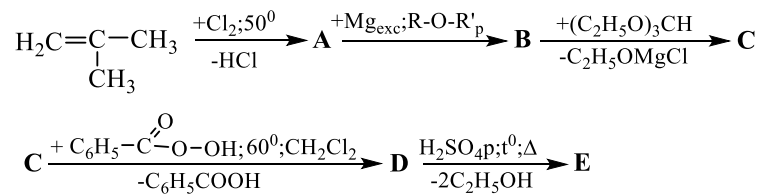


4 балла

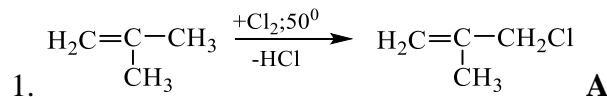
Ответ: $X_1 - \text{Na}_2\text{CO}_3$; $X_2 - \text{CaCO}_3$; $X_3 - \text{CO}_2$; $X_4 - \text{H}_2\text{O}$.

Задание 3 (15 баллов)

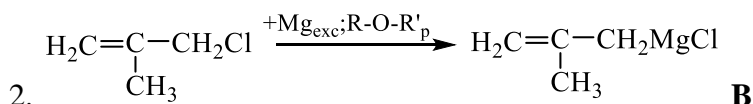
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнять и указать условия их протекания.



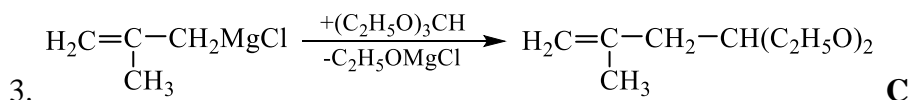
Решение:



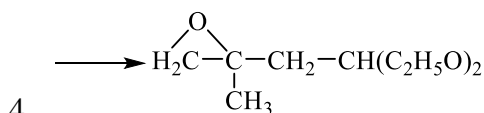
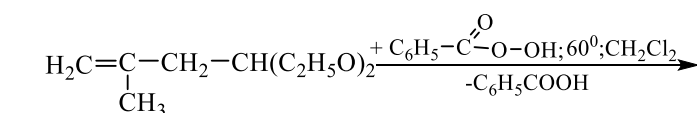
3 балла



3 балла

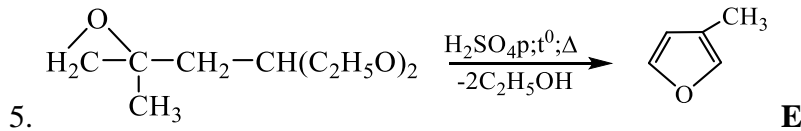


3 балла



D

3 балла



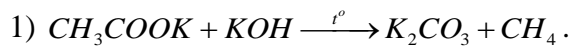
3 балла

Задание 4 (20 баллов)

Экспериментатор прокалил смесь массой 49 г. Смесь состояла из избытка гидроксида калия и ацетата калия. В результате прокаливания компоненты смеси прореагировали с выделением газа, который экспериментатор собрал и соединил с парами брома. В результате данного взаимодействия образовалось 25,3 г трибромметана. Важно отметить, что выход трибромметана составил 40% от теоретического. Найдите массовые доли гидроксида калия и ацетата калия в исходной смеси.

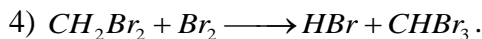
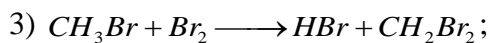
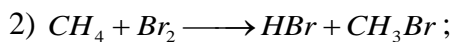
Решение:

Прокаливание исходной смеси происходит по реакции:



2 балла

Метан реагирует с бромом по реакциям:



6 баллов

Образовалось трибромметана:

$$\nu(\text{CHBr}_3) = \frac{m_{\text{CHBr}_3}}{M_{\text{CHBr}_3}} = \frac{25,3}{253} = 0,1 \text{ моль}.$$

2 балла

При условии выхода в 40 % в реакции 2-4 вступило метана:

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{\nu(\text{CH}_3\text{Br}) \cdot 100\%}{\text{выход}} = \frac{0,1 \cdot 100\%}{40\%} = 0,25 \text{ моль}.$$

2 балла

Следовательно, по реакции 1 прореагировало:

$$\nu(\text{CH}_3\text{COOK}) = \nu(\text{CH}_4) = 0,25 \text{ моль};$$

$$m(\text{CH}_3\text{COOK}) = \nu(\text{CH}_3\text{COOK}) \cdot M(\text{CH}_3\text{COOK}) = 0,25 \cdot 98 = 24,5 \text{ г}.$$

2 балла

Масса исходной смеси 49 г, следовательно:



$$m(\text{KOH}) = m(\text{смесь}) - m(\text{CH}_3\text{COOK}) = 49 - 24,5 = 24,5 \text{ г};$$

_____ 2 балла

$$\omega(\text{KOH}) = \frac{m(\text{KOH})}{m(\text{смесь})} \cdot 100\% = \frac{24,5}{49} \cdot 100\% = 50,00\%;$$

$$\omega(\text{CH}_3\text{COOK}) = \frac{m(\text{CH}_3\text{COOK})}{m(\text{смесь})} \cdot 100\% = \frac{24,5}{49} \cdot 100\% = 50,00\% .$$

_____ 4 балла

Ответ: $\omega(\text{KOH}) = 50,00\%$; $\omega(\text{CH}_3\text{COOK}) = 50,00\%$.

Задание 5 (20 баллов)

Ряд сложных эфиров органических кислот с «длиннохвостыми» спиртами не удаётся получить с помощью классической реакции этерификации. Для их синтеза проводят переэтерификацию эфиров данной карбоновой кислоты из низшего спирта, проводя реакцию с избытком высшего спирта.

Какое оборудование применяют в данном синтезе? Какое различие в физических свойствах участников реакции является условием проведения данного процесса? Напишите реакцию переэтерификации и объясните, почему рассматриваемая реакция протекает в прямом, а не в обратном направлении.

Решение:

Для проведения реакции переэтерификации используют колбу с насадкой Дина-Старка и обратный холодильник.

_____ 4 балла

Условием проведения процесса является различие в температурах кипения компонентов реакционной смеси, располагающихся в следующий ряд:

эфир низшего спирта < низший спирт < карбоновая кислота < эфир высшего спирта < высший спирт.

_____ 4 балла

В ловушке насадки Дина-Старка будет конденсироваться низший спирт, образующийся в результате термической деструкции исходного эфира.

_____ 4 балла

Между компонентами реакционной смеси, состоящими из карбоновой кислоты и высшего спирта, протекает химическое взаимодействие, итоговое уравнение которого:





R1 - радикал низшего спирта, R2 - радикал высшего спирта

4 балла

Согласно принципу Ле-Шателье равновесие реакции смещается в сторону расхода (убыли) «короткохвостого» спирта.

4 балла

Задание 6 (25 баллов)

Основное количество аммиака при коксовании углей образуется за счёт прямого выделения NH_3 при пиролизе азотсодержащих соединений угля. Количество связываемого в аммиак азота достигает 15 % от его массы в угле. 20 % от выделяющегося при коксовании угля аммиака содержится в надсмольной воде. Аммиак, содержащийся в надсмольной воде, делят на «связанный» и «летучий». «Летучий» аммиак представляет собой карбонат и сульфид аммония, которые разлагаются при нагревании. Связанный аммиак содержится в виде хлорида и сульфата аммония, откуда его выделяют по реакции с известковым молоком. Надсмольная вода содержит 1,3 г/л углекислого газа, 8,00 г/л серы, из которой 13,64 % является сульфидной. Количество надсмольной воды зависит от влажности угля (10 % от массы угля) и количества пиролизной воды (2 % от массы угля). Плотность надсмольной воды 1,02 г/см³. Вычислите массовые доли аммиак-содержащих солей в надсмольной воде, если массовая доля азота в угле 3,4 %. Какой объем известкового молока с массовой долей по оксиду кальция 10 % и плотностью 1,1 г/см³ потребуется для выделения связанного аммиака? Расчет провести на 1000 т угля.

Решение:

1. Масса азота в угле:

$$m_{\text{N}} = \frac{\omega_{\text{N}}}{100} \cdot m_{\text{уголь}} = \frac{3,4}{100} \cdot 1000 = 34 \text{ т.}$$

2 балла

2. Масса азота, связанного в аммиак:

$$m_{\text{N}}^{\text{NH}_3} = \frac{\omega_{\text{N}}^{\text{NH}_3}}{100} \cdot m_{\text{N}} = \frac{15}{100} \cdot 34 = 5,1 \text{ т.}$$

2 балла

3. Расчёт общей массы аммиака:

$$n_{\text{N}}^{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{N}}^{\text{NH}_3}}{M_{\text{N}}} = \frac{5,1 \cdot 10^6}{14} = 364,286 \text{ кмоль} = n_{\text{NH}_3}^{\Sigma};$$
$$m_{\text{NH}_3}^{\Sigma} = n_{\text{NH}_3}^{\Sigma} \cdot M_{\text{NH}_3} = 364,286 \cdot 17 = 6,193 \text{ т.}$$

2 балла

4. Содержание аммиака в надсмольной воде:

$$m_{\text{NH}_3} = \frac{\omega_{\text{NH}_3}}{100} \cdot m_{\text{NH}_3}^{\Sigma} = \frac{20}{100} \cdot 6,193 = 1,239 \text{ т;}$$
$$n_{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{NH}_3}}{M_{\text{NH}_3}} = \frac{1,239 \cdot 10^6}{17} = 72,882 \text{ кмоль.}$$

2 балла



5. Расчёт массы и объёма надсмольной воды.

Масса надсмольной воды является суммой массы воды от влажности угля m_B и массы пиролизной воды $m_{ПВ}$:

$$m_{H_2O} = m_B + m_{ПВ} = \frac{\omega_B}{100} \cdot m_{\text{уголь}} + \frac{\omega_{ПВ}}{100} \cdot m_{\text{уголь}} = \frac{10}{100} \cdot 1000 + \frac{2}{100} \cdot 1000 = 120 \text{ т};$$
$$V_{H_2O} = \frac{m_{H_2O}}{d_{H_2O}} = \frac{120 \cdot 10^6}{1,02} = 117,647 \text{ м}^3.$$

2 балла

6. Расчёт карбоната аммония:

$$m_{CO_2} = C_{CO_2} \cdot V_{H_2O} = 1,3 \cdot 117\,647 = 152,941 \text{ кг} = 0,153 \text{ т};$$
$$n_{CO_2} = \frac{m_{CO_2}}{M_{CO_2}} = \frac{152\,941}{44} = 3\,476 \text{ моль} = n_{(NH_4)_2CO_3};$$
$$m_{(NH_4)_2CO_3} = n_{(NH_4)_2CO_3} \cdot M_{(NH_4)_2CO_3} = 3\,476 \cdot 96 = 333,696 \text{ кг} = 0,334 \text{ т}.$$

2 балла

7. Расчёт количества серы в надсмольной воде:

$$m_S^\Sigma = C_S \cdot V_{H_2O} = 8,0 \cdot 117\,647 = 941,176 \text{ кг} = 0,941 \text{ т};$$
$$n_S^\Sigma = \frac{m_S^\Sigma}{M_S} = \frac{941\,176}{32} = 29\,412 \text{ моль}.$$

2 балла

8. Расчёт количества сульфида аммония в надсмольной воде:

$$m_{S^{2-}} = \frac{\omega_{S^{2-}}}{100} \cdot m_S^\Sigma = \frac{13,64}{100} \cdot 941,176 = 128,376 \text{ кг} = 0,128 \text{ т};$$
$$n_{S^{2-}} = \frac{m_{S^{2-}}}{M_S} = \frac{128\,376}{32} = 4\,012 \text{ моль} = n_{(NH_4)_2S};$$
$$m_{(NH_4)_2S} = n_{(NH_4)_2S} \cdot M_{(NH_4)_2S} = 4\,012 \cdot 68 = 0,273 \text{ т}.$$

2 балла

9. Расчёт количества сульфата аммония в надсмольной воде:

$$m_S^{SO_4^{2-}} = m_S^\Sigma - m_{S^{2-}} = 941,176 - 128,376 = 812,80 \text{ кг} = 0,813 \text{ т};$$
$$n_S^{SO_4^{2-}} = \frac{m_S^{SO_4^{2-}}}{M_{SO_4^{2-}}} = \frac{812\,800}{32} = 25,4 \text{ кмоль} = n_{(NH_4)_2SO_4};$$
$$m_{(NH_4)_2SO_4} = n_{(NH_4)_2SO_4} \cdot M_{(NH_4)_2SO_4} = 25\,400 \cdot 132 = 3\,352,8 \text{ кг} = 3,353 \text{ т}.$$

2 балла

10. Расчёт количества хлорида аммония.

Количество аммиака, связанного с углеродом и серой:

$$n_{NH_3}^{C+S} = 2n_{(NH_4)_2CO_3} + 2n_{(NH_4)_2S} + 2n_{(NH_4)_2SO_4};$$
$$n_{NH_3}^{C+S} = 2 \cdot (3,476 + 4,012 + 25,400) = 65,776 \text{ кмоль}.$$

Количество аммиака, связанного с хлором:

$$n_{NH_3}^{Cl} = n_{NH_3} - n_{NH_3}^{C+S} = 72,882 - 65,776 = 7,106 \text{ кмоль} = n_{NH_4Cl};$$
$$m_{NH_4Cl} = n_{NH_4Cl} \cdot M_{NH_4Cl} = 7\,106 \cdot 53,5 = 380,171 \text{ кг} = 0,38 \text{ т}.$$

2 балла



11. Расчёт состава надсмольной воды:

$$\omega_{(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3} = \frac{m_{(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \% = \frac{0,334}{120} \cdot 100 = 0,28 \%;$$

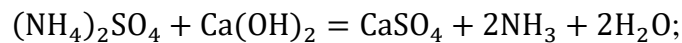
$$\omega_{(\text{NH}_4)_2\text{S}} = \frac{m_{(\text{NH}_4)_2\text{S}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \% = \frac{0,273}{120} \cdot 100 = 0,23 \%;$$

$$\omega_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \% = \frac{3,353}{120} \cdot 100 = 2,79 \%;$$

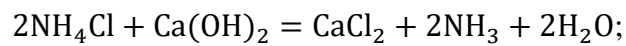
$$\omega_{\text{NH}_4\text{Cl}} = \frac{m_{\text{NH}_4\text{Cl}}}{m_{\text{H}_2\text{O}}} \cdot 100 \% = \frac{0,38}{120} \cdot 100 = 0,32 \%.$$

2 балла

12. Расчёт известкового молока:



$$n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^{(1)} = n_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 25,4 \text{ кмоль};$$



$$n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^{(2)} = 0,5n_{\text{NH}_4\text{Cl}} = 0,5 \cdot 7,106 = 3,553 \text{ кмоль};$$

$$n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^{\Sigma} = n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^{(1)} + n_{\text{Ca}(\text{OH})_2}^{(2)} = 25,4 + 3,553 = 28,953 \text{ кмоль} = n_{\text{CaO}};$$

$$m_{\text{CaO}} = n_{\text{CaO}} \cdot M_{\text{CaO}} = 28,953 \cdot 56 = 1\,621,368 \text{ кг} = 1,621 \text{ т};$$

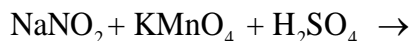
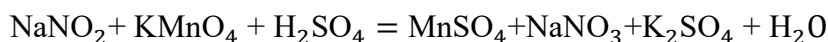
$$m_{\text{CaO}}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{CaO}}}{\omega_{\text{CaO}}} \cdot 100 = \frac{1,621}{10} \cdot 100 = 16,21 \text{ т};$$

$$V_{\text{CaO}}^{\text{p-p}} = \frac{m_{\text{CaO}}^{\text{p-p}}}{d_{\text{CaO}}^{\text{p-p}}} = \frac{16,21 \cdot 10^6}{1,1} = 14,74 \text{ м}^3.$$

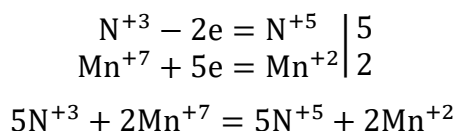
3 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 7****Задание 1 (5 баллов)**

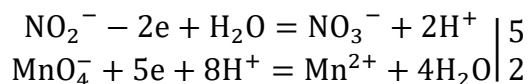
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

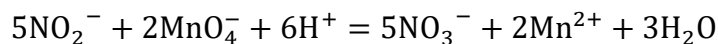
1 балл



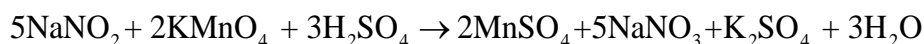
или



2 балла



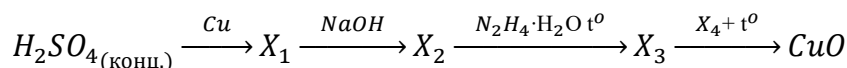
1 балла



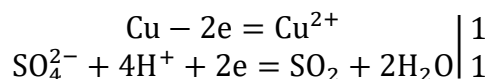
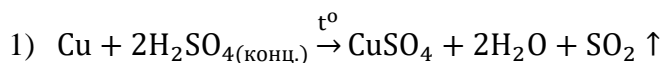
1 балл

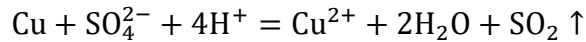
Задание 2 (15 баллов)

Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

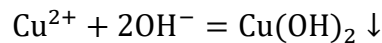
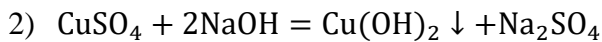


Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

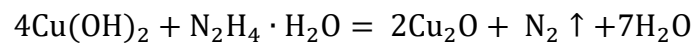
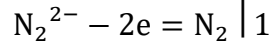
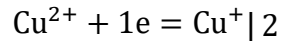
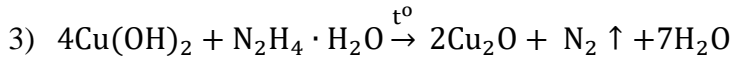
Решение:



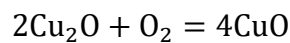
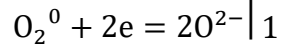
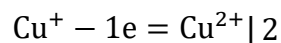
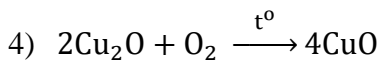
4 балла



3 балла



4 балла

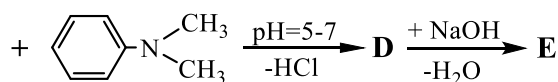
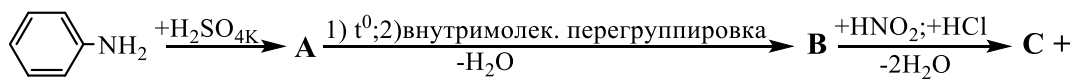


4 балла

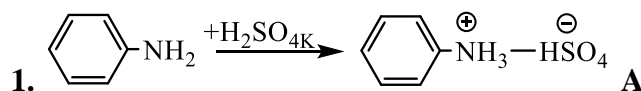
Ответ: $X_1 - \text{CuSO}_4$; $X_2 - \text{Cu(OH)}_2$; $X_3 - \text{Cu}_2\text{O}$; $X_4 - \text{O}_2$.

Задание 3 (15 баллов)

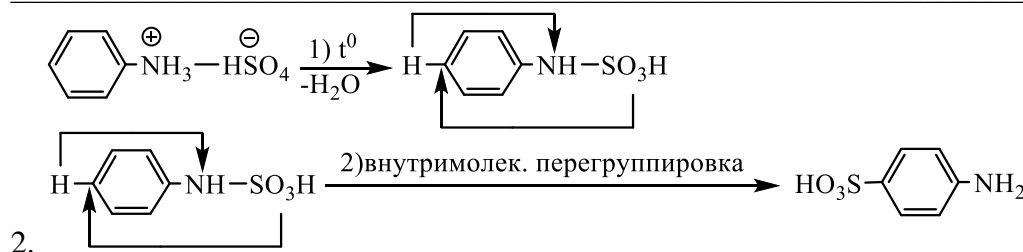
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.



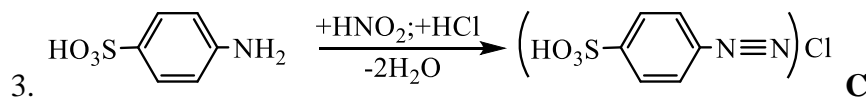
Решение:



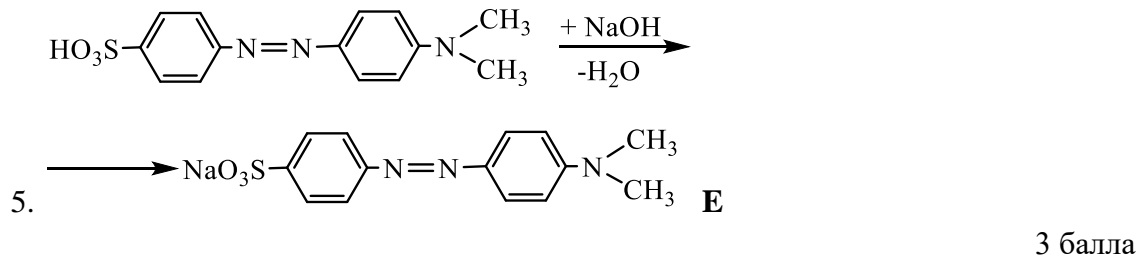
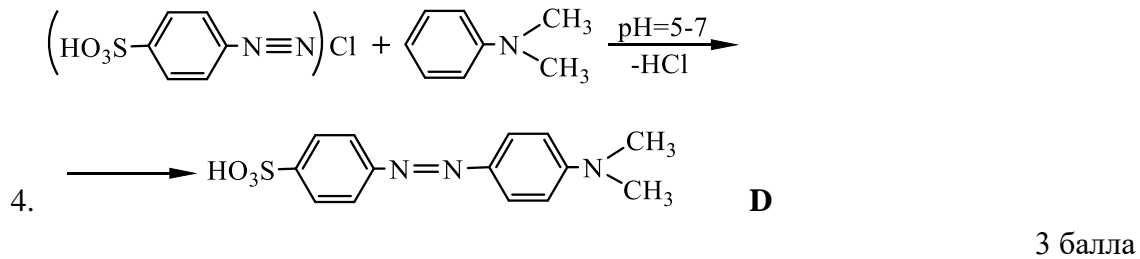
3 балла



3 балла



3 балла



Задание 4 (20 баллов)

Экспериментатор поместил 2,0 г сульфида хрома (III) в раствор гидроксида калия объемом 16,54 мл, плотностью 1,185 г/мл и содержанием KOH 20 %. Полученную взвесь отфильтровали, собранный фильтрат разбавили до 50 мл. Определите молярные концентрации компонентов разбавленного фильтрата.

Решение:

Сульфид хрома взаимодействует со щелочью по реакциям:

- 1) $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 3\text{KOH} + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{KHS}$;
- 2) $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 6\text{KOH} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{K}_2\text{S}$;
- 3) $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 8\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4] + 3\text{K}_2\text{S}$.

4 балла

Определим число моль реагирующих веществ:

$$\nu(\text{Cr}_2\text{S}_3) = \frac{m(\text{Cr}_2\text{S}_3)}{M(\text{Cr}_2\text{S}_3)} = \frac{2,00}{200} = 0,01 \text{ моль};$$

$$\nu(\text{KOH}) = \frac{\rho \cdot V_{\text{р-ра}} \cdot \omega_{\text{KOH}}}{M(\text{KOH}) \cdot 100\%} = \frac{1,185 \cdot 16,54 \cdot 20,0}{56 \cdot 100} = 0,07 \text{ моль}.$$

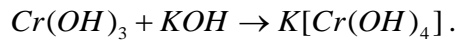
4 балла

Соотношение $\frac{\nu(\text{Cr}_2\text{S}_3)}{\nu(\text{KOH})} = \frac{0,01}{0,07} = \frac{1}{7}$ показывает полное прохождение реакции 2 и частичное реакции 3.

4 балла



По реакции 2 образуется $\nu(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 0,02 \text{ моль}$, $\nu(\text{K}_2\text{S}) = 0,03 \text{ моль}$ и остается $\nu(\text{KOH}) = 0,01 \text{ моль}$, который может растворить $\nu(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 0,01 \text{ моль}$ с образованием $\nu(\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4]) = 0,01 \text{ моль}$ по реакции:



_____ 4 балла

Исходя из вышесказанного, после удаления осадка и разбавления фильтрата в растворе будет находиться K_2S и $\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4]$ с концентрациями:

$$C(\text{K}_2\text{S}) = \frac{\nu(\text{K}_2\text{S})}{V(p - pa)} = \frac{0,03}{0,05} = 0,6 \text{ моль / л};$$

$$C(\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4]) = \frac{\nu(\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4])}{V(p - pa)} = \frac{0,01}{0,05} = 0,2 \text{ моль / л}.$$

_____ 4 балла

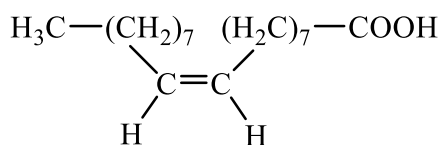
Ответ: $C(\text{K}_2\text{S}) = 0,6 \text{ моль / л}$; $C(\text{K}[\text{Cr}(\text{OH})_4]) = 0,2 \text{ моль / л}$.

Задание 5 (20 баллов)

Данная кислота входит в состав облепихового масла, у неё низкая температура плавления, поэтому на морозе ягоды облепихи остаются мягкими. Рассматриваемая кислота обесцвечивает бромную воду, при этерификации с глицерином образует жидкий жир. В качестве экстрагента-комплексообразователя эта кислота взаимодействует с тяжелыми металлами и используется для промышленного разделения последних. Приведите название кислоты, напишите ее структурную формулу и все уравнения реакций, указанные в условии.

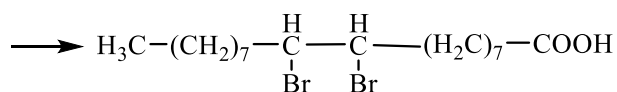
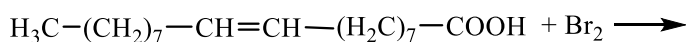
Решение:

Это олеиновая кислота.



_____ 4 балла

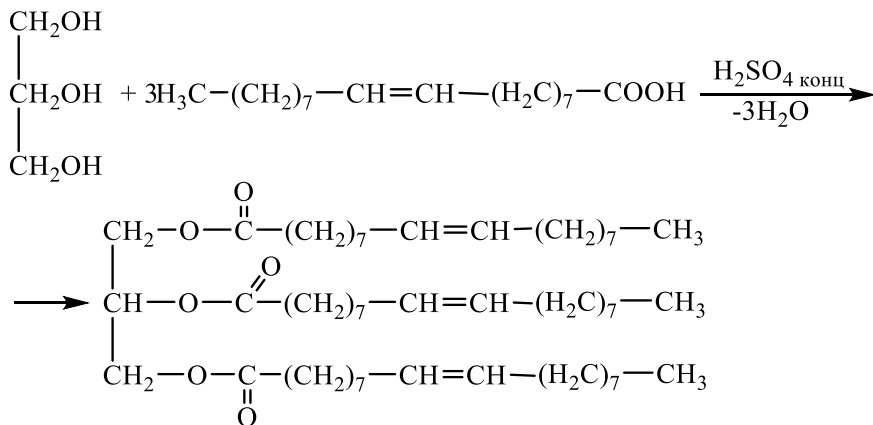
Реакция с бромной водой:



_____ 4 балла

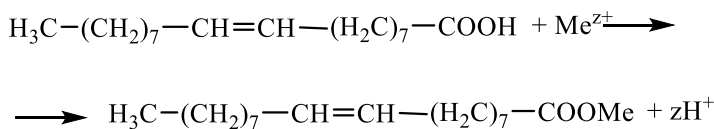


Реакция этерификации с глицерином:



6 баллов

Реакция взаимодействия с тяжелыми металлами:



6 баллов

Задание 6 (25 баллов)

Сульфат аммония и пиридиновые основания получают на коксохимических заводах в сульфатном отделении цеха улавливания. Исходным сырьём служит коксовый газ, содержащий от 7 до 12 г/м³ аммиака и от 0,5 до 0,9 г/м³ пиридина, и регенерированная серная кислота с массовой долей моногидрата 50 %. Выход коксового газа составляет 324 м³ на 1 тонну угля. Количество связываемого в аммиак азота достигает 15 % от его массы в угле, в коксовый газ переходит 80 % от образующегося аммиака. Количество азота, образующего пиридин, составляет 0,16 %. Для выделения сульфата аммония коксовый газ, полученный при коксовании 100 000 т угля с массовой долей азота 2,625 % пропустили сначала через раствор объемом 1 500 м³ с массовой долей по сульфату аммония 40 % и по серной кислоте 30 % (плотность 1,61 г/см³), затем через раствор объемом 2000 м³ с массовой долей по серной кислоте 22 % и сульфату аммония 14 % (плотность 1,23 г/см³). Установите состав второго раствора (массовые доли). Какой объём раствора с массовой долей серной кислоты 22 % (плотность 1,15 г/см³) потребуется для хемосорбции пиридина с образованием кислой и средней соли в мольном отношении 3:1?

Решение:

1. Расчёт коксового газа:

$$V_{\text{Г}} = 324 \cdot 100\,000 = 3,24 \cdot 10^7 \text{ м}^3;$$

$$m_{\text{N}}^{\Sigma} = \frac{\omega_{\text{N}}}{100} \cdot m_{\text{уголь}} = \frac{2,625}{100} \cdot 100\,000 = 2\,625 \text{ т.}$$

2 балла

2. Расчёт количества и концентрации аммиака в коксовом газе:

$$m_{\text{N}}^{\text{NH}_3} = \frac{\omega_{\text{N}}^{\text{NH}_3}}{100} \cdot m_{\text{N}}^{\Sigma} = \frac{15}{100} \cdot 2\,625 = 393,75 \text{ т;}$$



$$n_{\text{N}}^{\text{NH}_3} = \frac{m_{\text{N}}^{\text{NH}_3}}{M_{\text{N}}} = \frac{393,75 \cdot 10^6}{14} = 28,125 \cdot 10^6 \text{ моль} = n_{\text{NH}_3}^{\Sigma};$$

$$m_{\text{NH}_3}^{\Sigma} = n_{\text{NH}_3}^{\Sigma} \cdot M_{\text{NH}_3} = 28,125 \cdot 10^6 \times 17 = 478,125 \text{ т};$$

$$m_{\text{NH}_3}^{\Gamma} = \frac{\omega_{\text{NH}_3}^{\Gamma}}{100} \cdot m_{\text{NH}_3}^{\Sigma} = \frac{80}{100} \cdot 478,125 = 382,5 \text{ т};$$

$$n_{\text{NH}_3}^{\Gamma} = \frac{m_{\text{NH}_3}^{\Gamma}}{M_{\text{NH}_3}} = \frac{382,5 \cdot 10^6}{17} = 22,5 \cdot 10^6 \text{ моль};$$

$$C_{\text{NH}_3}^{\Gamma} = \frac{m_{\text{NH}_3}^{\Gamma}}{V_{\text{r}}} = \frac{382,5 \cdot 10^6}{3,24 \cdot 10^7} = 11,8 \text{ г/м}^3.$$

2 балла

3. Расчёт количества и концентрации пиридина в коксовом газе:

$$m_{\text{N}}^{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} = \frac{\omega_{\text{N}}^{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}}}{100} \cdot m_{\text{N}}^{\Sigma} = \frac{0,16}{100} \cdot 2625 = 4,2 \text{ т};$$

$$n_{\text{N}}^{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} = \frac{m_{\text{N}}^{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}}}{M_{\text{N}}} = \frac{4,2 \cdot 10^6}{14} = 0,3 \cdot 10^6 \text{ моль} = n_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}};$$

$$m_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} = n_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} \cdot M_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} = 0,3 \cdot 10^6 \times 79 = 23,7 \text{ т};$$

$$C_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}} = \frac{m_{\text{C}_5\text{H}_5\text{N}}}{V_{\text{r}}} = \frac{23,7 \cdot 10^6}{3,24 \cdot 10^7} = 0,73 \text{ г/м}^3.$$

2 балла

4. Расчёт поглощающего раствора (1):

$$m_{\text{p-p}}^{(1)} = V_{\text{p-p}}^{(1)} \cdot d_{\text{p-p}}^{(1)} = 1500 \cdot 10^6 \times 1,61 = 2415 \text{ т};$$

$$m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{\omega_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}}{100} \cdot m_{\text{p-p}}^{(1)} = \frac{40}{100} \cdot 2415 = 966 \text{ т};$$

$$n_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = \frac{m_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}}{M_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4}} = \frac{966 \cdot 10^6}{132} = 7,32 \cdot 10^6 \text{ моль};$$

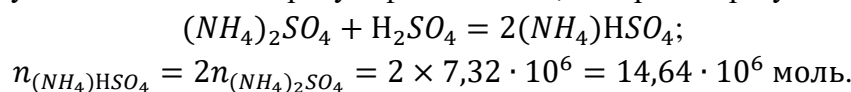
$$m_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{\omega_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{100} \cdot m_{\text{p-p}}^{(1)} = \frac{30}{100} \cdot 2415 = 724,5 \text{ т};$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} = \frac{m_{\text{H}_2\text{SO}_4}}{M_{\text{H}_2\text{SO}_4}} = \frac{724,5 \cdot 10^6}{98} = 7,39 \cdot 10^6 \text{ моль};$$

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4} : n_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 7,39 : 7,32 = 1,01 : 1.$$

2 балла

В растворе будет находиться гидросульфат аммония, который образуется по реакции:



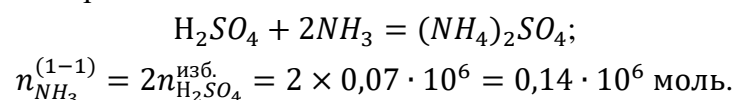
Избыток серной кислоты:

$$n_{\text{H}_2\text{SO}_4}^{\text{изб.}} = n_{\text{H}_2\text{SO}_4} - n_{(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4} = 7,39 \cdot 10^6 - 7,32 \cdot 10^6 = 0,07 \cdot 10^6 \text{ моль}.$$

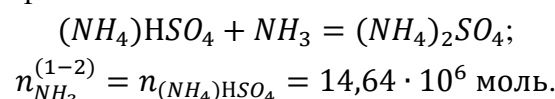
2 балла

5. Расчёт поглощения аммиака раствором (1).

Поглощение аммиака кислым раствором гидросульфата аммония идет с образованием средней соли по реакции с серной кислотой:



По реакции с гидросульфатом аммония:



Общее количество аммиака, поглощенного раствором (1):



$$n_{NH_3}^{(1)} = n_{NH_3}^{(1-1)} + n_{NH_3}^{(1-2)} = 0,14 \cdot 10^6 + 14,64 \cdot 10^6 = 14,78 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

На реакцию с растворами (2) и (3) останется:

$$n_{NH_3}^{k1} = n_{NH_3}^{\Gamma} - n_{NH_3}^{(1)} = 22,5 \cdot 10^6 - 14,78 \cdot 10^6 = 7,72 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

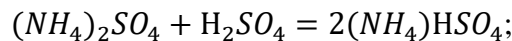
2 балла

6. Расчёт поглощающего раствора (2):

$$\begin{aligned} m_{p-p}^{(2)} &= V_{p-p}^{(2)} \cdot d_{p-p}^{(2)} = 2000 \cdot 10^6 \times 1,23 = 2\,460 \text{ т;} \\ m_{(NH_4)_2SO_4} &= \frac{\omega_{(NH_4)_2SO_4}}{100} \cdot m_{p-p}^{(2)} = \frac{14}{100} \cdot 2\,460 = 344,4 \text{ т;} \\ n_{(NH_4)_2SO_4} &= \frac{m_{(NH_4)_2SO_4}}{M_{(NH_4)_2SO_4}} = \frac{344,4 \cdot 10^6}{132} = 2,61 \cdot 10^6 \text{ моль;} \\ m_{H_2SO_4} &= \frac{\omega_{H_2SO_4}}{100} \cdot m_{p-p}^{(2)} = \frac{22}{100} \cdot 2\,460 = 541,2 \text{ т;} \\ n_{H_2SO_4} &= \frac{m_{H_2SO_4}}{M_{H_2SO_4}} = \frac{541,2 \cdot 10^6}{98} = 5,52 \cdot 10^6 \text{ моль;} \\ n_{H_2SO_4} : n_{(NH_4)_2SO_4} &= 5,52 : 2,61 = 2,1 : 1. \end{aligned}$$

2 балла

В растворе будет находиться гидросульфат аммония, который образуется по реакции:



$$n_{(NH_4)HSO_4} = 2n_{(NH_4)_2SO_4} = 2 \times 2,61 \cdot 10^6 = 5,22 \cdot 10^6 \text{ моль}$$

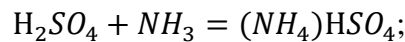
и избыток серной кислоты:

$$n_{H_2SO_4}^{\text{изб.}} = n_{H_2SO_4} - n_{(NH_4)_2SO_4} = 5,52 \cdot 10^6 - 2,61 \cdot 10^6 = 2,91 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

2 балла

7. Расчёт поглощения аммиака раствором (2).

Поглощение аммиака сначала идет с образованием кислой соли по реакции с серной кислотой:



$$n_{NH_3}^{(2-1)} = n_{H_2SO_4}^{\text{изб.}} = 2,91 \cdot 10^6 \text{ моль} = n_{(NH_4)HSO_4}^{(2-1)}.$$

Общее количество гидросульфата натрия в растворе составит:

$$n_{(NH_4)HSO_4}^{\Sigma} = n_{(NH_4)HSO_4} + n_{(NH_4)HSO_4}^{(2-1)} = 5,22 \cdot 10^6 + 2,91 \cdot 10^6 = 8,13 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

Остаточное количество аммиака:

$$n_{NH_3}^{\text{ост.}} = n_{NH_3}^{k1} - n_{NH_3}^{(1-1)} = 7,72 \cdot 10^6 - 2,91 \cdot 10^6 = 4,81 \cdot 10^6 \text{ моль.}$$

будет взаимодействовать с гидросульфатом аммония с образованием средней соли:



$$n_{NH_3}^{(2-2)} = n_{(NH_4)HSO_4}^{(2-2)} = 4,81 \cdot 10^6 \text{ моль} = n_{(NH_4)_2SO_4}^{(2-2)}.$$

2 балла

После расходования всего аммиака в растворе будут присутствовать сульфат аммония:

$$n_{(NH_4)_2SO_4}^{(2-2)} = 4,81 \cdot 10^6 \text{ моль;} \\ m_{(NH_4)_2SO_4}^{(2-2)} = n_{(NH_4)_2SO_4}^{(2-2)} \cdot M_{(NH_4)_2SO_4} = 4,81 \cdot 10^6 \times 132 = 634,92 \text{ т}$$

и гидросульфат аммония:

$$\begin{aligned} n_{(NH_4)HSO_4}^{k2} &= n_{(NH_4)HSO_4}^{\Sigma} - n_{(NH_4)HSO_4}^{(2-2)} = 8,13 \cdot 10^6 - 4,81 \cdot 10^6 = 3,32 \cdot 10^6 \text{ моль;} \\ m_{(NH_4)HSO_4}^{k2} &= n_{(NH_4)HSO_4}^{k2} \cdot M_{(NH_4)HSO_4} = 3,32 \cdot 10^6 \times 115 = 381,8 \text{ т.} \end{aligned}$$



2 балла

8. Расчёт конечного состава раствора (2).

Масса аммиака, поглощённого раствором 2:

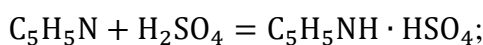
$$m_{NH_3}^{k1} = n_{NH_3}^{k1} \cdot M_{NH_3} = 7,72 \cdot 10^6 \times 17 = 131,24 \text{ т.}$$

Масса раствора (2) после реакции с аммиаком:

$$m_{p-p}^{(2)-k} = m_{p-p}^{(2)} + m_{NH_3}^{k1} = 2460 + 131,24 = 2591,24 \text{ т;}$$
$$\omega_{(NH_4)_2SO_4} = \frac{m_{(NH_4)_2SO_4}}{m_{p-p}^{(2)-k}} \cdot 100 \% = \frac{634,92}{2591,24} \cdot 100 = 24,50 \%;$$
$$\omega_{(NH_4)HSO_4} = \frac{m_{(NH_4)HSO_4}^{k2}}{m_{p-p}^{(2)-k}} \cdot 100 \% = \frac{381,8}{2591,24} \cdot 100 = 14,73 \%.$$

2 балла

9. Расчёт сорбции пиридина:



$$n_{C_5H_5N} = n_{H_2SO_4} = n_{C_5H_5NH \cdot HSO_4} = n_{R1};$$



После образования кислой соли останется пиридина:

$$n_{R2} = n_i - n_{R1} = n_{(C_5H_5NH)_2SO_4};$$
$$\frac{n_{C_5H_5NH \cdot HSO_4}}{n_{(C_5H_5NH)_2SO_4}} = \frac{n_{R1}}{n_i - n_{R1}} = 3.$$

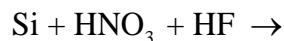
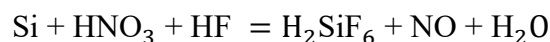
Тогда:

$$n_{R1} = \frac{3}{4} n_{C_5H_5N} = \frac{3 \times 0,3 \cdot 10^6 \text{ моль}}{4} = 0,225 \cdot 10^6 \text{ моль;}$$
$$m_{H_2SO_4} = n_{H_2SO_4} \cdot M_{H_2SO_4} = 0,225 \cdot 10^6 \times 98 = 22,05 \text{ т;}$$
$$m_{H_2SO_4}^{p-p} = \frac{m_{H_2SO_4}}{\omega_{H_2SO_4}} \cdot 100 = \frac{22,05}{22} \cdot 100 = 100,23 \text{ т;}$$
$$V_{H_2SO_4}^{p-p} = \frac{m_{H_2SO_4}^{p-p}}{d_{H_2SO_4}^{p-p}} = \frac{100,23 \cdot 10^6}{1,15} = 87,16 \text{ м}^3.$$

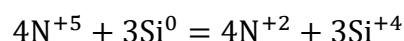
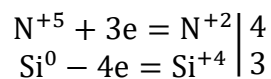
3 балла

**ХИМИЯ****ВАРИАНТ 8****Задание 1 (5 баллов)**

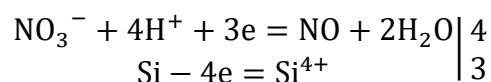
Для предложенной окислительно-восстановительной реакции определить продукты. Реакцию уравнять, пользуясь методом электронного баланса или методом полуреакций. Реакцию записать в молекулярной и, для реакции, протекающей в растворе, сокращенной ионной форме:

**Решение:**

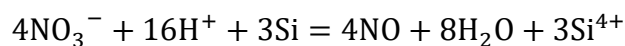
1 балл



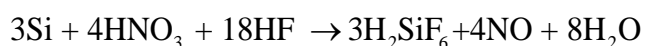
или



2 балла



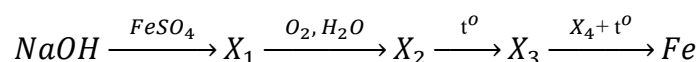
1 балла



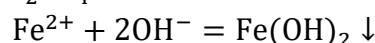
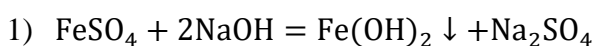
1 балл

Задание 2 (15 баллов)

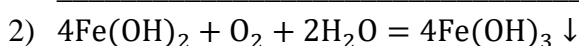
Напишите уравнения реакций, при помощи которых можно осуществить следующие химические превращения, определите неизвестные вещества:

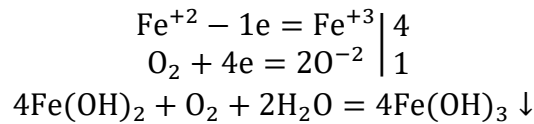


Все реакции следует уравнивать, представить в молекулярной и, для реакций, протекающих в растворе, сокращенной ионной форме. При уравнивании окислительно-восстановительных реакций воспользоваться методом электронного баланса или методом полуреакций.

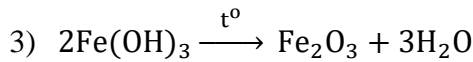
Решение:

4 балла

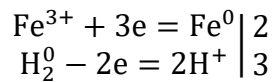
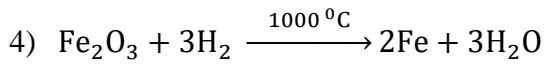




4 балла



3 балла



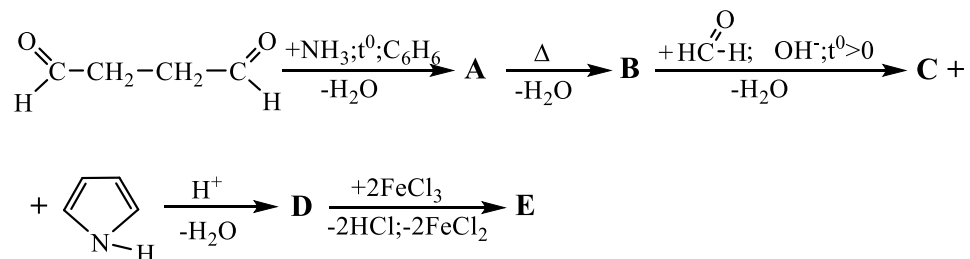
4 балла

Ответ: $X_1 - \text{Fe}(\text{OH})_2$; $X_2 - \text{Fe}(\text{OH})_3$; $X_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3$; $X_4 - \text{H}_2$.

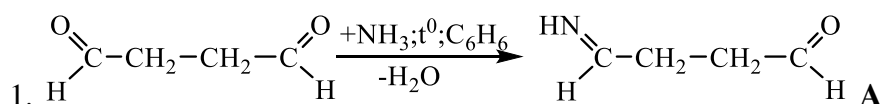
Примечание: по реакции 4 железо можно восстановить другими восстановителями, например, углеродом и др.

Задание 3 (15 баллов)

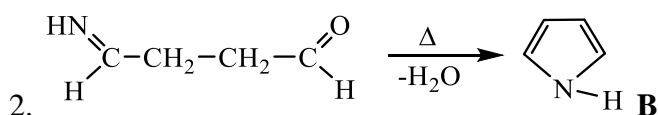
Составить цепочку химических превращений с неизвестными продуктами по приведенному описанию. Реакции уравнивать и указать условия их протекания.



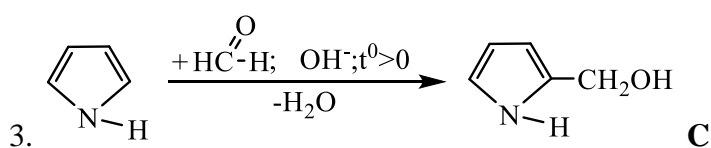
Решение



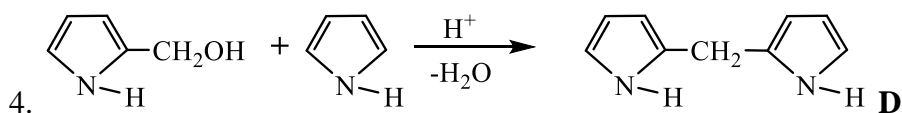
3 балла



3 балла

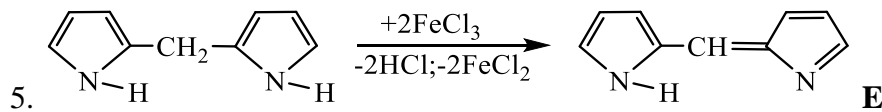


3 балла





3 балла



3 балла

Задание 4 (20 баллов)

Экспериментатор пропустил смесь газов, состоящую из водорода и азота над нагретым катализатором. До пропускания над катализатором средняя молярная масса смеси была меньше молярной массы гелия. Судя по запаху, образовался аммиак, а средняя молярная масса новой смеси газов стала больше молярной массы гелия. Сравнив практический выход газа с теоретическим, экспериментатор обнаружил, что она составляет 60 %. Определите области возможных объемных концентраций азота в исходной и конечной смесях, при которых описанные выше условия будут соблюдены.

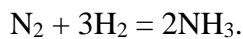
Решение:

Пусть в исходной смеси было $\nu(N_2) = y$ моль и $\nu(H_2) = x$ моль, средняя молярная масса смеси меньше молярной массы гелия, тогда:

$$M_{cp} = \frac{(M_{N_2} \cdot x + M_{H_2} \cdot y)}{(x + y)} < M_{He} \Rightarrow \frac{(28 \cdot x + 2 \cdot y)}{(x + y)} < 4 \Rightarrow x < 12y.$$

3 балла

Реакция на катализаторе:



1 балла

В реакцию вступило $\nu(N_2) = 0,6 \cdot y$ моль и $\nu(H_2) = 3 \cdot 0,6 \cdot y = 1,8 \cdot y$ моль, образовалось $\nu(NH_3) = 0,6 \cdot y \cdot 2 = 1,2 \cdot y$ моль, тогда в состоянии равновесия:

$$\nu(N_2) = y - 0,6 \cdot y = 0,4 \cdot y \text{ моль и } \nu(H_2) = x - 1,8 \cdot y \text{ моль, } \nu(NH_3) = 1,2 \cdot y \text{ моль,}$$

тогда общее число моль в состоянии равновесия:

$$\nu_{общее} = \nu(N_2) + \nu(H_2) + \nu(NH_3) = (x - 1,8y) + (0,4y) + 1,2y = x - 0,2y.$$

4 балла

Средняя молярная масса равновесной смеси должна быть больше молярной массы He, следовательно:

$$M_{cp} = \frac{(2 \cdot x + 28 \cdot y)}{(x - 0,2 \cdot y)} > 4 \Rightarrow x < 14,4 \cdot y.$$

3 балла



Исходя из условий средней молярной массы до и после реакции получаем граничные условия:

$$12 \cdot y < x < 14,4 \cdot y.$$

Тогда мольная доля азота:

$$\chi_{N_2}(\text{исходная}) = \frac{y}{x+y};$$

$$\chi_{N_2}(\text{равновес.}) = \frac{0,4y}{x-0,2y}.$$

_____ 5 балла

Подставим полученные мольные доли в граничные условия:

$$0,0649 = \frac{1}{15,4} < \chi_{N_2}(\text{исходная}) < \frac{1}{13} = 0,0769;$$

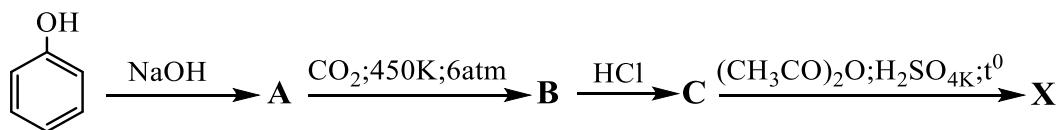
$$0,0282 = \frac{0,4}{14,2} < \chi_{N_2}(\text{равновес.}) < \frac{0,4}{11,8} = 0,0339.$$

_____ 4 балла

Ответ: для исходной смеси - $0,0649 < \chi_{N_2}(\text{исходная}) < 0,0769$, для конечной смеси - $0,0282 < \chi_{N_2}(\text{равновес.}) < 0,0339$.

Задание 5 (20 баллов)

Фенол является продуктом многотоннажного производства и используется для синтеза ряда важных веществ. Так, в результате следующего синтеза получается вещество X – основа многих лекарственных препаратов:



Вещество C может быть получено окислением вещества Y, содержащего 26,20% кислорода по массе. Под действием щелочи Y превращается в эквимольную смесь Y₁ и Y₂. В слабокислой среде вещество Y превращается в Y₃, массовая доля кислорода в котором составляет 21,22%. В структуре Y₃ содержится четыре шестичленных цикла.

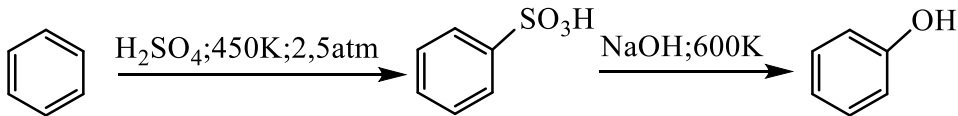
- Как получали ранее и как получают сейчас фенол в промышленности?
- Расшифруйте приведенную схему превращений и изобразите структурные формулы веществ A, B, C и X.
- Приведите структурные формулы соединений Y, Y₁, Y₂ и Y₃ и схемы превращений с их участием, описанные в задании.



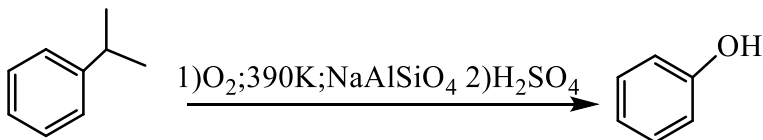
d) Действие на **Y** водного раствора **FeCl₃** приводит к появлению фиолетово-красного окрашивания. Поясните результаты опыта, если продукт этой реакции разделим на энантиомеры.

Решение:

a) Фенол получали ранее в основном по схеме:

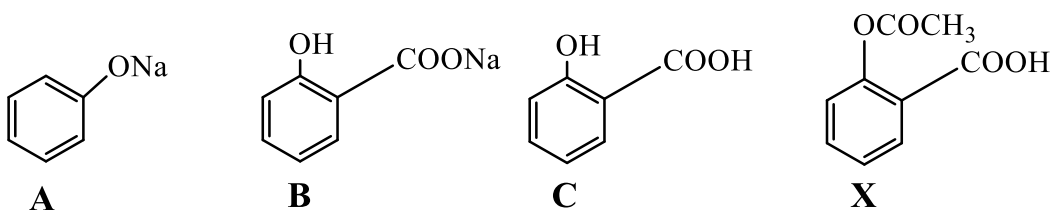


В настоящее время более распространен кумольный метод:



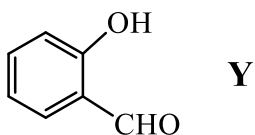
4 балла

b) Буквами зашифрованы:



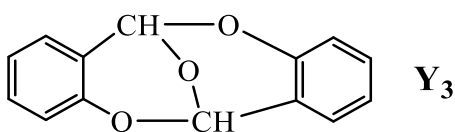
8 баллов

c) Поскольку окисление **Y** приводит к **C**, то молекулярная формула: **C₇H₆O₂**, а структура:



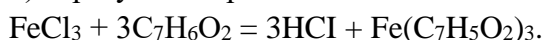
В щелочной среде оксальдегид вступает в реакцию Канницаро, образуя эквимольную смесь спирта и соли карбоновой кислоты (**Y₁** и **Y₂**):

В слабокислой среде из **Y** образуется ацеталь **Y₃**, что подтверждается данными по массовой доле кислорода:



5 баллов

d) В результате реакции:



Образуется хелатный комплекс, придающий раствору окрашивание. Три бидентантных лиганда делают возможным существование энантиомеров.

3 балла

Задание 6 (25 баллов)

Синтез метанола в промышленности в настоящее время проводится из синтез-газа, который получают методом паро-углекислотной конверсии, основанной на взаимодействии метана а) с

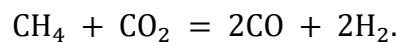


углекислым газом и б) с водяным паром. При взаимодействии метана со стехиометрическим количеством углекислого газа объём реакционной смеси возрастает в 3,8 раза по отношению к количеству взятого диоксида углерода. В результате реакции метана с трёхкратным избытком водяного пара при температуре 800 °С и давлении 30 атм. общий объём реакционной смеси увеличивается в 5,8 раза по отношению к исходному объёму метана. По окончании образования синтез-газа полученную газовую смесь охлаждают, отделяют пары воды и направляют на каталитический синтез метанола, протекающий при давлении 10 МПа и 350 °С. При синтезе метанола объём газа увеличивается в 2,4 раза по отношению к взятому количеству угарного газа. При синтезе метанола (объём приведён к н.у.) из 12 500 м³ метана, 30 000 м³ паров воды и 2 500 м³ углекислого газа рассчитайте состав газовой смеси после конверсии метана, вычислите массу метанола и воды.

Решение:

1. Расчёт реакции метана с углекислым газом.

Уравнение реакции:



Взято на реакцию:

$$n_{\text{CH}_4}^{i1} = n_{\text{CO}_2}^i = n^i \text{ моль.}$$

Прореагировало:

$$n_{\text{CH}_4}^{R1} = n_{\text{CO}_2}^R = \alpha_1 n^i \text{ моль.}$$

Образовалось:

$$n_{\text{CO}}^{(1)} = n_{\text{H}_2}^{(1)} = 2\alpha_1 n^i \text{ моль.}$$

Остаток:

$$n_{\text{CH}_4}^{k1} = n_{\text{CO}_2}^{k1} = n^i - \alpha_1 n^i \text{ моль.}$$

Общее количество вещества газов после реакции:

$$n_{\Sigma 1} = n_{\text{CO}}^{(1)} + n_{\text{H}_2}^{(1)} + n_{\text{CH}_4}^{k1} + n_{\text{CO}_2}^{k1} = 2 \cdot 2\alpha_1 n^i + 2 \cdot (n^i - \alpha_1 n^i) = 2n^i(1 + \alpha_1) = 3,8n^i.$$

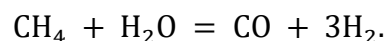
Степень превращения оксида углерода (IV) в синтез-газ:

$$\alpha_1 = \frac{3,8}{2} - 1 = 0,9.$$

4 балла

2. Расчёт реакции метана с водяным паром.

Уравнение реакции:



Взято на реакцию:

$$n_{\text{CH}_4}^{i2} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3} = n^i \text{ моль ;}$$



$$n_{\text{H}_2\text{O}}^i = 3n_{\text{CH}_4}^{i2} = 3n^i \text{ моль.}$$

Прореагировало:

$$n_{\text{CH}_4}^{R2} = n_{\text{H}_2\text{O}}^R = \alpha_2 n^i \text{ моль.}$$

Образовалось:

$$n_{\text{CO}}^{(2)} = n_{\text{CH}_4}^{R2} = \alpha_2 n^i \text{ моль;}$$

$$n_{\text{H}_2}^{(2)} = 3n_{\text{CH}_4}^{R2} = 3\alpha_2 n^i \text{ моль.}$$

Остаток:

$$n_{\text{CH}_4}^{k2} = n^i - \alpha_2 n^i \text{ моль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^{k2} = 3n^i - \alpha_2 n^i \text{ моль.}$$

Общее количество вещества газов после реакции:

$$n_{\Sigma 2} = n_{\text{CO}}^{(2)} + n_{\text{H}_2}^{(2)} + n_{\text{CH}_4}^{k2} + n_{\text{H}_2\text{O}}^{k2} = 4\alpha_2 n^i + 3n^i - 2\alpha_2 n^i = n^i(4 + 2\alpha_2) = 5,8n^i.$$

4 балла

Степень превращения метана в синтез-газ:

$$\alpha_2 = \frac{5,8 - 4}{2} = 0,9.$$

2 балла

3. Расчет состава газовой смеси после конверсии метана.

Взято на конверсию:

$$n_{\text{CH}_4}^i = \frac{V_{\text{CH}_4}^i}{V_M} = \frac{12\,500 \cdot 10^3}{22,4} = 558,036 \text{ кмоль;}$$

$$n_{\text{CO}_2}^i = \frac{V_{\text{CO}_2}^i}{V_M} = \frac{2\,500 \cdot 10^3}{22,4} = 111,607 \text{ кмоль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^i = \frac{V_{\text{H}_2\text{O}}^i}{V_M} = \frac{30\,000 \cdot 10^3}{22,4} = 1339,286 \text{ кмоль.}$$

Вступило в реакцию:

$$n_{\text{CH}_4}^i = n_{\text{CH}_4}^{i1} + n_{\text{CH}_4}^{i2} = n_{\text{CO}_2}^i + \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3}.$$

Прореагировало:

$$n_{\text{CH}_4}^R = n_{\text{CH}_4}^{R1} + n_{\text{CH}_4}^{R2} = \alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i + \alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3};$$

$$n_{\text{CO}_2}^R = n_{\text{CH}_4}^{R1} = \alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i;$$



$$n_{\text{H}_2\text{O}}^R = n_{\text{CH}_4}^{R2} = \alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3}.$$

Образовалось:

$$n_{\text{CO}} = n_{\text{CO}}^{(1)} + n_{\text{CO}}^{(2)} = 2\alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i + \alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3};$$

$$n_{\text{CO}} = 2 \cdot 0,9 \cdot 111,607 + 0,9 \cdot \frac{1339,286}{3} = 602,678 \text{ кмоль.}$$

$$n_{\text{H}_2} = n_{\text{H}_2}^{(1)} + n_{\text{H}_2}^{(2)} = 2\alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i + 3\alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3} = 2\alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i + \alpha_2 n_{\text{H}_2\text{O}}^i;$$

$$n_{\text{H}_2} = 2 \cdot 0,9 \cdot 111,607 + 0,9 \cdot 1339,286 = 1406,250 \text{ кмоль.}$$

4 балла

Остаток:

$$n_{\text{CH}_4}^k = n_{\text{CH}_4}^i - n_{\text{CH}_4}^R = n_{\text{CH}_4}^i - \alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i + \alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3} = 558,036 \cdot (1 - 0,9) = 55,804 \text{ кмоль;}$$

$$n_{\text{CO}_2}^k = n_{\text{CO}_2}^i - n_{\text{CO}_2}^R = n_{\text{CO}_2}^i - \alpha_1 n_{\text{CO}_2}^i = 111,607 \cdot (1 - 0,9) = 11,161 \text{ кмоль;}$$

$$n_{\text{H}_2\text{O}}^k = n_{\text{H}_2\text{O}}^i - n_{\text{H}_2\text{O}}^R = n_{\text{H}_2\text{O}}^i - \alpha_2 \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^i}{3} = 1339,286 \cdot \left(1 - \frac{0,9}{3}\right) = 937,500 \text{ кмоль;}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = n_{\text{H}_2\text{O}} \cdot M_{\text{H}_2\text{O}} = 937,500 \cdot 10^3 \cdot 18 = 24,107 \text{ т.}$$

Общее количество вещества:

$$n_{\Sigma} = n_{\text{CH}_4}^k + n_{\text{CO}_2}^k + n_{\text{H}_2\text{O}}^k + n_{\text{CO}} + n_{\text{H}_2};$$

$$n_{\Sigma} = 55,804 + 11,161 + 937,500 + 602,678 + 1406,250 = 3013,393 \text{ кмоль.}$$

2 балла

Расчёт мольных (объёмных) долей компонентов газовой смеси:

$$x_{\text{CH}_4} = \frac{n_{\text{CH}_4}^k}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{55,804}{3013,393} \cdot 100 = 1,58 \%;$$

$$x_{\text{CO}_2} = \frac{n_{\text{CO}_2}^k}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{11,161}{3013,393} \cdot 100 = 0,37 \%;$$

$$x_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{n_{\text{H}_2\text{O}}^k}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{937,500}{3013,393} \cdot 100 = 31,10 \%;$$

$$x_{\text{CO}} = \frac{n_{\text{CO}}}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{602,678}{3013,393} \cdot 100 = 20,00 \%;$$

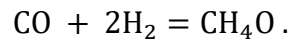
$$x_{\text{H}_2} = \frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\Sigma}} \cdot 100 \% = \frac{1406,250}{3013,393} \cdot 100 = 46,67 \%.$$

2 балла



4. Расчёт реакции синтеза метанола.

Уравнение реакции:



По стехиометрии:

$$\frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{CO}}} = 2.$$

Взято на реакцию:

$$\frac{n_{\text{H}_2}}{n_{\text{CO}}} = \frac{1406,250}{602,678} = 2,3,$$

что соответствует стехиометрическому соотношению; расчёт по угарному газу.

Прореагировало:

$$n_{\text{CO}}^R = \alpha_3 n_{\text{CO}};$$

$$n_{\text{H}_2}^R = 2\alpha_3 n_{\text{CO}}.$$

Образовалось:

$$n_{\text{CH}_4\text{O}} = n_{\text{CO}}^R = \alpha_3 n_{\text{CO}}.$$

Остаток:

$$n_{\text{CO}}^k = n_{\text{CO}} - n_{\text{CO}}^R = n_{\text{CO}} - \alpha_3 n_{\text{CO}};$$

$$n_{\text{H}_2}^k = n_{\text{H}_2} - n_{\text{H}_2}^R = 2,3n_{\text{CO}} - 2\alpha_3 n_{\text{CO}}.$$

2 балла

Общее количество вещества газов после реакции:

$$\begin{aligned} n_{\Sigma} &= n_{\text{CH}_4\text{O}} + n_{\text{CO}}^k + n_{\text{H}_2}^k = \alpha_3 n_{\text{CO}} + n_{\text{CO}} - \alpha_3 n_{\text{CO}} + 2,3n_{\text{CO}} - 2\alpha_3 n_{\text{CO}} = \\ &= n_{\text{CO}}(3,3 - 2\alpha_3) = 2,4n_{\text{CO}}. \end{aligned}$$

Степень превращения оксида углерода (II) в метанол:

$$\alpha_3 = \frac{3,3 - 2,4}{2} = 0,45.$$

Тогда:

$$n_{\text{CH}_4\text{O}} = \alpha_3 n_{\text{CO}} = 0,45 \cdot 602,678 = 271,205 \text{ кмоль};$$

$$m_{\text{CH}_4\text{O}} = n_{\text{CH}_4\text{O}} \cdot M_{\text{CH}_4\text{O}} = 271,205 \cdot 10^3 \cdot 32 = 8,679 \text{ т}.$$

3 балла