



МАТЕРИАЛЫ ЗАДАНИЙ

***олимпиады школьников
«ЛОМОНОСОВ»
по химии***

2014/2015 учебный год

Варианты и решения
заданий заочного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 10-11 классов
(ноябрь)

Задание 1

1.1. Объясните, почему уксусная кислота имеет более высокую температуру кипения (118°C), чем этиловый эфир уксусной кислоты (77°C). **(6 баллов)**

Решение. В уксусной кислоте между молекулами образуются водородные связи, которые отсутствуют в этиловом эфире уксусной кислоты. Жидкие вещества, между молекулами которых имеются водородные связи, отличаются повышенными температурами кипения.

1.2. Объясните, почему уксусная кислота имеет более высокую температуру кипения (118°C), чем метиловый эфир уксусной кислоты (57°C). **(6 баллов)**

Решение. В уксусной кислоте между молекулами образуются водородные связи, которые отсутствуют в метиловом эфире уксусной кислоты. Жидкие вещества, между молекулами которых имеются водородные связи, отличаются повышенными температурами кипения.

1.3. Объясните, почему этанол имеет более высокую температуру кипения (78°C), чем диэтиловый эфир (36°C). **(6 баллов)**

Решение. В спирте между молекулами образуются водородные связи, которые отсутствуют в простом эфире. Жидкие вещества, между молекулами которых имеются водородные связи, отличаются повышенными температурами кипения.

1.4. Объясните, почему этанол имеет более высокую температуру кипения (78°C), чем этиловый эфир муравьиной кислоты (54°C). **(6 баллов)**

Решение. В спирте между молекулами образуются водородные связи, которые отсутствуют в сложном эфире. Жидкие вещества, между молекулами которых имеются водородные связи, отличаются повышенными температурами кипения.

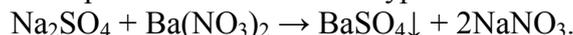
Задание 2

2.1. Рассчитайте объём 10%-ного раствора нитрата бария плотностью 1.1 г/мл, который необходимо добавить к 200 г 5%-ного раствора сульфата натрия для получения раствора нитрата бария с массовой долей 2%. **(6 баллов)**

Решение. Исходный раствор содержит сульфат натрия:

$$m(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 200 \cdot 0.05 = 10 \text{ г},$$
$$v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 10 / 142 = 0.07 \text{ моль}.$$

Первая порция нитрата бария, добавляемая к данному раствору, необходима для полного осаждения сульфата бария в соответствии с уравнением:



$$v(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = v(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.07 \text{ моль},$$

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 261 \cdot 0.07 = 18.27 \text{ г},$$

$$m(\text{р-ра Ba}(\text{NO}_3)_2) = 18.2 / 0.1 = 182.7 \text{ г},$$

$$V_1(\text{р-ра}) = \frac{m}{\rho} = \frac{182.7}{1.1} = 166.1 \text{ мл}.$$

Общая масса раствора, получившегося при добавлении первой порции нитрата бария, составит:

$$m = 200 + m(\text{р-ра Ba}(\text{NO}_3)_2) - m(\text{BaSO}_4) = 200 + 182.7 - 0.07 \cdot 233 =$$
$$= 200 + 182.7 - 16.31 = 366.4 \text{ г}.$$

К полученному раствору нужно добавить еще некоторый объем раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, чтобы получить 2%-ный раствор $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Пусть V_2 (мл) – объем раствора, который нужно добавить, тогда его масса составляет

$$m(\text{р-ра Ba}(\text{NO}_3)_2) = \rho \cdot V = 1.1V_2 \text{ (г)},$$

а масса чистой соли в нем равна

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.1 \cdot 1.1V_2 = 0.11V_2 \text{ (г)}.$$

$$\omega = m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) / m(\text{р-ра}) = 0.11V_2 / (366.4 + 0.11V_2) = 0.02,$$

$$0.11V_2 = 7.328 + 0.022V_2,$$

$$0.088V_2 = 7.328,$$

$$V_2 = 83.3 \text{ мл}.$$

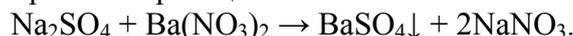
Общий объем 10%-ного раствора нитрата бария:

$$V = V_1 + V_2 = 166.1 + 83.3 = 249.4 \text{ мл}.$$

Ответ: 249.4 мл.

2.2. Рассчитайте объём 10%-ного раствора нитрата бария плотностью 1.1 г/мл, который необходимо добавить к 200 г 5%-ного раствора сульфата натрия для получения раствора нитрата натрия с массовой долей 3%. **(6 баллов)**

Решение. В растворе протекает реакция:



Пусть необходимо добавить x моль нитрата бария, тогда в осадок выпадет x моль BaSO_4 и образуется $2x$ моль нитрата натрия, масса которого составит

$$m(\text{NaNO}_3) = v \cdot M = 2x \cdot 85 = 170x \text{ (г)},$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + m(\text{р-ра Ba}(\text{NO}_3)_2) - m(\text{BaSO}_4) = 200 + 261x / 0.1 - 233x = 200 + 2377x \text{ (г)}.$$

По условию задачи:

$$\omega(\text{NaNO}_3) = m(\text{NaNO}_3) / m(\text{р-ра}) = 0.03,$$

$$170x / (200 + 2377x) = 0.03,$$

$$98.69x = 6,$$

$$x = 0.06 \text{ моль}.$$

$$m(\text{Ba}(\text{NO}_3)_2) = 0.06 \cdot 261 = 15.66 \text{ г},$$

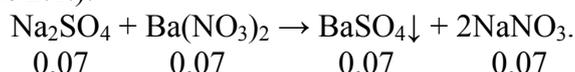
$$m(\text{р-ра Ba}(\text{NO}_3)_2) = 15.66 / 0.1 = 156.6 \text{ г}.$$

Тогда искомый объем 10%-ного раствора нитрата бария составит

$$V = m / \rho = 156.6 / 1.1 = 142.4 \text{ мл.}$$

Ответ: 142.4 мл.

Интересно, что у этой задачи существует и второе, альтернативное решение. Дело в том, что раствор нитрата калия с концентрацией 3% может быть получен не только при добавлении недостатка осадителя $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, но и при добавлении его избытка по отношению к сульфату натрия, который имеется в растворе в количестве 0.07 моль. Для полного осаждения BaSO_4 нужно 182.7 г раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, при этом общая масса раствора составит 366.4 г (см. расчет в задаче 2.1.):



Если добавить еще m (г) раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, масса NaNO_3 в растворе не изменится:

$$m(\text{NaNO}_3) = 2 \cdot 0.07 \cdot 85 = 11.9 \text{ г,}$$

а общая масса раствора увеличится до $(366.4 + m)$ г.

$$0.03 = \frac{11.9}{366.4 + m},$$
$$m = 30.6 \text{ г.}$$

Чтобы получить раствор с концентрацией 3%, нужно еще добавить 30.3 г раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$. Суммарная масса добавленного раствора $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$ составит

$$m(\text{р-ра}) = 182.7 + 30.3 = 213 \text{ г,}$$

его объем равен

$$V = 213 / 1.1 = 193.6 \text{ мл.}$$

Ответ: 193.6 мл.

2.3. Рассчитайте объём 25%-ного раствора соляной кислоты плотностью 1.1 г/мл, который необходимо добавить к 150 г 1.84%-ного раствора карбоната калия для получения раствора соляной кислоты с массовой долей 3%. **(6 баллов)**

Решение. Исходный раствор содержит карбонат калия:

$$m(\text{K}_2\text{CO}_3) = 150 \cdot 0.0184 = 2.76 \text{ г,}$$
$$v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2.76 / 138 = 0.02 \text{ моль.}$$

В растворе протекает реакция:



Для нейтрализации 0.02 моль карбоната калия необходимо 0.04 моль HCl .

$$m(\text{HCl}) = 0.04 \cdot 36.5 = 1.46 \text{ г,}$$
$$m(\text{р-ра HCl}) = 1.46 / 0.25 = 5.84 \text{ г.}$$

Тогда масса полученного раствора:

$$m_1(\text{р-ра}) = 150 + m(\text{р-ра HCl}) - m(\text{CO}_2) = 150 + 5.84 - 0.02 \cdot 44 =$$
$$= 155.84 - 0.88 = 154.96 \text{ г.}$$

К полученному раствору нужно добавить еще некоторый объем 25%-ного раствора HCl , содержащий x моль HCl :

$$\omega(\text{HCl}) = m(\text{HCl}) / m_2(\text{р-ра}) = 36.5x / (154.96 + 36.5x / 0.25) = 36.5x / (154.96 + 146x) = 0.03,$$
$$36.5x = 4.38x + 4.6488,$$
$$32.12x = 4.6488,$$
$$x = 0.145 \text{ моль,}$$

Следовательно, всего необходимо добавить объем 25%-ного раствора HCl , который будет содержать $0.04 + 0.145 = 0.185$ моль HCl :

$$V = m / \rho = 0.185 \cdot 36.5 / (0.25 \cdot 1.1) = 24.55 \text{ мл.}$$

Ответ: 24.55 мл.

2.4. Рассчитайте объём 25%-ного раствора соляной кислоты плотностью 1.1 г/мл, который необходимо добавить к 150 г 1.84%-ного раствора карбоната калия для получения раствора хлорида калия с массовой долей 1.5%. **(6 баллов)**

Решение. В растворе протекает реакция:



Необходимо добавить объём раствора HCl, содержащий x моль HCl, масса этого раствора составит

$$m(\text{р-ра HCl}) = 36.5x / 0.25 = 146x \text{ (г)},$$

Тогда масса получившегося раствора равна

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{р-ра K}_2\text{CO}_3) + m(\text{р-ра HCl}) - m(\text{CO}_2) = 150 + 146x - 0.5x \cdot 44 = (150 + 124x) \text{ г.}$$

По условию задачи:

$$\omega(\text{KCl}) = m(\text{KCl}) / m(\text{р-ра}) = 74.5x / (150 + 124x) = 0.015,$$

отсюда

$$74.5x = 2.25 + 1.86x,$$

$$72.64x = 2.25,$$

$$x = 0.03 \text{ моль.}$$

Следовательно, необходимо добавить объём V соляной кислоты, которая будет содержать 0.03 моль HCl:

$$V = m / \rho = 0.03 \cdot 36.5 / (0.25 \cdot 1.1) = 4 \text{ мл.}$$

Ответ: 4 мл.

По аналогии с задачей 2.2., эта задача также имеет второе решение. Раствор KCl с концентрацией 1.5% может быть получен и при добавлении избытка HCl. Для полной нейтрализации K_2CO_3 нужно 5.84 г раствора HCl, при этом общая масса раствора составит 154.96 г (см. расчет в задаче 2.3.):



$$\begin{array}{ccccccc} 0.04 & 0.02 & 0.04 & & 0.02 & & \end{array}$$

Если теперь добавить еще m г раствора HCl, масса KCl в растворе не изменится:

$$m(\text{KCl}) = 2 \cdot 74.5 \cdot 0.04 = 5.96 \text{ г,}$$

а общая масса раствора увеличится до $(154.96 + m)$ г. Чтобы получить раствор KCl с концентрацией 1.5%, нужно еще добавить 242.37 г раствора HCl:

$$0.015 = \frac{5.96}{154.96 + m},$$

$$m = 242.37 \text{ г.}$$

Всего, таким образом, нужно добавить

$$m(\text{р-ра}) = 154.96 + 242.37 = 397.3 \text{ г.}$$

Необходимый объём раствора HCl составит

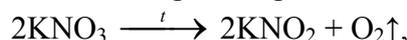
$$V = m / \rho = 397.3 / 1.1 = 361.2 \text{ мл.}$$

Ответ: 361.2 мл.

Задание 3

3.1. Смесь KNO_3 и $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ массой 7.87 г прокалили при 400°C . К твердому остатку после прокаливания добавили воду, при этом образовались бесцветный раствор А и черный осадок В. Определите состав и массу осадка В, если при взаимодействии раствора А с подкисленным серной кислотой раствором иодида калия выделилось 0.732 л (при 25°C и 1 атм) бесцветного газа, быстро бурящего на воздухе. **(8 баллов)**

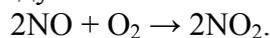
Решение. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:



Твердый остаток после прокаливания – смесь KNO_2 и CuO , при добавлении воды нитрит калия растворяется. Таким образом, А – это раствор KNO_2 , а черный осадок В – CuO . Бесцветный газ, бурящийся на воздухе, это NO , выделяющийся в реакции:



и быстро окисляемый кислородом воздуха:



бурый газ

$$v(\text{NO}) = \frac{PV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.732}{8.314 \cdot 298} = 0.03 \text{ моль},$$

следовательно

$$v(\text{KNO}_2) = v(\text{KNO}_3) = 0.03 \text{ моль}.$$

$$m(\text{KNO}_3) = 0.03 \cdot 101 = 3.03 \text{ г},$$

$$m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 7.87 - 3.03 = 4.84 \text{ г},$$

$$v(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 4.84 / 242 = 0.02 \text{ моль}.$$

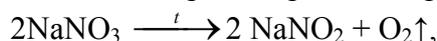
$$v(\text{CuO}) = 0.02 \text{ моль}.$$

$$m(\text{CuO}) = 0.02 \cdot 80 = 1.6 \text{ г}.$$

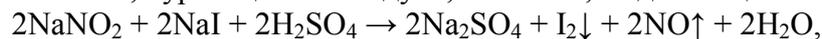
Ответ: 1.6 г.

3.2. Смесь NaNO_3 и $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ массой 9.24 г прокалили при 400°C . К твердому остатку после прокаливания добавили воду, при этом образовались бесцветный раствор А и темно-зеленый осадок В. Определите состав и массу осадка В, если при взаимодействии раствора А с подкисленным серной кислотой раствором иодида натрия выделилось 0.976 л (при 25°C и 1 атм) бесцветного газа, быстро бурящего на воздухе. **(8 баллов)**

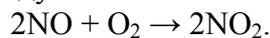
Решение. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:



Твердый остаток после прокаливания – смесь NaNO_2 и Cr_2O_3 , при добавлении воды нитрит натрия растворяется. Таким образом, А – это раствор NaNO_2 , а темно-зеленый осадок В – Cr_2O_3 . Бесцветный газ, бурящийся на воздухе, – это NO , выделяющийся в реакции:



и быстро окисляемый кислородом воздуха:



бурый газ

$$v(\text{NO}) = \frac{PV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.976}{8.314 \cdot 298} = 0.04 \text{ моль},$$

следовательно

$$v(\text{NaNO}_2) = v(\text{NaNO}_3) = 0.04 \text{ моль}.$$

$$m(\text{NaNO}_3) = 0.04 \cdot 85 = 3.4 \text{ г},$$

$$m(\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 9.24 - 3.4 = 5.84 \text{ г}$$

$$v(\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 5.84 / 292 = 0.02 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 0.01 \text{ моль.}$$

$$m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 0.01 \cdot 152 = 1.52 \text{ г.}$$

Ответ: 1.52 г.

3.3. Смесь AgNO_3 и $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ массой 12.01 г прокалили при 500°C . Твердый остаток после прокаливания обработали соляной кислотой, при этом образовались бледно-розовый раствор А, черный осадок В и выделилось 0.732 л (при 25°C и 1 атм) желто-зеленого газа. Определите состав и массу осадка В. **(8 баллов)**

Решение. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:



Твердый остаток после прокаливания – смесь серебра и MnO_2 , при обработке соляной кислотой оксид марганца растворяется:



Таким образом, А – это раствор MnCl_2 , а черный осадок В – серебро, которое не реагирует с соляной кислотой. Желто-зеленый газ – это хлор:

$$v(\text{Cl}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.732}{8.314 \cdot 298} = 0.03 \text{ моль,}$$

следовательно $v(\text{MnO}_2) = v(\text{Cl}_2) = v(\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0.03 \text{ моль,}$

$$m(\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0.03 \cdot 287 = 8.61 \text{ г,}$$

$$m(\text{AgNO}_3) = 12.01 - 8.61 = 3.4 \text{ г,}$$

$$v(\text{AgNO}_3) = 3.4 / 170 = 0.02 \text{ моль,}$$

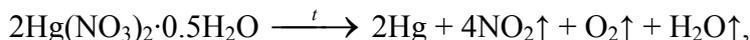
$$v(\text{Ag}) = 0.02 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Ag}) = 0.02 \cdot 108 = 2.16 \text{ г.}$$

Ответ: 2.16 г.

3.4. Смесь $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ массой 24.34 г прокалили при 300°C . Твердый остаток после прокаливания обработали соляной кислотой, при этом образовались бледно-розовый раствор А, черный осадок В и выделилось 1.220 л (при 25°C и 1 атм) желто-зеленого газа. Определите состав и массу осадка В. **(8 баллов)**

Решение. При прокаливании смеси нитратов протекают реакции разложения:



Остаток после прокаливания – это смесь ртути и MnO_2 , при обработке соляной кислотой оксид марганца растворяется:



Таким образом, А – это раствор MnCl_2 , а черный осадок В – ртуть, которая не реагирует с соляной кислотой. Желто-зеленый газ – это хлор:

$$v(\text{Cl}_2) = \frac{PV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 1.220}{8.314 \cdot 298} = 0.05 \text{ моль,}$$

следовательно $v(\text{MnO}_2) = v(\text{Cl}_2) = v(\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0.05 \text{ моль.}$

$$m(\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 0.05 \cdot 287 = 14.32 \text{ г,}$$

$$m(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}) = 24.34 - 14.32 = 10.02 \text{ г,}$$

$$v(\text{Hg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}) = 10.02 / 334 = 0.03 \text{ моль,}$$

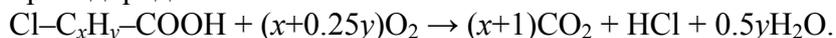
$$v(\text{Hg}) = 0.03 \text{ моль, } m(\text{Hg}) = 0.03 \cdot 201 = 6 \text{ г.}$$

Ответ: 6 г.

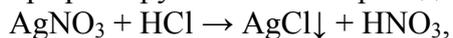
Задание 4

4.1. Неизвестную насыщенную монохлорсодержащую органическую кислоту массой 1.89 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 57.75 мл 5.8%-ного раствора нитрата серебра с плотностью 1.015 г/мл. Установите возможное строение кислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (8 баллов)

Решение. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода:



С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород:



$$\nu(\text{AgNO}_3) = 57.75 \cdot 1.015 \cdot 0.058 / 170 = 0.02 \text{ моль}.$$

В соответствии с уравнением реакции, $\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{AgNO}_3) = 0.02$ моль. Тогда молярная масса неизвестной кислоты составляет:

$$M = 1.89 / 0.02 = 94.5 \text{ г/моль}.$$

Вычтя из этой величины массу хлора и карбоксильной группы $-\text{COOH}$, мы определим массу радикала C_xH_y :

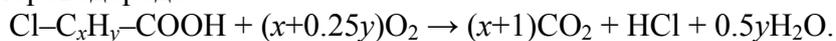
$$94.5 - 35.5 - 45 = 14 \text{ г/моль},$$

что соответствует CH_2 . Следовательно, искомая кислота – монохлоруксусная ClCH_2COOH .

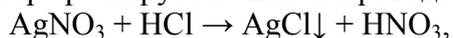
Ответ: хлоруксусная кислота, ClCH_2COOH .

4.2. Неизвестную насыщенную монохлорсодержащую органическую кислоту массой 1.085 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 28 мл 6%-ного раствора нитрата серебра с плотностью 1.05 г/мл. Установите возможное строение кислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (8 баллов)

Решение. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода:



С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород:



$$\nu(\text{AgNO}_3) = 28 \cdot 1.05 \cdot 0.06 / 170 = 0.01 \text{ моль}.$$

В соответствии с уравнением реакции, $\nu(\text{HCl}) = \nu(\text{AgNO}_3) = 0.01$ моль. Тогда молярная масса неизвестной кислоты составляет:

$$M = 1.085 / 0.01 = 108.5 \text{ г/моль}.$$

Вычтя из этой величины массу хлора и карбоксильной группы $-\text{COOH}$, мы определим массу радикала C_xH_y :

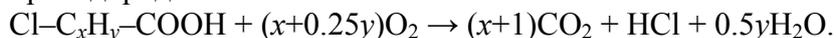
$$108.5 - 35.5 - 45 = 28 \text{ г/моль},$$

что соответствует C_2H_4 . Следовательно, искомой кислотой может быть один из изомеров – или 2-хлорпропионовая, или 3-хлорпропионовая кислота.

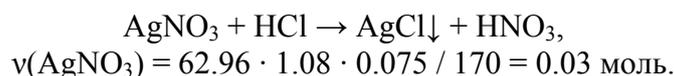
Ответ: монохлорпропионовая кислота, $\text{ClC}_2\text{H}_4\text{COOH}$.

4.3. Неизвестную ароматическую монохлорсодержащую органическую кислоту массой 4.695 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 62.96 мл 7.5%-ного раствора нитрата серебра с плотностью 1.08 г/мл. Установите возможное строение кислоты и напишите уравнения протекающих реакций. (8 баллов)

Решение. Хлорсодержащие органические соединения сгорают с образованием газообразного хлороводорода:



С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород:



В соответствии с уравнением реакции, $v(\text{HCl}) = v(\text{AgNO}_3) = 0.03$ моль. Тогда молярная масса неизвестной кислоты составляет:

$$M = 4.695 / 0.03 = 156.5 \text{ г/моль.}$$

Вычтя из этой величины массу хлора и карбоксильной группы $-\text{COOH}$, мы определим массу радикала C_xH_y :

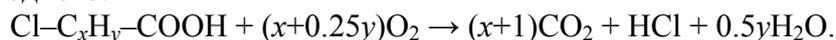
$$156.5 - 35.5 - 45 = 76 \text{ г/моль,}$$

что соответствует C_6H_4 . Следовательно, искомой кислотой может быть один из изомеров – 2-хлорбензойная, 3-хлорбензойная или 4-хлорбензойная кислота.

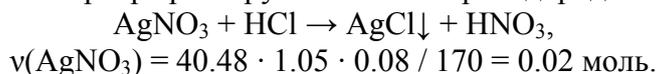
Ответ: монохлорбензойная кислота, $\text{ClC}_6\text{H}_4\text{COOH}$.

4.4. Неизвестную ароматическую галогенсодержащую органическую кислоту массой 3.41 г сожгли. С продуктами сгорания может прореагировать 40.48 мл 8%-ного раствора нитрата серебра с плотностью 1.05 г/мл. Установите возможное строение кислоты и напишите уравнения протекающих реакций. **(8 баллов)**

Известно, что галогеноводороды образуются только при сгорании фтор- или хлорсодержащих органических веществ. Однако фтороводород не образует осадка при взаимодействии с нитратом серебра, поэтому можно сделать вывод о том, что сгорает именно хлорсодержащая органическая кислота. Начнем с рассмотрения монохлорпроизводного:



С раствором нитрата серебра реагирует только хлороводород:



В соответствии с уравнением реакции, $v(\text{HCl}) = v(\text{AgNO}_3) = 0.02$ моль. Тогда молярная масса неизвестной кислоты составляет:

$$M = 3.41 / 0.02 = 170.5 \text{ г/моль.}$$

Вычтя из этой величины массу хлора и карбоксильной группы $-\text{COOH}$, мы определим массу радикала C_xH_y :

$$170.5 - 35.5 - 45 = 90 \text{ г/моль,}$$

что соответствует C_7H_6 . Следовательно, искомой кислотой может быть один из многих изомеров монохлорметилбензойной кислоты.

Ответ: монохлорметилбензойная кислота, $\text{ClC}_7\text{H}_6\text{COOH}$.

Задание 5

5.1. Два сферических сосуда одинакового объема соединены трубкой пренебрежимо малого объема. В каждом сосуде содержится по 2 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с температурой 100°C , а второй – в другой термостат. После того, как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0.62 моль газа меньше, чем во втором. Определите температуру второго термостата. **(10 баллов)**

Решение. Сначала определим количества газа в каждом из сосудов после установления равновесия:

$$\begin{cases} \nu_1 + \nu_2 = 4, \\ \nu_2 - \nu_1 = 0.62. \end{cases}$$

$$\nu_2 = \nu_1 + 0.62,$$

$$2\nu_1 + 0.62 = 4,$$

$$\nu_1 = 1.69 \text{ моль},$$

$$\nu_2 = 4 - 1.69 = 2.31 \text{ моль}.$$

В состоянии равновесия давления в обоих сосудах выравниваются: $p_1 = p_2$. Поэтому, в соответствии с уравнением Клапейрона-Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V},$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2.$$

Тогда $T_2 = \nu_1 T_1 / \nu_2 = 1.69 \cdot 373 / 2.31 = 272.9 \text{ К}.$

Ответ: $T_2 = 272.9 \text{ К}.$

5.2. Два сферических сосуда одинакового объема, заполненные идеальным газом, соединены трубкой пренебрежимо малого объема. Один из сосудов помещают в термостат с температурой 0°C , а второй – в термостат при 50°C . После того, как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0.5 моль газа больше, чем во втором. Сколько молей газа было в каждом сосуде изначально. **(10 баллов)**

Решение. По условию задачи $\nu_1 - \nu_2 = 0.5$ моль.

$$\nu_1 = \nu_2 + 0.5,$$

В состоянии равновесия давления в обоих сосудах выравниваются: $p_1 = p_2$. Поэтому, в соответствии с уравнением Клапейрона-Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V},$$

$$\nu_1 T_1 = \nu_2 T_2,$$

$$(\nu_2 + 0.5) \cdot 273 = \nu_2 \cdot 323,$$

$$\nu_2 = 2.73 \text{ моль},$$

$$\nu_1 = 3.23 \text{ моль},$$

$$n_{\text{общ}} = n_1 + n_2 = 5.96 \text{ моль} \approx 6 \text{ моль}$$

В начальный момент времени $\nu_1 = \nu_2 = \frac{2.73 + 3.23}{2} = 2.98 \approx 3$ моль.

Ответ: $\nu_1 = \nu_2 = 3$ моль.

5.3. Два сферических сосуда одинакового объема, соединенные трубкой пренебрежимо малого объема, находятся при температуре 25°C . В системе содержится 3 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с температурой 0°C , а второй – в термостат с другой температурой. Определите температуру второго термостата, если после установления равновесия, давление в системе оказалось на 5% выше исходного. **(10 баллов)**

Решение. В состоянии равновесия давления в обоих сосудах выравниваются: $p_1 = p_2$, кроме того, по условию, $p_1 = p_2 = 1.05p_0$. Поэтому, в соответствии с уравнением Клапейрона-Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V} = \frac{1.05 \cdot \nu_0 \cdot R \cdot T_0}{V},$$

$$273 \cdot \nu_1 = 1.05 \cdot 1.5 \cdot 298,$$

$$\nu_1 = \frac{469.35}{273} = 1.72 \text{ моль}, \quad \nu_2 = 3 - 1.72 = 1.28 \text{ моль}.$$

Тогда
$$T_2 = \frac{1.05 \cdot 1.5 \cdot 298}{1.28} = 366.7 \text{ К}.$$

Ответ: $T_2 = 366.7 \text{ К}.$

5.4. Два сферических сосуда одинакового объема, соединенные трубкой пренебрежимо малого объема, находятся при температуре 25°C . В каждом сосуде содержится по 2 моль идеального газа. Первый сосуд поместили в термостат с одной температурой, а второй – в термостат с другой температурой. После того, как система пришла в равновесие, в первом сосуде стало на 0.48 моль газа больше, чем во втором. Определите температуры термостатов, если после установления равновесия, давление в системе оказалось на 10% выше исходного. **(10 баллов)**

Решение. Сначала определим количества газа в каждом из сосудов после установления равновесия:

$$\begin{cases} \nu_1 + \nu_2 = 4, \\ \nu_1 - \nu_2 = 0.48. \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \nu_1 &= \nu_2 + 0.48, \\ 2\nu_2 + 0.48 &= 4, \\ \nu_2 &= 1.76 \text{ моль}, \\ \nu_1 &= 4 - 1.76 = 2.24 \text{ моль}. \end{aligned}$$

В состоянии равновесия давления в обоих сосудах выравниваются: $p_1 = p_2$, кроме того, по условию, $p_1 = p_2 = 1.1p_0$. Поэтому, в соответствии с уравнением Клапейрона-Менделеева,

$$\frac{\nu_1 RT_1}{V} = \frac{\nu_2 RT_2}{V} = \frac{1.1 \cdot \nu_0 \cdot R \cdot T_0}{V},$$

Тогда
$$\begin{aligned} \nu_1 T_1 &= \nu_2 T_2 = 1.1 \cdot 2 \cdot 298, \\ 2.24 \cdot T_1 &= 1.1 \cdot 2 \cdot 298, \quad 1.76 \cdot T_2 = 1.1 \cdot 2 \cdot 298, \\ T_1 &= \frac{655.6}{2.24} = 292.7 \text{ К}; \quad T_2 = \frac{655.6}{1.76} = 372.5 \text{ К}. \end{aligned}$$

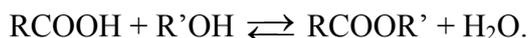
Ответ: $T_1 = 292.7 \text{ К}, T_2 = 372.5 \text{ К}.$

Задание 6

6.1. Безводные одноатомный спирт и одноосновная кислота вступают в реакцию этерификации в присутствии серной кислоты. При мольном соотношении спирт : кислота = 1 : 1 выход реакции равен b , а при соотношении 2 : 1 выход увеличивается на 25%.

- 1) Найдите b .
- 2) Определите константу равновесия реакции этерификации.
- 3) Чему будет равен выход при соотношении спирт : кислота = 1 : 2? (**10 баллов**)

Решение. Уравнение реакции этерификации:



Запишем константу равновесия через равновесные концентрации участников реакции и через их количества:

$$K = \frac{[\text{RCOOR}'][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{RCOOH}][\text{R}'\text{OH}]} = \frac{\nu(\text{RCOOR}')\nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{RCOOH})\nu(\text{R}'\text{OH})}.$$

Возьмем по 1 моль кислоты и спирта, тогда образуется по b моль эфира и воды:

$$K = \frac{b \cdot b}{(1-b)(1-b)}.$$

Если мы возьмем 2 моль спирта и 1 моль кислоты, тогда образуется по $1.25b$ моль продуктов реакции:

$$K = \frac{1.25b \cdot 1.25b}{(2-1.25b)(1-1.25b)}.$$

Константа равновесия в обоих случаях – одна и та же, поэтому выражения для нее можно приравнять и найти значение b :

$$\frac{b \cdot b}{(1-b)(1-b)} = \frac{1.25b \cdot 1.25b}{(2-1.25b)(1-1.25b)},$$

$$b = 0.7$$

$$K = \frac{0.7^2}{(1-0.7)^2} = 5.44.$$

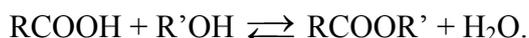
Выход реакции при соотношении спирт : кислота = 1 : 2 будет таким же, как и при соотношении 2 : 1, а именно

$$\eta = 1.25b / 1 = 0.875 \text{ (или 87.5\%)}$$

Ответ: $b = 0.7$; $K = 5.44$; выход 87.5%.

6.2. Безводные одноатомный спирт и одноосновная кислота вступают в реакцию этерификации в присутствии серной кислоты. Константа равновесия равна 0.45. При каком мольном соотношении спирт : кислота выход реакции будет равен 45%? При каком соотношении выход эфира будет минимальным, и чему он равен? (**10 баллов**)

Решение. Уравнение реакции этерификации:



Запишем константу равновесия через равновесные концентрации участников реакции и через их количества:

$$K = \frac{[\text{RCOOR}'][\text{H}_2\text{O}]}{[\text{RCOOH}][\text{R}'\text{OH}]} = \frac{\nu(\text{RCOOR}')\nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{RCOOH})\nu(\text{R}'\text{OH})}.$$

Возьмем a моль спирта и 1 моль кислоты. Пусть $a > 1$, тогда кислота – в недостатке, и выход 45% означает, что образовалось по 0.45 моль эфира и воды:

$$K = \frac{0.45 \cdot 0.45}{(a - 0.45)(1 - 0.45)} = 0.45,$$

откуда $a = 1.27$.

В силу симметрии реакции по отношению к кислоте и спирту, выход будет одним и тем же при соотношениях спирт : кислота = $a : 1$ и спирт : кислота = $1 : a$. Поэтому выход примет экстремальное значение при стехиометрическом соотношении $1 : 1$. Это экстремальное значение соответствует минимуму, т.к. при очень большом количестве спирта или кислоты выход будет стремиться к 1 (равновесие будет смещено в сторону эфира по принципу Ле-Шателье).

Рассчитаем выход при стехиометрическом соотношении. Возьмем по 1 моль спирта и кислоты, и пусть образуется по x молей эфира и воды:

$$K = \frac{x \cdot x}{(1 - x)(1 - x)} = 0.45,$$

$x = 0.40$. Минимальный выход – 40%.

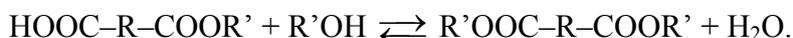
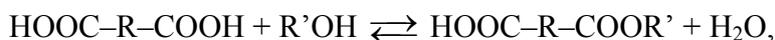
Ответ:) спирт : кислота = 1.27 : 1.

2) Выход – наименьший при соотношении 1:1.

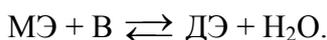
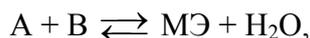
3) Минимальный выход – 40%.

6.3. Некоторая двухосновная кислота содержит две карбоксильные группы, разделённые длинной углеводородной цепью. Константа равновесия реакции этерификации по каждой карбоксильной группе равна K . В каком молярном соотношении следует взять эту кислоту и одноатомный спирт, чтобы после установления равновесия реакционная смесь содержала одинаковое количество моно- и диэфира? (10 баллов)

Решение. В системе протекают последовательные обратимые реакции этерификации:



Обозначим кислоту $\text{R}(\text{COOH})_2$ как А, спирт R'OH как В, моноэфир $\text{HOOC-R-COOR}'$ – МЭ, диэфир $\text{R'OOC-R-COOR}'$ – ДЭ. В новых обозначениях реакции запишутся следующим образом:



Выразим константы равновесия обеих реакций через равновесные концентрации веществ:

$$K = \frac{[\text{МЭ}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{A}] \cdot [\text{B}]}, \quad K = \frac{[\text{ДЭ}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{МЭ}] \cdot [\text{B}]}.$$

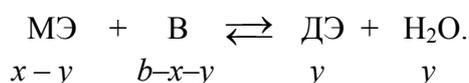
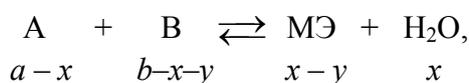
Приравняв выражения для констант, получим

$$[\text{МЭ}]^2 = [\text{A}] [\text{ДЭ}].$$

Поскольку по условию $[\text{МЭ}] = [\text{ДЭ}]$, значит $[\text{МЭ}] = [\text{A}] = [\text{ДЭ}]$. Тогда

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[\text{B}]}.$$

Пусть в начальный момент в системе было a моль А и b моль В. К моменту установления равновесия x моль А прореагировало, y моль ДЭ образовалось, и тогда



$$\begin{aligned}v(A) &= a - x, \\v(B) &= b - x - y, \\v(\text{МЭ}) &= x - y, \\v(\text{ДЭ}) &= y, \\v(\text{H}_2\text{O}) &= x + y.\end{aligned}$$

Ранее было показано, что
тогда
следовательно,
Отсюда

$$\begin{aligned}[\text{МЭ}] &= [\text{ДЭ}] = [A], \\v(\text{МЭ}) &= x - y = v(\text{ДЭ}) = y, \\x &= 2y.\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}v(A) &= a - x = a - 2y \text{ моль}, \\v(B) &= b - x - y = b - 3y \text{ моль}, \\v(\text{МЭ}) &= x - y = y \text{ моль}, \\v(\text{ДЭ}) &= y \text{ моль}, \\v(\text{H}_2\text{O}) &= x + y = 3y \text{ моль}.\end{aligned}$$

Учтем, что $[\text{ДЭ}] = [A] = y = a - 2y$, следовательно, $a = 3y$.

Подставим полученные концентрации в выражение для константы равновесия:

$$K = \frac{[\text{H}_2\text{O}]}{[B]} = \frac{3y}{b - 3y},$$

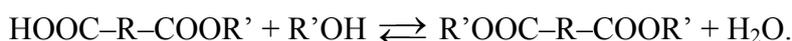
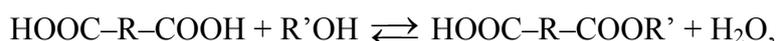
$$\begin{aligned}Kb &= 3y + 3Ky = 3y(1 + K), \\b &= 3y(1 + K) / K,\end{aligned}$$

тогда $a : b = 3y / (3y(1 + K)/K) = K / (1 + K)$

Ответ: кислота : спирт = $K / (1 + K)$.

6.4. Некоторая двухосновная кислота содержит две карбоксильные группы, разделённые длинной углеводородной цепью. Константа равновесия реакции этерификации по каждой карбоксильной группе равна K . Смешали 5 моль спирта и 1 моль кислоты в присутствии катализатора. После окончания реакции в равновесной смеси содержалось в 2 раза больше диэфира, чем моноэфира. Найдите K и рассчитайте количества веществ в равновесной смеси. **(10 баллов)**

Решение. Запишем уравнения последовательных реакций этерификации:



Обозначим: $\text{R}(\text{COOH})_2$ – А, $\text{HOOC-R-COOR}'$ – моноэфир, $\text{R}'\text{OOC-R-COOR}'$ – диэфир. Константы равновесия имеют вид:

$$K = \frac{[\text{моноэфир}][\text{H}_2\text{O}]}{[A][\text{R}'\text{OH}]} = \frac{v(\text{моноэфир})v(\text{H}_2\text{O})}{v(A)v(\text{R}'\text{OH})},$$

$$K = \frac{[\text{диэфир}] \cdot [\text{H}_2\text{O}]}{[\text{моноэфир}] \cdot [\text{R}'\text{OH}]} = \frac{v(\text{диэфир})v(\text{H}_2\text{O})}{v(\text{моноэфир})v(\text{R}'\text{OH})}$$

Пусть в первую реакцию вступит x моль спирта, а во вторую – y моль, тогда равновесные количества веществ (в молях) равны:

$$\begin{aligned}v(A) &= 1 - x \text{ (кислота участвует только в первой реакции)}, \\v(\text{R}'\text{OH}) &= 5 - x - y, \\v(\text{моноэфир}) &= x - y, \\v(\text{диэфир}) &= y, \\v(\text{H}_2\text{O}) &= x + y,\end{aligned}$$

По условию, $y = 2(x - y)$, откуда $x = 1.5y$. Подставим количества веществ, выраженные через y , в константы равновесия обеих стадий:

$$K = \frac{\nu(\text{моноэфир})\nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{A})\nu(\text{R}'\text{OH})} = \frac{0.5y \cdot 2.5y}{(1 - 1.5y)(5 - 2.5y)},$$

$$K = \frac{\nu(\text{диэфир})\nu(\text{H}_2\text{O})}{\nu(\text{моноэфир})\nu(\text{R}'\text{OH})} = \frac{y \cdot 2.5y}{0.5y \cdot (5 - 2.5y)}$$

Приравнивая два выражения для K , находим: $y = 0.57$. Подставив это значение в любое выражение для K , получим $K = 0.80$.

Равновесные количества веществ:

$$\nu(\text{A}) = 1 - 1.5y = 0.14 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{R}'\text{OH}) = 5 - 2.5y = 3.57 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{моноэфир}) = 0.5y = 0.29 \text{ моль,}$$

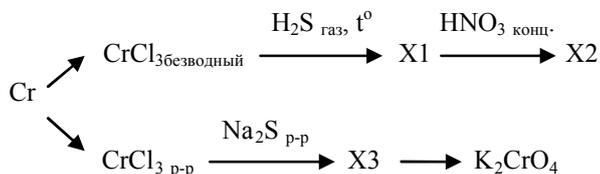
$$\nu(\text{диэфир}) = y = 0.57 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = 2.5y = 1.43 \text{ моль.}$$

Ответ: $K = 0.80$, 0.14 моль кислоты, 3.57 моль спирта, 0.29 моль моноэфира, 0.57 моль диэфира, 1.43 моль H_2O .

Задание 7

7.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие хром):



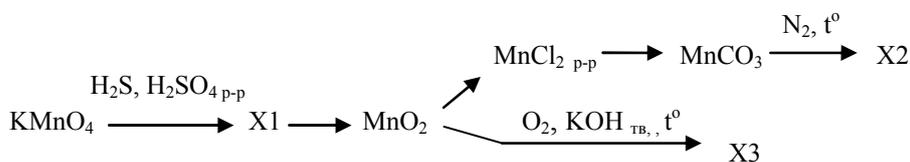
(12 баллов)

Решение.

- 1) $2\text{Cr}(\text{тв.}) + 3\text{Cl}_2(\text{г.}) \xrightarrow{t^\circ} 2\text{CrCl}_3(\text{безводный});$
- 2) $2\text{CrCl}_3(\text{безводный}) + 3\text{H}_2\text{S}(\text{г.}) \xrightarrow{t^\circ} \text{Cr}_2\text{S}_3 + 6\text{HCl}\uparrow,$
- 3) $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 24\text{HNO}_3(\text{конц.}) \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 24\text{NO}_2\uparrow + 12\text{H}_2\text{O},$
- 4) $4\text{Cr} + 12\text{HCl}(\text{p-p}) + 3\text{O}_2 \rightarrow 4\text{CrCl}_3(\text{p-p}) + 6\text{H}_2\text{O},$
- 5) $2\text{CrCl}_3(\text{p-p}) + 3\text{Na}_2\text{S}(\text{p-p}) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3\downarrow + 6\text{NaCl} + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow,$
- 6) $2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{Br}_2 + 10\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 6\text{KBr} + 8\text{H}_2\text{O}.$

Ответ: X1 – Cr₂S₃, X2 – Cr₂(SO₄)₃, X3 – Cr(OH)₃.

7.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие марганец):



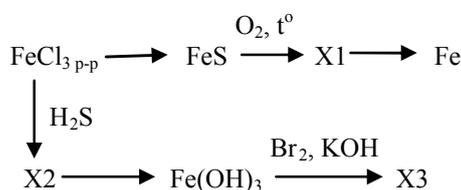
(12 баллов)

Решение:

- 1) $2\text{KMnO}_4 + 5\text{H}_2\text{S} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + 5\text{S}\downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O},$
- 2) $3\text{MnSO}_4 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 5\text{MnO}_2\downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4,$
или $\text{MnSO}_4 + \text{Cl}_2 + 4\text{KOH}(\text{p-p}) \rightarrow \text{MnO}_2\downarrow + 2\text{KCl} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O},$
- 3) $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl}(\text{конц.}) \rightarrow \text{MnCl}_2(\text{p-p}) + \text{Cl}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O},$
- 4) $\text{MnCl}_2(\text{p-p}) + 2\text{NaHCO}_3(\text{p-p}) \rightarrow \text{MnCO}_3\downarrow + 2\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2\uparrow$ (раствор Na₂CO₃ не подходит для этой реакции, так как в осадок будет выпадать основной карбонат марганца),
- 5) $\text{MnCO}_3 \xrightarrow{\text{N}_2, t^\circ} \text{MnO} + \text{CO}_2\uparrow$ (разложение в инертной атмосфере),
- 6) $2\text{MnO}_2(\text{тв.}) + \text{O}_2 + 4\text{KOH}(\text{тв.}) \xrightarrow{t^\circ} 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}\uparrow$ (сплавление).

Ответ: X1 – MnSO₄, X2 – MnO, X3 – K₂MnO₄.

7.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие железо):



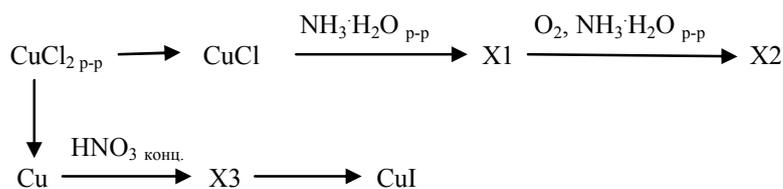
(12 баллов)

Решение.

- 1) $2\text{FeCl}_3(\text{p-p}) + 3(\text{NH}_4)_2\text{S}(\text{p-p}) \rightarrow 2\text{FeS} + \text{S}\downarrow + 6\text{NH}_4\text{Cl}$,
- 2) $4\text{FeS} + 7\text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 4\text{SO}_2\uparrow$ (окислительный обжиг),
- 3) $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 2\text{Al} \xrightarrow{t^\circ} \text{Al}_2\text{O}_3 + 2\text{Fe}$ или, например, $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} \xrightarrow{t^\circ} 3\text{CO}_2 + 2\text{Fe}$,
- 4) $2\text{FeCl}_3(\text{p-p}) + \text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{FeCl}_2 + \text{S}\downarrow + 2\text{HCl}$,
- 5) $4\text{FeCl}_2 + \text{O}_2 + 8\text{KOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 8\text{KCl}$,
- 6) $2\text{Fe}(\text{OH})_3 + 3\text{Br}_2 + 10\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 6\text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$.

Ответ: **X1** – Fe_2O_3 , **X2** – FeCl_2 , **X3** – K_2FeO_4 .

7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие медь):



(12 баллов)

Решение.

- 1) $\text{CuCl}_2(\text{p-p}) + \text{Cu} \xrightarrow{\text{HCl}(\text{конц}), t^\circ} 2\text{CuCl}$,
или $2\text{CuCl}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{CuCl}\downarrow + \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$,
- 2) $\text{CuCl} + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{p-p}) \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$,
или $\text{CuCl} + 3\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{p-p}) \rightarrow [\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$,
- 3) $4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl} + \text{O}_2 + 12\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O p-p} \rightarrow 4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$,
или $4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + \text{O}_2 + 8\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}(\text{p-p}) \rightarrow 4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 6\text{H}_2\text{O}$,
- 4) $\text{CuCl}_2(\text{p-p}) + \text{Zn} \rightarrow \text{ZnCl}_2 + \text{Cu}$,
- 5) $\text{Cu} + 4\text{HNO}_3(\text{конц}) \rightarrow \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NO}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$,
- 6) $2\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 4\text{KI} \rightarrow 2\text{CuI}\downarrow + \text{I}_2\downarrow + 4\text{KNO}_3$.

Ответ: **X1** – $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$ или $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, **X2** – $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$, **X3** – $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$.

Задание 8

8.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



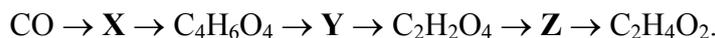
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

Решение:

- 1) $C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$ (спиртовое брожение глюкозы),
- 2) $2C_2H_5OH \xrightarrow{Cr_2O_3, Al_2O_3, t^\circ} CH_2=CH-CH=CH_2 + 2H_2O + H_2$ (синтез Лебедева),
- 3) $CH_2=CH-CH=CH_2 + 2HBr \xrightarrow{0^\circ C} CH_3-CHBr-CHBr-CH_3$,
- 4) $CH_3-CHBr-CHBr-CH_3 + 2KCN \rightarrow CH_3-CH(CN)-CH(CN)-CH_3 + 2KBr$,
- 5) $CH_3-\underset{\text{CN}}{\underset{|}{CH}}-\underset{\text{CN}}{\underset{|}{CH}}-CH_3 + 4H_2O + 2HCl \xrightarrow{t^\circ} CH_3-\underset{\text{HOOC}}{\underset{|}{CH}}-\underset{\text{COOH}}{\underset{|}{CH}}-CH_3 + 2NH_4Cl$
- 6) $CH_3-\underset{\text{HOOC}}{\underset{|}{CH}}-\underset{\text{COOH}}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \xrightarrow{t^\circ} \begin{array}{c} \text{H}_3\text{C} \\ | \\ \text{C} \\ / \quad \backslash \\ \text{O} \quad \text{O} \\ \backslash \quad / \\ \text{C} \\ | \\ \text{H}_3\text{C} \end{array} + H_2O$

Ответ: X – C₂H₅OH, Y – CH₃-CHBr-CHBr-CH₃, Z – HOOC-CH(CH₃)-CH(CH₃)-COOH.

8.2. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

Решение:

- 1) $CO + 2H_2 \xrightarrow{t^\circ, \text{кат.}} CH_3OH$,
- 2) $2CH_3OH + HOOC-COOH \xrightarrow{t^\circ, H^+} H_3COOC-COOCH_3 + 2H_2O$,
- 3) $H_3COOC-COOCH_3 + 2NaOH(p-p) \xrightarrow{t^\circ} 2CH_3OH + NaOOC-COONa$,
- 4) $NaOOC-COONa + 2HCl \rightarrow HOOC-COOH + 2NaCl$,
- 5) $HOOC-COOH \xrightarrow{t^\circ} HCOOH + CO_2$,
- 6) $HCOOH + CH_3OH \xrightarrow{t^\circ, H^+} HCOOCH_3 + H_2O$.

Ответ: X – CH₃OH, Y – NaOOC-COONa, Z – HCOOH.

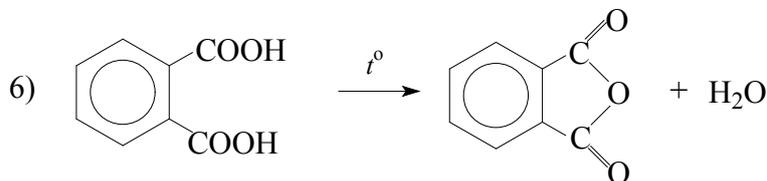
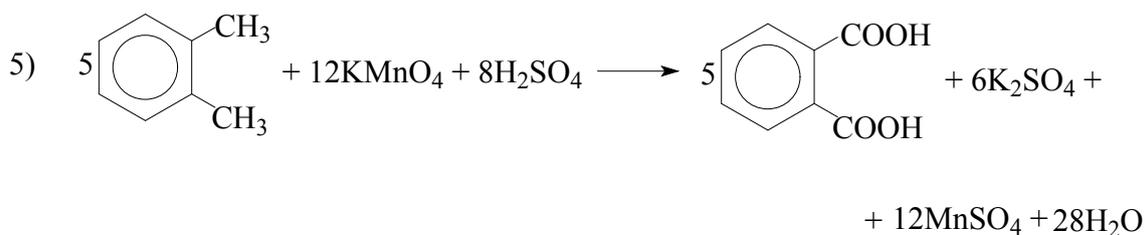
8.3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



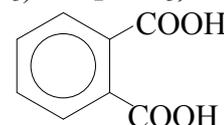
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

Решение:

- 1) $CH_2=CH-CH=CH_2 + 2H_2 \xrightarrow{Ni, t^\circ} CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$,
- 2) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu} CH_3-CH(Cl)-CH_2-CH_3 + HCl$,
- 3) $2CH_3-CH(Cl)-CH_2-CH_3 + 2Na \xrightarrow{\text{эфир}} CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH(CH_3)-CH_2-CH_3 + 2NaCl$ (реакция Вюрца),
- 4) $CH_3-CH_2-\underset{\text{CH}_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\text{CH}_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3 \xrightarrow[t^\circ]{Cr_2O_3} \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{C}_6\text{H}_4 \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} + 4H_2$



Ответ: **X** – $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}_2\text{--CH}_3$, **Y** – $\text{CH}_3\text{--CH}_2\text{--CH}(\text{CH}_3)\text{--CH}(\text{CH}_3)\text{--CH}_2\text{--CH}_3$, **Z** –

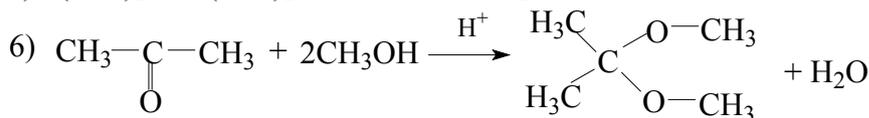
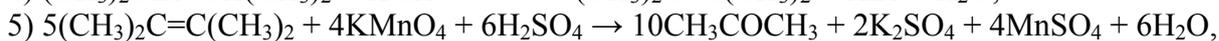
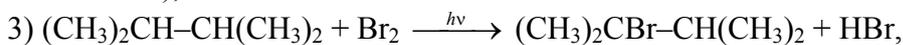
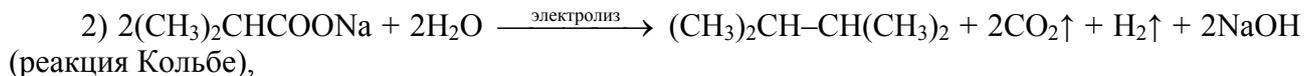
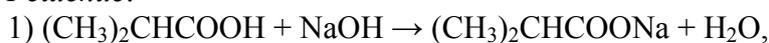


8.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:

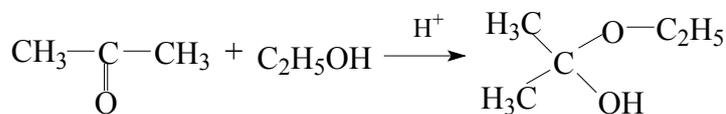


Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

Решение:



или

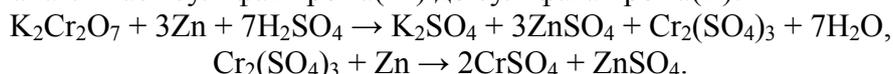


Ответ: **X** – $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOONa}$, **Y** – $(\text{CH}_3)_2\text{CBr--CH}(\text{CH}_3)_2$, **Z** – CH_3COCH_3 .

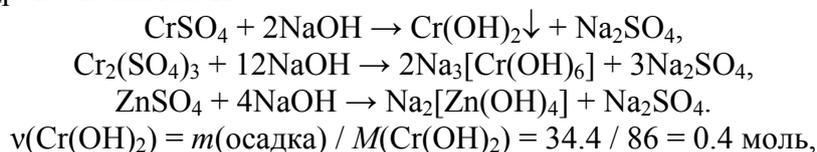
Задание 9

9.1. К подкисленному серной кислотой раствору дихромата калия добавили цинк. Реакцию проводили без доступа воздуха и наблюдали изменения окраски раствора. После полного растворения цинка к раствору добавили избыток гидроксида натрия, что привело к образованию 34.4 г осадка, который отфильтровали. Через раствор пропустили углекислый газ, образовавшийся осадок отфильтровали и прокалили. Масса твердого остатка составила 145 г. Напишите уравнения всех протекающих реакций. Определите количества дихромата калия и цинка, вступивших в реакции. Считайте, что цинк реагирует только с соединениями хрома. **(14 баллов)**

Решение. Цинк реагирует с дихроматом с образованием сульфата хрома(III), после чего частично восстанавливает сульфат хрома(III) до сульфата хрома(II):



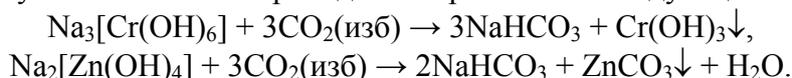
О протекании второй реакции можно судить по образованию осадка при последующем взаимодействии с избытком NaOH – сульфаты хрома(III) и цинка при этом переходят в растворимые гидроксокомплексы:



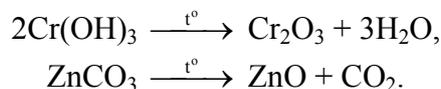
$$v(\text{Cr}(\text{OH})_2) = m(\text{осадка}) / M(\text{Cr}(\text{OH})_2) = 34.4 / 86 = 0.4 \text{ моль},$$

это количество гидроксида было получено из 0.2 моль $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

Пропускание углекислого газа приводит к образованию следующих осадков:



При прокаливании осадка образуется смесь оксидов:



Твердый остаток после прокаливании – это смесь оксидов цинка и хрома(III). Обозначим за x моль количество образовавшегося оксида хрома(III), он образовался из x моль дихромата калия. Цинк в количестве $3x$ моль был израсходован на реакцию с этими x моль дихромата. Кроме того, цинк расходовался на получение сульфата хрома(II). Для этого потребовалось $3 \cdot 0.2 + 0.2 = 0.8$ моль цинка. Значит, суммарно на реакцию с соединениями хрома потребовалось $(3x + 0.8)$ моль цинка, и такое же количество оксида цинка было получено в конце.

Масса твердого остатка:

$$\begin{aligned} m(\text{Cr}_2\text{O}_3) + m(\text{ZnO}) &= 152x + 81(3x + 0.8) = 145 \text{ (г)}, \\ 395x &= 80.2, \\ x &= 0.2 \text{ (моль)}. \end{aligned}$$

Найдем исходное количество и массу дихромата калия:

$$\begin{aligned} v(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= 0.2 + x = 0.2 + 0.2 = 0.4 \text{ моль}, \\ m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) &= 0.4 \cdot 294 = 117.6 \text{ г}. \end{aligned}$$

Исходное количество и масса цинка:

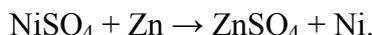
$$\begin{aligned} v(\text{Zn}) &= 3x + 0.8 = 1.4 \text{ моль}, \\ v(\text{Zn}) &= 1.4 \cdot 65 = 91 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: 117.6 г, 91 г.

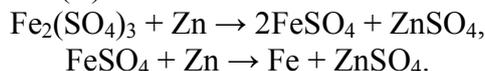
9.2. В раствор массой 50 г, содержащий сульфат железа(III) (5 масс.%) и сульфат никеля (5 масс.%), поместили цинковую пластину. Определите, насколько изменилась масса пластины, если известно, что раствор практически обесцветился, а при добавлении к

оставшемуся раствору (без доступа воздуха) избытка концентрированного водного раствора аммиака происходит образование 0.9 г осадка. Напишите уравнения протекающих реакций. (14 баллов)

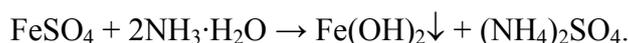
Решение. Никель – менее активный металл по сравнению с железом, поэтому он будет полностью вытеснен цинком:



Взаимодействие цинка с сульфатом трехвалентного железа приводит к образованию двух продуктов: сульфата железа(II) и железа.



Образование сульфата железа(II) подтверждается последующей реакцией с раствором аммиака:



Осадок – это гидроксид железа (II), его количество составляет:

$$v(\text{Fe}(\text{OH})_2) = m / M = 0.9 / 90 = 0.01 \text{ моль}.$$

Исходные количества солей:

$$\begin{aligned}v(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) &= m(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) / M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = \\ &= m(\text{p-ра}) \cdot \omega(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) / M(\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3) = 50 \cdot 0.05 / 400 = 0.00625 \text{ моль}, \\ v(\text{NiSO}_4) &= m(\text{NiSO}_4) / M(\text{NiSO}_4) = \\ &= m(\text{p-ра}) \cdot \omega(\text{NiSO}_4) / M(\text{NiSO}_4) = 50 \cdot 0.05 / 155 = 0.01613 \text{ моль}.\end{aligned}$$

Из имевшегося количества сульфата железа(III) могло максимально образоваться $0.00625 \cdot 2 = 0.0125$ моль гидроксида железа(II). Так как нам известно, что получилось меньше (0.01 моль), то до металла восстановилось $0.0125 - 0.01 = 0.0025$ моль железа.

Количество восстановившегося никеля составляет 0.01613 моль.

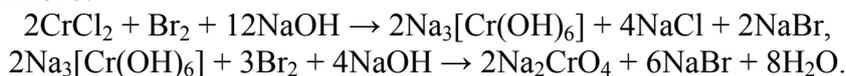
$$\begin{aligned}m(\text{пластины})_{\text{кон}} &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - m(\text{Zn}) + m(\text{Ni}) + m(\text{Fe}) = \\ &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - v(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) + v(\text{Ni}) \cdot M(\text{Ni}) + v(\text{Fe}) \cdot M(\text{Fe}) = \\ &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - (0.00625 + 0.01613 + 0.0025) \cdot 65 + 0.01613 \cdot 59 + 0.0025 \cdot 56 = \\ &= m(\text{пластины})_{\text{исх}} - 0.53.\end{aligned}$$

Масса пластины уменьшится на 0.53 г.

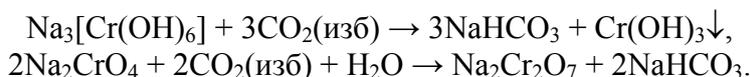
Ответ: масса пластины уменьшится на 0.53 г.

9.3. К раствору CrCl_2 добавили бром и избыток гидроксида натрия. Бром прореагировал полностью. Через полученный раствор пропустили избыток CO_2 , в результате чего образовался осадок массой 3.4 г. Осадок отфильтровали. Вещество, содержащееся в фильтрате, может прореагировать с концентрированным раствором соляной кислоты, при этом выделится 2.24 л хлора (н.у.). Рассчитайте количество исходного хлорида хрома (II). Напишите уравнения всех протекающих реакций. (14 баллов)

Решение. Бром в щелочной среде окисляет хром частично до трехвалентного, частично – до шестивалентного:



Избыток углекислого газа взаимодействует и с комплексным соединением Cr(III), и с хроматом натрия:



Найдем количество выпавшего в осадок гидроксида хрома(III):

$$v(\text{Cr}(\text{OH})_3) = m(\text{Cr}(\text{OH})_3) / M(\text{Cr}(\text{OH})_3) = 3.4 / 103 = 0.033 \text{ моль}.$$

Количество CrCl_2 , из которого получилось 0.033 гидроксида хрома(III), равно 0.033 моль. С концентрированной соляной кислотой взаимодействует дихромат натрия, оставшийся в фильтрате:



Количество хлора:

$$v(\text{Cl}_2) = V(\text{Cl}_2) / V_m = 2.24 / 22.4 = 0.1 \text{ моль.}$$

Количество CrCl_2 , из которого получился дихромат, достаточный для получения данного количества хлора, равно

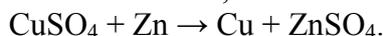
$$v(\text{CrCl}_2) = v(\text{Cl}_2) \cdot 2 / 3 = 0.1 \cdot 0.67 = 0.067 \text{ моль.}$$

Общее количество CrCl_2 составляет $0.067 + 0.033 = 0.1$ моль.

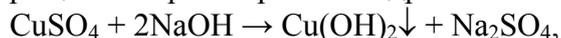
Ответ: 0.1 моль.

9.4. В раствор сульфата меди(II) на некоторое время поместили цинковую пластину. После того, как пластину вынули из раствора, оказалось, что в полученном растворе при добавлении избытка раствора гидроксида натрия образуется 9.8 г осадка, а при добавлении к тому же раствору сульфида аммония – 29 г осадка. Определите, насколько изменилась масса пластинки после того, как ее вынули из раствора. Напишите все указанные реакции. **(14 баллов)**

Решение. Цинк, как более активный металл, вытесняет медь из соли:



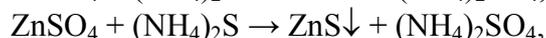
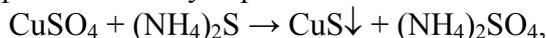
При добавлении избытка раствора гидроксида натрия выпадает осадок гидроксида меди(II), а соль цинка превращается в растворимый гидроксокомплекс:



$$v(\text{Cu}(\text{OH})_2) = m(\text{осадка}) / M = 9.8 / 98 = 0.1 \text{ моль.}$$

Количество сульфата меди, оставшегося в растворе после реакции с цинком, равно количеству получившегося гидроксида меди, т.е. 0.1 моль.

Масса осадка, полученного при взаимодействии с раствором сульфида аммония, складывается из масс сульфида меди и сульфида цинка:



$$v(\text{CuS}) = v(\text{CuSO}_4) = 0.1 \text{ моль,}$$

$$m(\text{CuS}) = v \cdot M = 0.1 \cdot 96 = 9.6 \text{ г,}$$

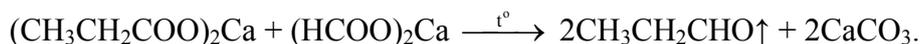
$$m(\text{ZnS}) = 29 - m(\text{CuS}) = 29 - 9.6 = 19.4 \text{ г,}$$

$$v(\text{ZnS}) = m / M = 19.4 / 97 = 0.2 \text{ моль} = v(\text{ZnSO}_4).$$

$$m(\text{пластинки})_{\text{конечн}} = m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - m(\text{Zn}) + m(\text{Cu}) = m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - v(\text{Zn}) \cdot M(\text{Zn}) + v(\text{Cu}) \cdot M(\text{Cu}) = m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - 0.2 \cdot 65 + 0.2 \cdot 64 = m(\text{пластинки})_{\text{исх}} - 0.2 \text{ (г)}$$

Масса пластинки уменьшится на 0.2 г.

Ответ: масса пластинки уменьшится на 0.2 г.



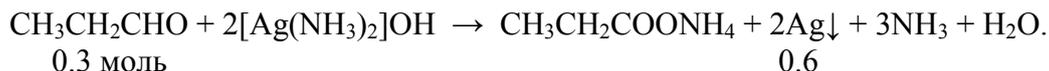
Количество образовавшегося диэтилкетона равно

$$v(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}) = 12.9 / 86 = 0.15 \text{ моль.}$$

Твердый осадок, образовавшийся при прокаливании, это карбонат кальция, его количество составляет:

$$v(\text{CaCO}_3) = 45 / 100 = 0.45 \text{ моль.}$$

Следовательно, в первой реакции образовалось 0.15 моль CaCO_3 , тогда во второй реакции – $(0.45 - 0.15) = 0.3$ моль CaCO_3 . значит, количество пропионового альдегида равно 0.3 моль. Аммиачный раствор оксида серебра реагирует только с пропионовым альдегидом с образованием осадка серебра:



Масса осадка должна равняться $0.6 \cdot 108 = 64.8$ г, что соответствует условию задачи. Тогда количества формиата кальция и пропионата кальция во второй реакции равны 0.15 моль, а общее количество пропионата кальция составляло 0.3 моль.

$$v((\text{HCOO})_2\text{Ca}) = 0.15 \text{ моль, } m = 0.15 \cdot 130 = 19.5 \text{ г,}$$

$$v((\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}) = 0.3 \text{ моль, } m = 0.3 \cdot 186 = 55.8 \text{ г.}$$

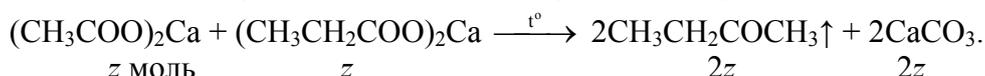
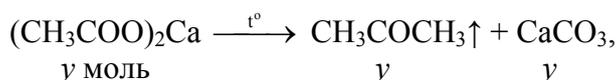
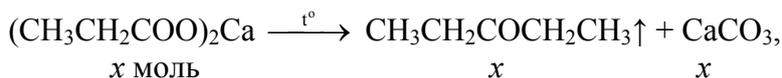
Массовая доля формиата кальция:

$$\omega((\text{HCOO})_2\text{Ca}) = 19.5 / 75.3 = 0.259 (25.9 \%).$$

Ответ: 25.9 %

10.3. Эквимолярную смесь ацетата и пропионата кальция прокалили при 440°C . Масса твердого остатка составила 40.0 г. При охлаждении газообразных продуктов прокаливании до 20°C получена жидкость, к которой прибавили избыток водного раствора йода и щелочи, при этом выпал желтоватый осадок, а масса не растворившейся в воде жидкости составила 8.6 г (растворимостью этого вещества в воде можно пренебречь). Чему равна масса выпавшего осадка? (**14 баллов**)

Решение. При прокаливании смеси кальциевых солей могут протекать следующие реакции:



Твердый остаток, образовавшийся при прокаливании, это карбонат кальция, его количество составляет

$$v(\text{CaCO}_3) = 40 / 100 = 0.4 \text{ моль.}$$

Поскольку количество CaCO_3 соответствует общему количеству исходных солей, а исходная смесь, по условию задачи, содержала их в равных количествах, то

$$v((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}) = v((\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}) = 0.2 \text{ моль.}$$

В результате протекающих реакций могут образоваться три кетона – ацетон, бутанон (метилэтилкетон) и пентанон-3 (диэтилкетон). В условии сказано, что при охлаждении продуктов прокаливании образуется жидкость, которая реагирует с избытком водного раствора йода и щелочи с образованием осадка. Это *галоформная реакция*, в которую вступают метилкетоны, т. е. кетоны, в которых метильная группа расположена рядом с карбонильной. В эту реакцию могут вступить только ацетон и метилэтилкетон.

Не растворившаяся в воде жидкость – это диэтилкетон массой 8.6 г, его количество составляет

$$v(\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}) = 8.6 / 86 = 0.1 \text{ моль.}$$

Следовательно, количество карбоната кальция, образовавшегося в первой реакции, также равно 0.1 моль. Тогда количество CaCO_3 , полученного во второй и третьей реакциях, равно 0.3 моль ($y + 2z = 0.3$), и общее количество ацетона и бутанола тоже равно 0.3 моль.

Галоформная реакция:



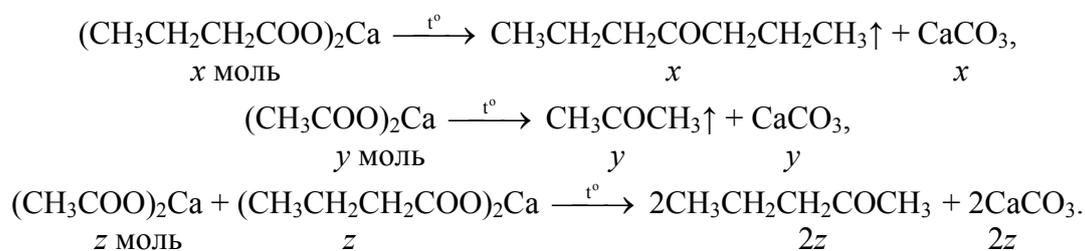
Количество выпавшего в осадок иодоформа (трийодметана) равно 0.3 моль, его масса:

$$m(\text{CHI}_3) = 0.3 \cdot 394 = 118.2 \text{ г.}$$

Ответ: 118.2 г.

10.4. Эквимолярную смесь ацетата и бутаноата кальция прокалили при 450°C . Масса твердого остатка составила 6.0 г. При охлаждении газообразных продуктов прокаливания до 20°C получена жидкость, к которой прибавили избыток водного раствора иода и щелочи, при этом выпал желтоватый осадок, а масса не растворившейся в воде жидкости составила 2.28 г (растворимостью этого вещества в воде можно пренебречь). Чему равна масса выпавшего осадка? **(14 баллов)**

Решение. При прокаливании смеси кальциевых солей могут протекать следующие реакции:



Твердый остаток, образовавшийся при прокаливании, это карбонат кальция, его количество равно

$$v(\text{CaCO}_3) = 6 / 100 = 0.06 \text{ моль.}$$

Поскольку количество CaCO_3 равно общему количеству исходных солей, а исходная смесь, по условию, содержала их в равных количествах, то

$$v((\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca}) = v((\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COO})_2\text{Ca}) = 0.03 \text{ моль.}$$

В результате протекающих реакций могут образоваться три кетона – ацетон, пентанон-2 (метилпропилкетон) и гептанон-4 (дипропилкетон). В условии задачи сказано, что при охлаждении продуктов прокаливания образуется жидкость, которая реагирует с избытком водного раствора иода и щелочи с образованием осадка. Это галоформная реакция, в которую вступают метилкетоны, т. е. кетоны, в которых метильная группа расположена рядом с карбонильной. В эту реакцию могут вступить только ацетон и метилпропилкетон. Не растворившаяся в воде жидкость – это дипропилкетон массой 2.28 г. Его количество

$$v(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}) = 2.28 / 114 = 0.02 \text{ моль.}$$

Следовательно, количество карбоната кальция, образовавшегося в первой реакции также равно 0.02 моль. Тогда количество CaCO_3 , полученного во второй и третьей реакциях, равно 0.04 моль ($y + 2z = 0.04$), и суммарное количество ацетона и бутанола тоже равно 0.04 моль.



В соответствии с уравнением реакции, количество выпавшего в осадок иодоформа (трийодметана) равно 0.04 моль, его масса составляет

$$m(\text{CHI}_3) = 0.04 \cdot 394 = 15.76 \text{ г.}$$

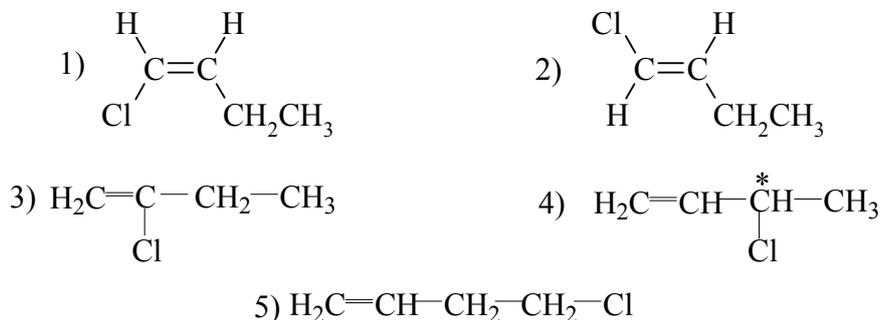
Ответ: 15.76 г.

Варианты и решения
заданий заочного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 10-11 классов
(декабрь)

Задание 1

1.1. Нарисуйте структурные формулы всех монохлорпроизводных бутена-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода. (6 баллов)

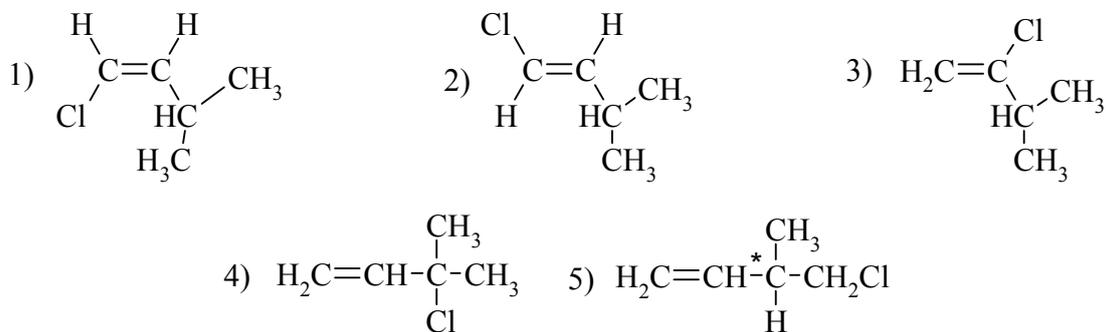
Ответ:



Обратите внимание, что 1-хлорбутен-1 имеет *цис*- и *транс*-изомеры (структуры 1 и 2). Асимметрический атом углерода присутствует в структуре 4 (помечен звездочкой), это означает, что данное соединение существует в виде двух оптических изомеров.

1.2. Нарисуйте структурные формулы всех монохлорпроизводных 3-метилбутена-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода. (6 баллов)

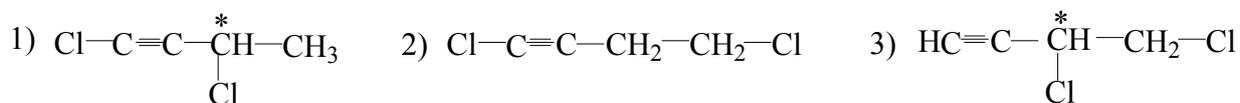
Ответ:

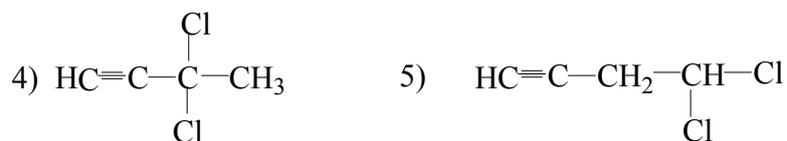


Обратите внимание, что 3-метил-1-хлорбутен-1 имеет *цис*- и *транс*-изомеры (структуры 1 и 2). Асимметрический атом углерода присутствует в структуре 5 (помечен звездочкой), это означает, что данное соединение существует в виде двух оптических изомеров.

1.3. Нарисуйте структурные формулы всех дихлорпроизводных бутена-1. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода. (6 баллов)

Ответ:

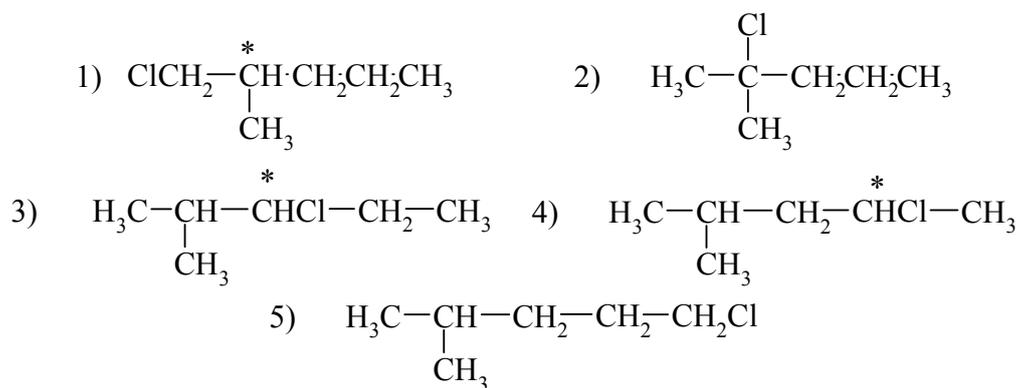




Асимметрические атомы углерода присутствуют в структурах 1 и 3 (помечены звездочками), это означает, что данные соединения существуют в виде двух оптических изомеров.

1.4. Нарисуйте структурные формулы всех монохлорпроизводных 2-метилпентана. Укажите соединения, содержащие асимметрический атом углерода. **(6 баллов)**

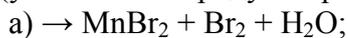
Ответ:



Асимметрические атомы углерода присутствуют в структурах 1, 3 и 4 (помечены звездочками), это означает, что данные соединения существуют в виде двух оптических изомеров.

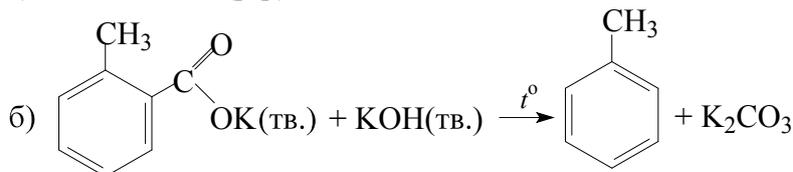
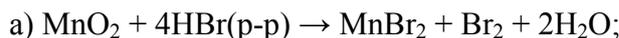
Задание 2

2.1. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



Напишите уравнения соответствующих химических реакций, укажите условия их протекания. (6 баллов)

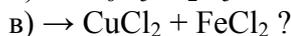
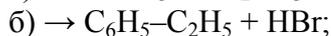
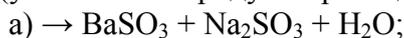
Решение.



(реакция декарбоксилирования);

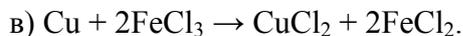
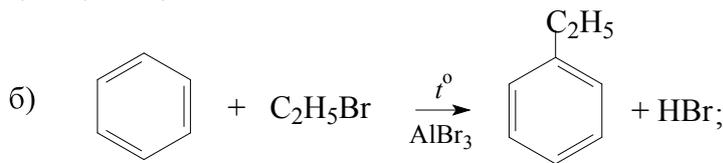
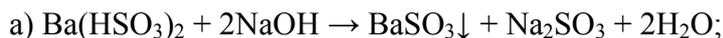


2.2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



Напишите уравнения соответствующих химических реакций, укажите условия их протекания. (6 баллов)

Решение.

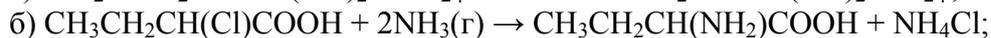


2.3. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



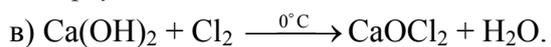
Напишите уравнения соответствующих химических реакций, укажите условия их протекания. (6 баллов)

Решение.

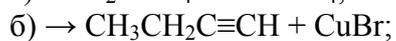


2-хлорбутановая кислота

2-аминобутановая кислота

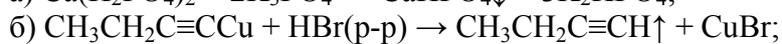
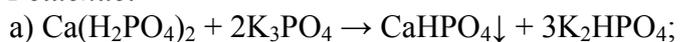


2.4. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



Напишите уравнения соответствующих химических реакций, укажите условия их протекания. **(6 баллов)**

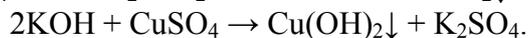
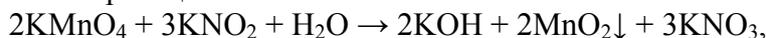
Решение.



Задание 3

3.1. При взаимодействии водного раствора перманганата калия с нитритом калия получено 17.4 г осадка. Осадок был отфильтрован. Рассчитайте массу осадка, который образуется при добавлении к фильтрату избытка сульфата меди. **(8 баллов)**

Решение. Уравнения реакций:



$$v(\text{MnO}_2) = m / M = 17.4 / 87 = 0.2 \text{ моль},$$

$$v(\text{KOH}) = v(\text{MnO}_2) = 0.2 \text{ моль},$$

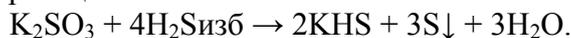
$$v(\text{Cu(OH)}_2) = 0.5 \cdot v(\text{KOH}) = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cu(OH)}_2) = 0.1 \cdot 98 = 9.8 \text{ г}.$$

Ответ: 9.8 г Cu(OH)_2 .

3.2. Через раствор сульфита калия пропустили избыток сероводорода, при этом образовалось 4.8 г осадка. Какая масса осадка может образоваться, если к исходному раствору сульфита калия добавить избыток хлорида стронция? **(8 баллов)**

Решение. Уравнение реакции:



$$v(\text{S}) = m / M = 4.8 / 32 = 0.15 \text{ моль},$$

$$v(\text{K}_2\text{SO}_3) = v(\text{S}) / 3 = 0.15 / 3 = 0.05 \text{ моль}.$$



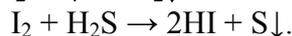
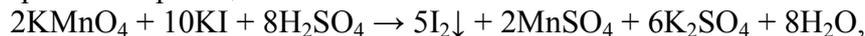
$$v(\text{SrSO}_3) = v(\text{K}_2\text{SO}_3) = 0.05 \text{ моль},$$

$$m(\text{SrSO}_3) = v \cdot M = 0.05 \cdot 148 = 7.4 \text{ г}.$$

Ответ: 7.4 г SrSO_3 .

3.3. Осадок массой 5.08 г, полученный при взаимодействии водного раствора перманганата калия, иодида калия и серной кислоты, отфильтровали и внесли в избыток раствора сероводородной кислоты. Рассчитайте массу конечного осадка. **(8 баллов)**

Решение. Уравнения реакций:



$$v(\text{I}_2) = m / M = 5.08 / 254 = 0.02 \text{ моль},$$

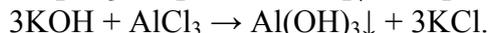
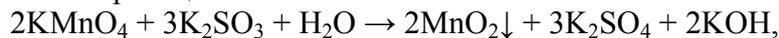
$$v(\text{S}) = v(\text{I}_2) = 0.02 \text{ моль},$$

$$m(\text{S}) = v \cdot M = 0.02 \cdot 32 = 0.64 \text{ г}.$$

Ответ: 0.64 г серы.

3.4. При взаимодействии водного раствора перманганата калия с сульфитом калия получено 3.48 г осадка. Осадок был отфильтрован. Рассчитайте массу осадка, который образуется при добавлении к фильтрату избытка хлорида алюминия. **(8 баллов)**

Решение. Уравнения реакций:



$$v(\text{MnO}_2) = m / M = 3.48 / 87 = 0.04 \text{ моль},$$

$$v(\text{KOH}) = v(\text{MnO}_2) = 0.04 \text{ моль},$$

$$v(\text{Al(OH)}_3) = v(\text{KOH}) / 3 = 0.04 / 3 = 0.0133 \text{ моль},$$

$$m(\text{Al(OH)}_3) = v \cdot M = 0.0133 \cdot 78 = 1.04 \text{ г}.$$

Ответ: 1.04 г Al(OH)_3 .

Задание 4

4.1. Произведение растворимости PbBr_2 при 25°C равно $4.5 \cdot 10^{-6}$. Рассчитайте растворимость (в моль/л) PbBr_2 а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (**8 баллов**)

Решение. а) Пусть растворимость PbBr_2 в чистой воде равна x моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации соли

$$\begin{aligned} \text{PbBr}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{Br}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= x \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{Br}^-] = 2x \text{ моль/л.} \\ \text{ПР}(\text{PbBr}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Br}^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3 = 4.5 \cdot 10^{-6}. \\ \text{Отсюда} \quad x &= \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = 1.0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

б) Пусть растворимость PbBr_2 в 0.1 М растворе $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ равна y моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации

$$\begin{aligned} \text{PbBr}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{Br}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= y \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{Br}^-] = 2y \text{ моль/л.} \\ \text{Кроме того, концентрация ионов } \text{Pb}^{2+} &\text{ в результате диссоциации} \\ \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^- \\ \text{равна } [\text{Pb}^{2+}] &= 0.1 \text{ моль/л.} \\ \text{ПР}(\text{PbBr}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Br}^-]^2 = (y + 0.1) \cdot (2y)^2 = 4.5 \cdot 10^{-6}. \\ \text{Если считать, что } y \ll 0.1, \text{ то } (y + 0.1) \cdot (2y)^2 &\approx 0.1 \cdot (2y)^2. \\ \text{Тогда} \quad 0.1 \cdot (2y)^2 &= 4.5 \cdot 10^{-6}. \\ \text{Отсюда} \quad y &= 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.} \\ \text{Ответ: а) } 1.0 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л; б) } 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

4.2. Произведение растворимости PbI_2 при 25°C равно $8.2 \cdot 10^{-9}$. Рассчитайте растворимость (в моль/л) PbI_2 а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. (**8 баллов**)

Решение. а) Пусть растворимость PbI_2 в чистой воде равна x моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации

$$\begin{aligned} \text{PbI}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= x \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{I}^-] = 2x \text{ моль/л.} \\ \text{ПР}(\text{PbI}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = x \cdot (2x)^2 = 4x^3 = 8.2 \cdot 10^{-9}. \\ \text{Отсюда} \quad x &= \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = 1.3 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

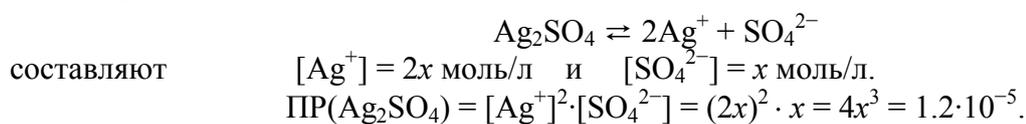
б) Пусть растворимость PbI_2 в 0.1 М растворе $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ равна y моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации

$$\begin{aligned} \text{PbI}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= y \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{I}^-] = 2y \text{ моль/л.} \\ \text{Кроме того, концентрация ионов } \text{Pb}^{2+} &\text{ в результате диссоциации} \\ \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- \\ \text{равна } [\text{Pb}^{2+}] &= 0.1 \text{ моль/л.} \\ \text{ПР}(\text{PbI}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = (y + 0.1) \cdot (2y)^2 = 8.2 \cdot 10^{-9}. \\ \text{Если считать, что } y \ll 0.1, \text{ то } (y + 0.1) \cdot (2y)^2 &\approx 0.1 \cdot (2y)^2. \\ \text{Тогда} \quad 0.1 \cdot (2y)^2 &= 8.2 \cdot 10^{-9}. \\ \text{Отсюда} \quad y &= 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

Ответ: а) $1.3 \cdot 10^{-3}$ моль/л; б) $1.4 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

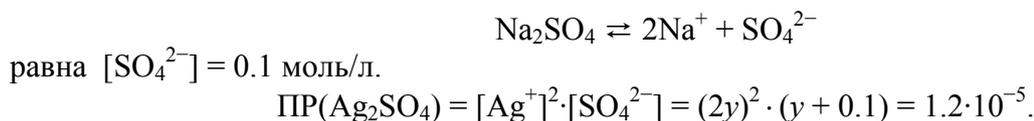
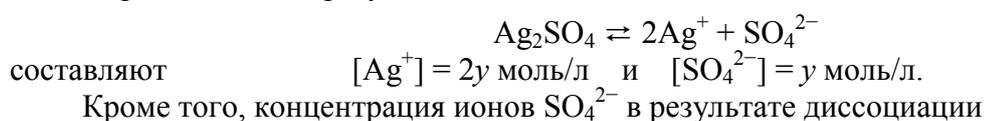
4.3. Произведение растворимости Ag_2SO_4 при 25°C равно $1.2 \cdot 10^{-5}$. Рассчитайте растворимость (в моль/л) Ag_2SO_4 а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе Na_2SO_4 . (8 баллов)

Решение. а) Пусть растворимость Ag_2SO_4 в чистой воде равна x моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



$$\text{Отсюда } x = \sqrt[3]{\frac{\text{ПР}}{4}} = 1.4 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

б) Пусть растворимость Ag_2SO_4 в 0.1 М растворе Na_2SO_4 равна y моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



Если считать, что $y \ll 0.1$, то $(2y)^2 \cdot (y + 0.1) \approx (2y)^2 \cdot 0.1$.

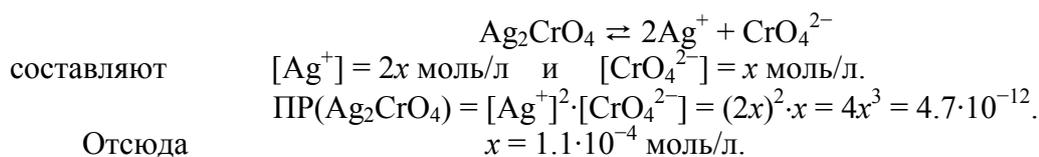
$$\text{Тогда } (2y)^2 \cdot 0.1 = 1.2 \cdot 10^{-5}.$$

$$\text{Отсюда } y = 5.5 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Ответ: а) $1.4 \cdot 10^{-2}$ моль/л; б) $5.5 \cdot 10^{-3}$ моль/л.

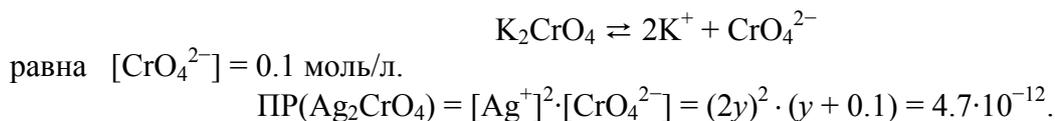
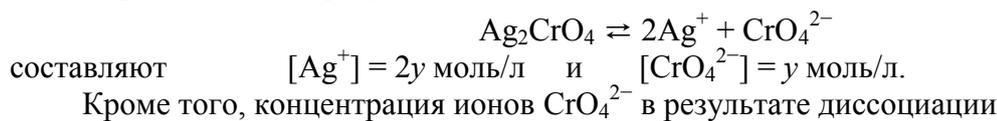
4.4. Произведение растворимости Ag_2CrO_4 при 25°C равно $4.7 \cdot 10^{-12}$. Рассчитайте растворимость (в моль/л) Ag_2CrO_4 а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе K_2CrO_4 . (8 баллов)

Решение. а) Пусть растворимость Ag_2CrO_4 в чистой воде равна x моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



$$\text{Отсюда } x = 1.1 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

б) Пусть растворимость Ag_2CrO_4 в 0.1 М растворе K_2CrO_4 равна y моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



Если считать, что $y \ll 0.1$, то $(2y)^2 \cdot (y + 0.1) \approx (2y)^2 \cdot 0.1$.

$$\text{Тогда } (2y)^2 \cdot 0.1 = 4.7 \cdot 10^{-12}.$$

$$\text{Отсюда } y = 3.4 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Ответ: а) $1.1 \cdot 10^{-4}$ моль/л; б) $3.4 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

Задание 5

5.1. В смеси хлорэтана и 2-хлорпропана общей массой 36.45 г соотношение чисел атомов водорода и хлора составляет 31:5. Определите количество каждого газа и объем, который будет занимать данная порция смеси при 70°C и 780 мм рт. ст. (10 баллов)

Решение. Масса смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + m(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + \nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) \cdot M(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) = \\ = \nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot 64.5 + \nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) \cdot 78.5 = 36.45;$$

$$N(\text{H}) / N(\text{Cl}) = \nu(\text{H}) / \nu(\text{Cl}) = (5\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + 7\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl})) / (\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) + \nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl})) = 31 / 5.$$

Из второго уравнения выражаем количество хлорпропана через количество хлорэтана:

$$4\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) = 6\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}), \\ \nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) = 1.5\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl})$$

и подставляем в первое уравнение:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot 64.5 + 1.5\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) \cdot 78.5 = 36.45,$$

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}) = 0.2 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}) = 0.3 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{смеси}) = 0.2 + 0.3 = 0.5 \text{ моль}.$$

$$T = 343 \text{ К}, \quad p = 780 \cdot 101.3 / 760 = 104 \text{ кПа}.$$

$$V(\text{смеси}) = \nu(\text{смеси})RT / p = 0.5 \cdot 8.31 \cdot 343 / 104 = 13.7 \text{ л}.$$

Ответ: 0.2 моль C₂H₅Cl, 0.3 моль C₃H₇Cl; 13.7 л.

5.2. Смесь монооксида азота и диоксида азота общей массой 53 г содержит $9.03 \cdot 10^{23}$ атомов азота. Определите количества каждого из газов. Как изменится плотность смеси газов при добавлении к ней CO₂ (при неизменных температуре и давлении)? Ответ аргументируйте. (10 баллов)

Решение. Масса смеси газов:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{NO}) + m(\text{NO}_2) = \nu(\text{NO}) \cdot M(\text{NO}) + \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2) = \\ = \nu(\text{NO}) \cdot 30 + \nu(\text{NO}_2) \cdot 46 = 53,$$

$$\nu(\text{N}) = N(\text{N}) / N_a = 9.03 \cdot 10^{23} / (6.02 \cdot 10^{23}) = 1.5 = \nu(\text{NO}) + \nu(\text{NO}_2).$$

Мы получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\nu(\text{NO}) \cdot 30 + \nu(\text{NO}_2) \cdot 46 = 53,$$

$$\nu(\text{NO}) + \nu(\text{NO}_2) = 1.5.$$

Решая ее, находим $\nu(\text{NO}) = 1$ моль, $\nu(\text{NO}_2) = 0.5$ моль.

$$M_{\text{ср}} = (\nu(\text{NO}) \cdot M(\text{NO}) + \nu(\text{NO}_2) \cdot M(\text{NO}_2)) / \nu(\text{смеси}) = (1 \cdot 30 + 0.5 \cdot 46) / 1.5 = 35.3 \text{ г/моль}.$$

К смеси газов добавляется более тяжелый компонент:

$$M(\text{CO}_2) = 44 \text{ г/моль}, \quad (M(\text{CO}_2) > M_{\text{ср}}),$$

следовательно, молярная масса новой газовой смеси увеличится. Последнее означает также и увеличение плотности газовой смеси.

Ответ: 1 моль NO, 0.5 моль NO₂; плотность смеси возрастет.

5.3. Смесь этана и бутана общей массой 89 г содержит $3.1906 \cdot 10^{25}$ протонов. Определите количества газов. Рассчитайте плотность смеси при 40°C и давлении 0.95 атм. (10 баллов)

Решение. Масса смеси:

$$m(\text{смеси}) = m(\text{C}_2\text{H}_6) + m(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \nu(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6) + \nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_{10}) = \\ = \nu(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot 30 + \nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot 58 = 89,$$

$$\nu(p) = N(p) / N_a = 3.1906 \cdot 10^{25} / (6.02 \cdot 10^{23}) = 53 = 18 \cdot \nu(\text{C}_2\text{H}_6) + 34 \cdot \nu(\text{C}_4\text{H}_{10}).$$

Мы получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

$$\nu(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot 30 + \nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot 58 = 89,$$

$$18 \cdot \nu(\text{C}_2\text{H}_6) + 34 \cdot \nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 53.$$

Решение системы: $\nu(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0.5$ моль, $\nu(\text{C}_2\text{H}_6) = 2$ моль.

$$M(\text{смеси}) = (v(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_{10}) + v(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6)) / v(\text{смеси}) = \\ = (0.5 \cdot 58 + 2 \cdot 30) / 2.5 = 28.64 \text{ г/моль.}$$

$$pV = \nu RT = mRT/M,$$

откуда $\rho = m / V = pM / RT = 0.95 \cdot 101.3 \cdot 28.64 / (8.314 \cdot 313) = 1.06 \text{ г/л.}$

Ответ: 0.5 моль C_4H_{10} , 2 моль C_2H_6 ; 1.06 г/л.

5.4. В смеси SO_2 и SO_3 масса серы в 1.35 раза меньше массы кислорода. Рассчитайте массовые и мольные доли компонентов смеси. **(10 баллов)**

Решение. Отношение общей массы кислорода к общей массе серы в смеси:

$$m(\text{O}) / m(\text{S}) = \nu(\text{O}) \cdot M(\text{O}) / (\nu(\text{S}) \cdot M(\text{S})) = \\ = (16 \cdot (2\nu(\text{SO}_2) + 3\nu(\text{SO}_3))) / (32 \cdot (\nu(\text{SO}_2) + \nu(\text{SO}_3))) = 1.35, \\ 2\nu(\text{SO}_2) + 3\nu(\text{SO}_3) = 2.7\nu(\text{SO}_2) + 2.7\nu(\text{SO}_3), \\ 0.3\nu(\text{SO}_3) = 0.7\nu(\text{SO}_2), \\ \nu(\text{SO}_3) = 2.33\nu(\text{SO}_2).$$

Мольные доли компонентов смеси:

$$x(\text{SO}_3) = \nu(\text{SO}_3) / \nu(\text{смеси}) = 2.33\nu(\text{SO}_2) / (2.33\nu(\text{SO}_2) + \nu(\text{SO}_2)) = 0.7 \text{ (или 70\%)}, \\ x(\text{SO}_2) = 0.3 \text{ (30\%)}.$$

Массовые доли:

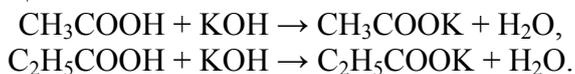
$$\omega(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3) / m(\text{смеси}) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) / (\nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) + \nu(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2)) = \\ = x(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) / (x(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) + x(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2)) = \\ 0.7 \cdot 80 / (0.7 \cdot 80 + 0.3 \cdot 64) = 0.745 \text{ (или 74.5\%)}, \\ \omega(\text{SO}_2) = 0.255 \text{ (25.5\%)}.$$

Ответ: по молям 30% SO_2 , 70% SO_3 ; по массе 25.5% SO_2 , 74.5% SO_3 .

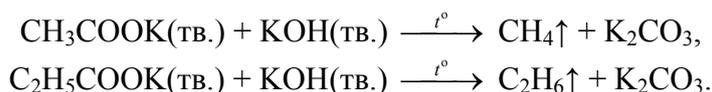
Задание 6

6.1. Смесь уксусной и пропионовой кислот нейтрализовали 86.15 мл 20%-го раствора гидроксида калия с плотностью 1.3 г/мл. Образовавшийся раствор выпарили и прокалили с избытком твёрдой щёлочи. При этом выделился газ с плотностью по воздуху 0.914. Определите состав газа и объёмные доли соединений в нём. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси. **(10 баллов)**

Решение. Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



Пусть уксусной кислоты в исходной смеси было x моль, а пропионовой – y моль. Выделившиеся газы – метан и этан. На нейтрализацию было израсходовано 0.4 моль щёлочи:

$$x + y = 0.4.$$

$$M(\text{газовой смеси}) = M(\text{воздуха}) \cdot D = 0.914 \cdot 29 = 26.5 \text{ г/моль}.$$

Тогда

$$\begin{aligned}26.5 &= 16x + 30y / (x + y), \\ 3x &= y, \\ x &= 0.1, \quad y = 0.3.\end{aligned}$$

Объёмные доли газов в смеси:

$$\begin{aligned}\varphi(\text{CH}_4) &= 0.1 / 0.4 = 0.25 \text{ (или 25\%)}, \\ \varphi(\text{C}_2\text{H}_6) &= 0.3 / 0.4 = 0.75 \text{ (или 75\%)}. \end{aligned}$$

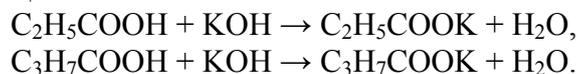
Масса смеси кислот:

$$\begin{aligned}m(\text{кислот}) &= 0.1 \cdot 60 + 0.3 \cdot 74 = 28.2 \text{ г}, \\ \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 6 / 28.2 = 0.213 \text{ (или 21.3\%)}, \\ \omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) &= 22.2 / 28.2 = 0.787 \text{ (или 78.7\%)}. \end{aligned}$$

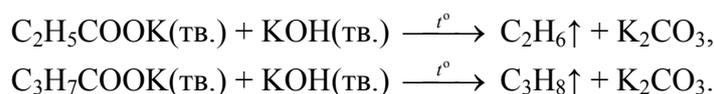
Ответ: $\varphi(\text{CH}_4)$ 25%, $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 75%, $\omega(\text{CH}_3\text{COOH})$ 21.3%, $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$ 78.7%.

6.2. Смесь пропионовой и масляной кислот нейтрализовали 213 мл 12%-го раствора гидроксида калия с плотностью 1.1 г/мл. Образовавшийся раствор выпарили и прокалили с избытком твёрдой щёлочи. При этом выделился газ с плотностью по оксиду азота (IV) 0.855. Определите состав газа и объёмные доли соединений в нём. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси. **(10 баллов)**

Решение. Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



Пусть пропионовой кислоты в исходной смеси было x моль, а масляной – y моль. Выделившиеся газы – этан и пропан. На нейтрализацию было израсходовано 0.45 моль щёлочи:

$$x + y = 0.45.$$

$$M(\text{газовой смеси}) = M(\text{NO}_2) \cdot D = 0.855 \cdot 46 = 39.33 \text{ г/моль},$$

тогда

$$39.33 = 30x + 44y / (x + y),$$

отсюда

$$2x = y, \quad x = 0.15, \quad y = 0.3.$$

Объёмные доли газов в смеси:

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 0.1 / 0.4 = 0.333 \text{ (или 33.3\%)},$$

$$\varphi(\text{C}_3\text{H}_8) = 0.3 / 0.4 = 0.667 \text{ (или 66.7\%)}$$

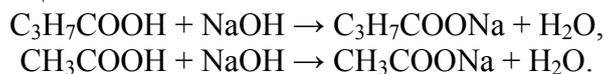
Масса смеси кислот:

$$\begin{aligned} m(\text{кислот}) &= 0.15 \cdot 74 + 0.3 \cdot 88 = 37.5 \text{ г,} \\ \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 11.1 / 37.5 = 0.296 \text{ (или 29.6\%),} \\ \omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) &= 26.4 / 37.5 = 0.704 \text{ (или 70.4\%).} \end{aligned}$$

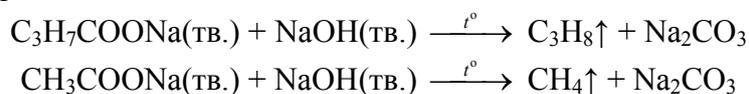
Ответ: $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 33.3%. $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8)$ 66.7%. $\omega(\text{CH}_3\text{COOH})$ 29.6%, $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$ 70.4%.

6.3. Смесь масляной и уксусной кислот нейтрализовали 155.34 мл 5%-го раствора гидроксида натрия с плотностью 1.03 г/мл. Образовавшийся раствор выпарили и прокалили с избытком твёрдой щёлочи. При этом выделился газ с плотностью по кислороду 0.719. Определите состав газа и объёмные доли соединений в нём. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси. **(10 баллов)**

Решение. Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



Пусть масляной кислоты в исходной смеси было x моль, а уксусной – y моль. Выделившиеся газы – этан и пропан. На нейтрализацию было израсходовано 0.2 моль щёлочи:

$$x + y = 0.2.$$

$$M(\text{газовой смеси}) = M(\text{O}_2) \cdot D = 0.719 \cdot 32 = 23 \text{ г/моль,}$$

тогда

$$23 = 44x + 16y / (x + y),$$

отсюда

$$3x = y, x = 0.05, y = 0.15.$$

Объёмные доли газов в смеси:

$$\begin{aligned} \varphi(\text{C}_3\text{H}_8) &= 0.05 / 0.2 = 0.25 \text{ (или 25\%),} \\ \varphi(\text{CH}_4) &= 0.15 / 0.2 = 0.75 \text{ (или 75\%).} \end{aligned}$$

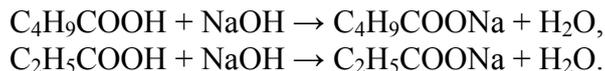
Масса смеси кислот:

$$\begin{aligned} m(\text{кислот}) &= 0.05 \cdot 88 + 0.15 \cdot 60 = 13.4 \text{ г,} \\ \omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) &= 4.4 / 13.4 = 0.328 \text{ (или 32.8\%),} \\ \omega(\text{CH}_3\text{COOH}) &= 9 / 13.4 = 0.672 \text{ (или 67.2\%).} \end{aligned}$$

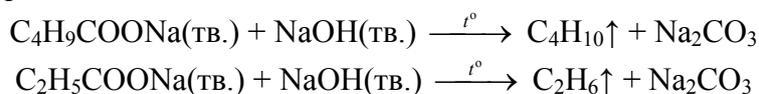
Ответ: $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8)$ 25%, $\varphi(\text{CH}_4)$ 75%, $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH})$ 32.8%, ω 67.2%.

6.4. Смесь валериановой и пропионовой кислот нейтрализовали 238.1 мл 8%-го раствора гидроксида натрия с плотностью 1.05 г/мл. Образовавшийся раствор выпарили и прокалили с избытком твёрдой щёлочи. При этом выделился газ с плотностью по водороду 17.8. Определите состав газа и объёмные доли соединений в нём. Рассчитайте массовые доли кислот в исходной смеси. **(10 баллов)**

Решение. Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



Пусть валериановой кислоты в исходной смеси было x моль, а пропионовой – y моль. Выделившиеся газы – бутан и этан. На нейтрализацию было израсходовано 0.2 моль щёлочи:

$$x + y = 0.2.$$

$$M(\text{газовой смеси}) = M(\text{H}_2) \cdot D = 17.8 \cdot 2 = 35.6 \text{ г/моль,}$$

тогда

$$35.6 = 58x + 30y / (x + y).$$

Отсюда

$$4x = y, x = 0.1, y = 0.4.$$

Объёмные доли газов в смеси:

$$\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10}) = 0.1 / 0.5 = 0.20 \text{ (или 20\%)},$$

$$\varphi(\text{C}_2\text{H}_6) = 0.4 / 0.5 = 0.80 \text{ (или 80\%)}.$$

Масса смеси кислот:

$$m(\text{кислот}) = 0.1 \cdot 102 + 0.4 \cdot 74 = 39.8 \text{ г},$$

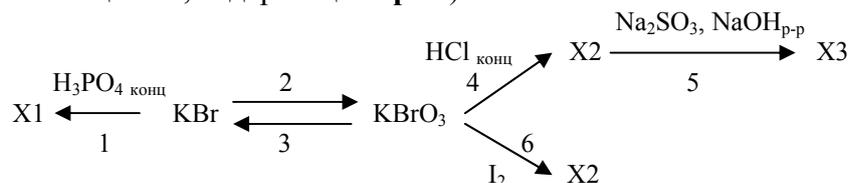
$$\omega(\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}) = 10.2 / 39.8 = 0.256 \text{ (или 25.6\%)},$$

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 29.6 / 39.8 = 0.744 \text{ (или 74.4\%)}.$$

Ответ: $\varphi(\text{C}_4\text{H}_{10})$ 20%, $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$ 80%, $\omega(\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH})$ 25.6%, $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$ 74.4%.

Задание 7

7.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие **бром**):

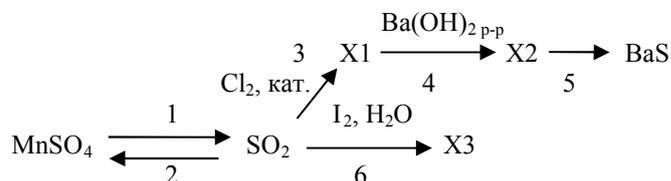


(12 баллов)

Решение.

- $\text{KBr} + \text{H}_3\text{PO}_4 \text{ конц} \longrightarrow \text{HBr} + \text{KH}_2\text{PO}_4$ (X1 - HBr)
- $\text{KBr} + 3\text{Cl}_2 + 6\text{KOH} \longrightarrow \text{KBrO}_3 + 6\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O}$
или $\text{KBr} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow[\text{t}^\circ]{\text{электролиз без диафрагмы}} \text{KBrO}_3 + 3\text{H}_2$
- $2\text{KBrO}_3 \longrightarrow 2\text{KBr} + 3\text{O}_2$
- $2\text{KBrO}_3 + 12\text{HCl}_{\text{ конц}} \longrightarrow \text{Br}_2 + 5\text{Cl}_2 + 2\text{KCl} + 6\text{H}_2\text{O}$ (X2 – Br₂)
- $\text{Br}_2 + \text{Na}_2\text{SO}_3 + 2\text{NaOH}_{\text{p-p}} \longrightarrow 2\text{NaBr} + \text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$ (X3 - NaBr)
- $2\text{KBrO}_3 + \text{I}_2 \xrightarrow{\text{H}_2\text{SO}_{4\text{p-p}}} 2\text{KIO}_3 + \text{Br}_2$ (X2 – Br₂)

7.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие **серу**):

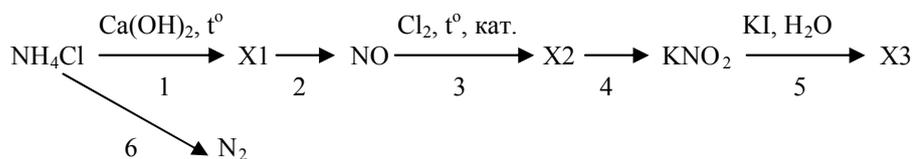


(12 баллов)

Решение.

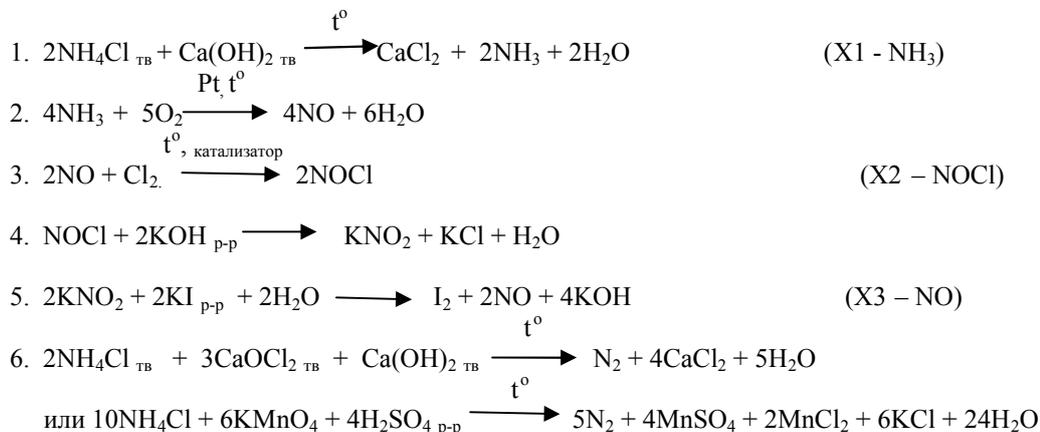
- $\text{MnSO}_4 \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{MnO}_2 + \text{SO}_2$
или $3\text{MnSO}_4 \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{Mn}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2 + \text{O}_2$
- $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$
- $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} \text{SO}_2\text{Cl}_2$ (X1 – SO₂Cl₂)
- $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{Ba(OH)}_2 \text{ p-p} \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{BaSO}_4 + \text{BaCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ (X2 – BaSO₄)
- $\text{BaSO}_4 + 4\text{H}_2 \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{BaS} + 4\text{H}_2\text{O}$
или $\text{BaSO}_4 + 4\text{C} \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{BaS} + 4\text{CO}$
- $\text{SO}_2 + \text{I}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HI}$ (X3 – H₂SO₄)

7.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие **азот**):

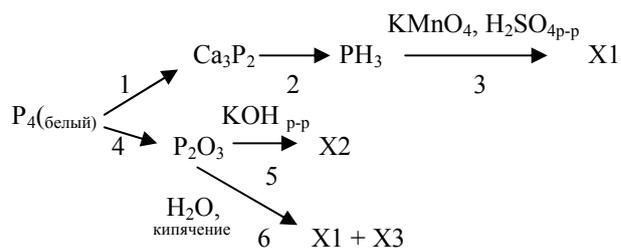


(12 баллов)

Решение.

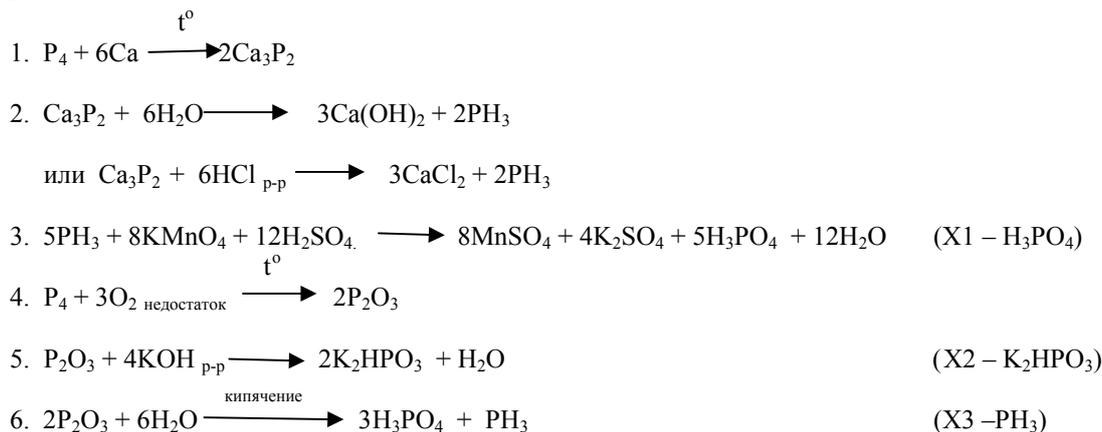


7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие **фосфор**):



(12 баллов)

Решение.



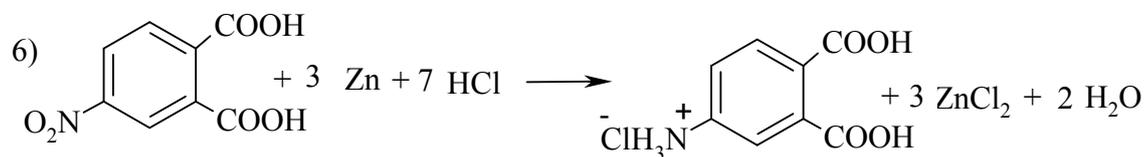
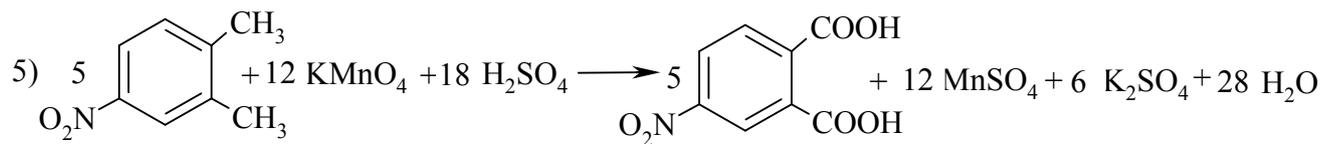
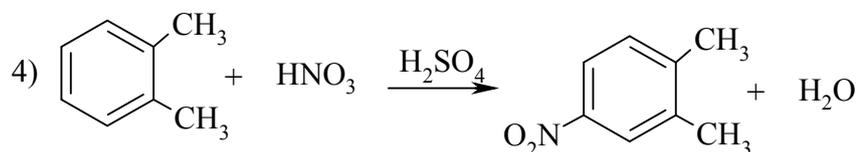
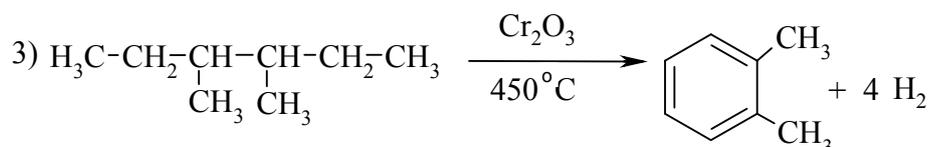
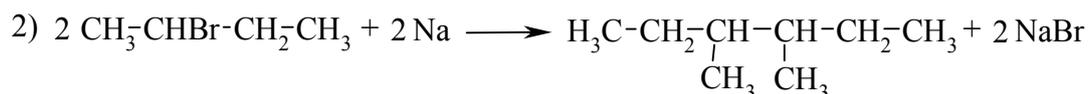
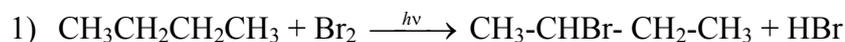
Задание 8

8.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:

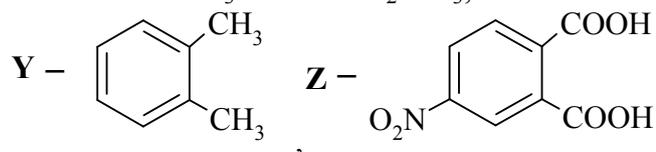


Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

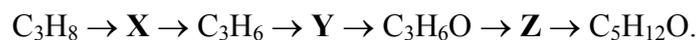
Решение:



Ответ: **X** – $CH_3-CHBr-CH_2-CH_3$,

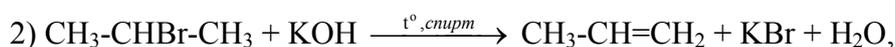
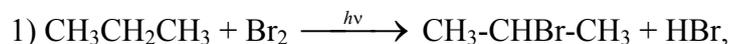


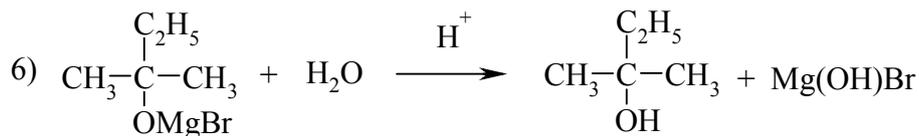
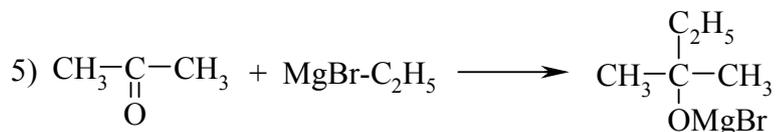
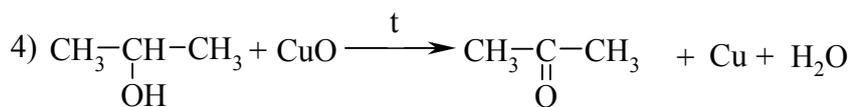
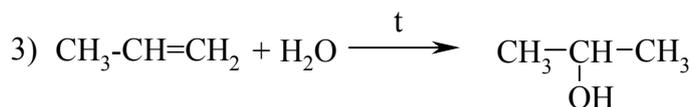
8.2. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



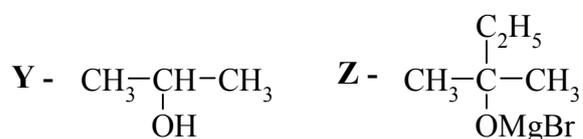
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

Решение:

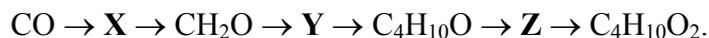




Ответ: X – CH₃-CHBr-CH₃,

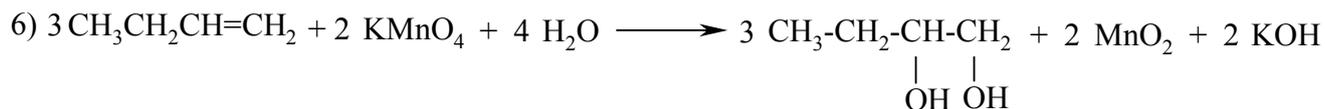
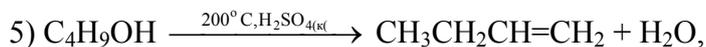
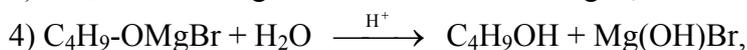
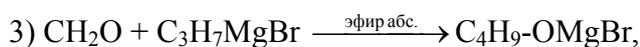
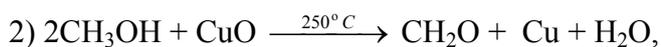
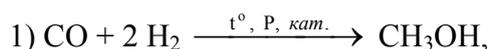


8.3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение:



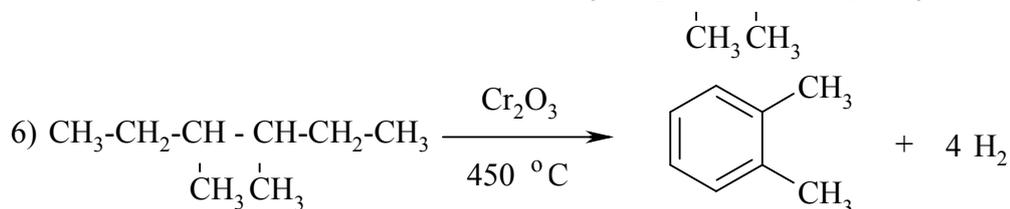
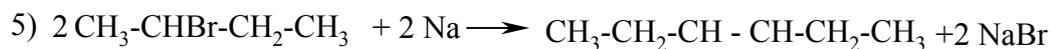
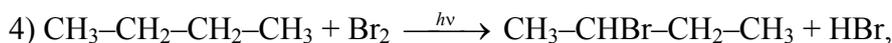
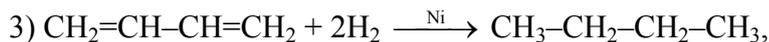
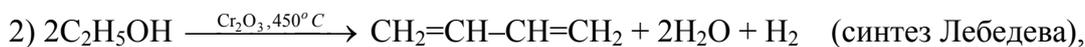
Ответ: X – CH₃OH, Y – C₄H₉-OMgBr, Z – CH₃CH₂CH=CH₂.

8.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение:



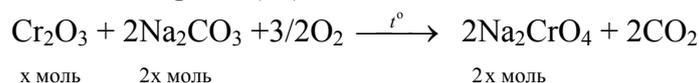
Ответ: **X** – C_2H_5OH , **Y** – $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$,
Z – $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$.

Задание 9

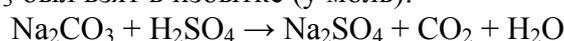
9.1. При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 129.0 г и выделился газ. Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7.34 л того же газа (25°C, 1 атм) и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении были взяты для сплавления исходные твердые вещества? Какая масса осадка может быть получена при пропускании через этот раствор газообразного сероводорода? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? **(14 баллов)**

Решение:

Пусть было взято x моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что Na_2CO_3 был взят в избытке (y моль):



$y = pV/RT = (101,325 \cdot 7,34)/(8,314 \cdot 298) = 0,3$ моль (избыток карбоната натрия в исходной смеси).

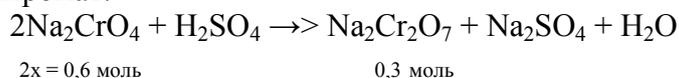
Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося Na_2CrO_4 и избытка Na_2CO_3) равна 129 г, значит, $2x \cdot 162 + 0,3 \cdot 106 = 129$, $x = 0,3$ моль.

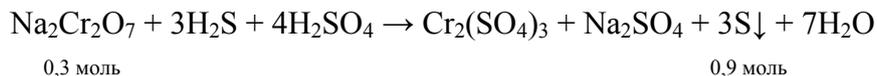
Таким образом, в исходной смеси было 0,3 моль Cr_2O_3 и $(2x + 0,3) = 0,9$ моль Na_2CO_3 .

Мольное соотношение исходных реагентов $0,3/0,9 = 1/3$.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой образовавшийся хромат натрия переходит в бихромат:



При пропускании через сернокислый раствор бихромата натрия сероводорода выпадает аморфная сера:



Масса выпавшего осадка аморфной серы $0,9 \cdot 32 = 28,8$ г.

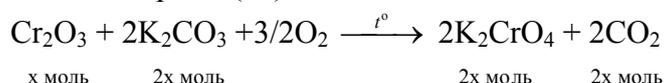
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Ответ: $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/3$, $m = 28,8$ г, раствор имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

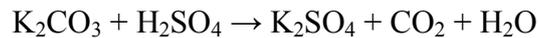
9.2. При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната калия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 182.8 г и выделилось 19.56 л газа (25°C, 1 атм). Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении были взяты для сплавления исходные твердые вещества? Какой объем раствора сульфида калия с концентрацией 1 моль/л нужно добавить к этому раствору, чтобы выпало максимальное количество осадка? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? **(14 баллов)**

Решение:

Пусть было взято x моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что K_2CO_3 был взят в избытке (y моль):



Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

При сплавлении выделилось $2x$ моль углекислого газа, $2x = pV/RT =$

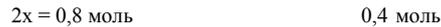
$(101,325 \cdot 19,56)/(8,314 \cdot 298) = 0,8$ моль; $x = 0,4$ моль.

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося K_2CrO_4 и избытка K_2CO_3) равна 182,2 г, значит, $2x \cdot 194 + 138y = 182,2$; $y = 0,2$ моль.

Таким образом, в исходной смеси было 0,4 моль Cr_2O_3 и $(2 \cdot 0,4 + 0,2) = 1$ моль K_2CO_3 .

Мольное соотношение исходных реагентов $0,4/1 = 2/5$.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой образовавшийся хромат калия переходит в бихромат:



При добавлении к сернокислому раствору бихромата калия раствора сульфида калия выпадает аморфная сера:



Максимальное количество осадка аморфной серы выпадет, если взять бихромат калия и сульфид калия в стехиометрическом соотношении 1:3, т.е. раствор сульфида калия должен содержать 1,2 моль K_2S . Значит, потребуется взять $1,2$ (моль)/1(моль/л) = 1,2 л раствора сульфида калия.

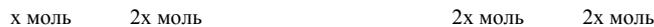
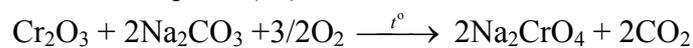
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Ответ: $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 2/5$, $V = 1.2$ л, раствор имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

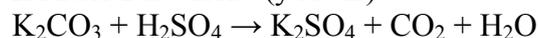
9.3. При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 107.2 г и выделилось 9.78 л газа (25°C , 1 атм). Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию раствора. В каком мольном соотношении были взяты для сплавления исходные твердые вещества? Какой объем раствора сульфида натрия с концентрацией 1.5 моль/л нужно добавить к этому раствору, чтобы получить максимальное количество осадка? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? (**14 баллов**)

Решение:

Пусть было взято x моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что K_2CO_3 был взят в избытке (y моль):



При сплавлении выделилось $2x$ моль углекислого газа, $2x = pV/RT =$

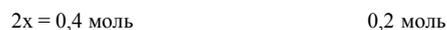
$(101,325 \cdot 9,78)/(8,314 \cdot 298) = 0,4$ моль; $x = 0,2$ моль.

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося Na_2CrO_4 и избытка Na_2CO_3) равна 107,2 г, значит, $2 \cdot 0,2 \cdot 162 + 106y = 107,2$; $y = 0,4$ моль.

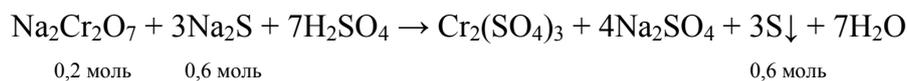
Таким образом, в исходной смеси было 0,2 моль Cr_2O_3 и $(2 \cdot 0,2 + 0,4) = 0,8$ моль Na_2CO_3 .

Мольное соотношение исходных реагентов $0,2/0,8 = 1/4$.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой образовавшийся хромат натрия переходит в бихромат:



При добавлении к сернокислому раствору бихромата натрия раствора сульфида натрия выпадает аморфная сера:



Максимальное количество осадка аморфной серы выпадет, если взять бихромат натрия и сульфид натрия в стехиометрическом соотношении 1:3, т.е. раствор сульфида натрия должен содержать 0,6 моль Na_2S . Значит, потребуется взять $0,6 \text{ (моль)}/1,5 \text{ (моль/л)} = 0,4 \text{ л}$ раствора сульфида натрия.

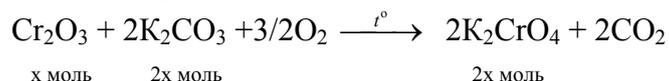
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Ответ: $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/4$, $V = 0.4 \text{ л}$, раствор имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

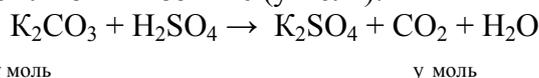
9.4. При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната калия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 80.2 г и выделился газ. Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7.34 л того же газа (25°C , 1 атм) и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении были взяты для сплавления исходные твердые вещества? Какая масса осадка может быть получена при пропускании через этот раствор газообразного сероводорода? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? **(14 баллов)**

Решение:

Пусть было взято x моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что K_2CO_3 был взят в избытке (y моль):



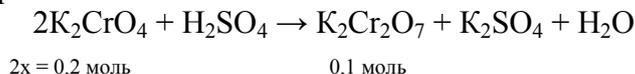
$y = pV/RT = (101,325 \cdot 7,34)/(8,314 \cdot 298) = 0,3 \text{ моль}$ (избыток карбоната калия в исходной смеси).

Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

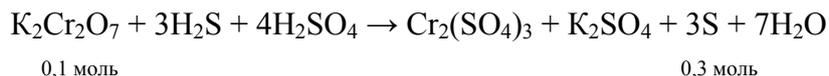
Масса твердого остатка (смеси образовавшегося K_2CrO_4 и избытка K_2CO_3) равна 80,2 г, значит, $2x \cdot 194 + 0,3 \cdot 138 = 80,2$, $x = 0,1 \text{ моль}$.

Таким образом, в исходной смеси было 0,1 моль Cr_2O_3 и $(2x + 0,3) = 0,5 \text{ моль}$ K_2CO_3 . Мольное соотношение исходных реагентов $0,1/0,5 = 1/5$.

При обработке твердого остатка разбавленной серной кислотой образовавшийся хромат калия переходит в бихромат:



При пропускании через серноокислый раствор бихромата калия сероводорода выпадает аморфная сера:



Масса выпавшего осадка аморфной серы $0,3 \cdot 32 = 9,6 \text{ г}$.

Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Ответ: $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1/5$, $m = 9.6 \text{ г}$, раствор имеет зеленый цвет ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Задание 10

10.1. Некоторый объем воды, взятой при температуре 25°C , закипает на газовой горелке за 25 мин. После закипания в воду положили 200 г льда, имеющего температуру 0°C . Определите температуру воды после установления равновесия в системе, если метан выходит из горелки со скоростью 5.7 мл/с (измерено при 25°C и 1 атм), теплота плавления льда и теплота сгорания метана равны -79.67 ккал/г и 212.7 ккал/моль соответственно, а теплоемкость воды составляет 1 ккал/(К·г). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь. **(14 баллов)**

Решение. Рассчитаем объем и количество вышедшего из горелки метана:

$$V(\text{CH}_4) = v \cdot t = 5.7 \cdot 25 \cdot 60 = 8550 \text{ мл} = 8.55 \text{ л},$$

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{8.55}{0.082 \cdot 298} = 0.35 \text{ моль}.$$

Тогда количество теплоты, выделившееся при сгорании метана, равно

$$Q_c = 0.35 \cdot 212.7 = 74.422 \text{ ккал} = 74422 \text{ кал}.$$

Количество теплоты, необходимое для нагревания m г воды до 100°C , равно

$$Q(\text{H}_2\text{O}) = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot 1 \cdot (373 - 298)$$

и равно теплоте сгорания метана: $Q(\text{H}_2\text{O}) = Q_c$.

$$m \cdot 1 \cdot (373 - 298) = 74422.$$

Масса воды

$$m = 74422 / 75 = 992.3 \text{ г}.$$

Чтобы найти конечную температуру T , составим уравнение теплового баланса:

$$\begin{aligned} -992 \cdot c \cdot (T - 373) &= 200 \cdot c \cdot (T - 273) - 200 \cdot Q_{\text{пл}}, \\ -992 \cdot 1 \cdot (T - 373) &= 200 \cdot 1 \cdot (T - 273) + 200 \cdot 79.67, \\ T &= 343 \text{ К} = 70^{\circ}\text{C}. \end{aligned}$$

Ответ: 70°C .

10.2. Некоторый объем воды, имеющей температуру 25°C , закипает на газовой горелке за 50 мин. После закипания к воде добавили некоторое количество льда, имеющего температуру 0°C . Температура воды после установления равновесия в системе составила 64°C . Определите массу добавленного льда, если метан выходит из горелки со скоростью 5.7 мл/с (измерено при 25°C и 1 атм), теплота плавления льда и теплота сгорания метана равны -79.67 ккал/г и 212.7 ккал/моль соответственно, а теплоемкость воды составляет 1 ккал/(К·г). Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь. **(14 баллов)**

Решение. Рассчитаем объем и количество вышедшего из горелки метана:

$$V(\text{CH}_4) = v \cdot t = 5.7 \cdot 50 \cdot 60 = 17100 \text{ мл} = 17.1 \text{ л},$$

$$\nu(\text{CH}_4) = \frac{pV}{RT} = \frac{17.1}{0.082 \cdot 298} = 0.7 \text{ моль}.$$

Тогда количество теплоты, выделившееся при сгорании метана, равно

$$Q_c = 0.7 \cdot 212.7 = 149 \text{ ккал} = 149000 \text{ кал}.$$

Количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть воду массой m г до 100°C :

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1) = m \cdot 1 \cdot (373 - 298),$$

и равно теплоте сгорания метана: $Q(\text{H}_2\text{O}) = Q_c$.

$$m \cdot 1 \cdot (373 - 298) = 149000.$$

Масса воды

$$m = 149000 / 75 = 1987 \text{ г}.$$

Чтобы найти массу льда m_2 , составим уравнение теплового баланса:

$$\begin{aligned} -1987(337 - 373) &= m_2 \cdot c \cdot (337 - 273) + m_2 \cdot 79.67, \\ m_2 &= 497 \approx 500 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: 500 г.

10.3. К нагретой до 100°C воде добавили 100 г льда, имеющего температуру 0°C . Температура воды после установления равновесия в системе составила 70°C . Определите, через какое время закипит на газовой горелке охлажденная льдом вода, если метан выходит из горелки со скоростью 5.7 мл/с (измерено при 25°C и 1 атм), теплота плавления льда и теплота сгорания метана равны -79.67 кал/г и 212.7 ккал/моль соответственно, а теплоемкость воды составляет 1 кал/г . Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь. **(14 баллов)**

Решение. Составим уравнение теплового баланса (m_1 и m_2 – массы воды и льда):

$$\begin{aligned} -m_1 \cdot c \cdot (343 - 373) &= m_2 \cdot c \cdot (343 - 273) - m_2 \cdot Q_{\text{пл}}, \\ -m_1 \cdot 1 \cdot (343 - 373) &= 100 \cdot 1 \cdot (343 - 273) + 100 \cdot 79.67, \\ m_1 &= 499\text{ г}. \end{aligned}$$

Тогда количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть всю воду до 100°C :

$$Q = (m_1 + m_2) \cdot c \cdot (373 - 343) = (499 + 100) \cdot 1 \cdot 30 = 17970\text{ кал} = 17.97\text{ ккал}.$$

Количество и объем метана, который нужно сжечь, чтобы нагреть воду:

$$\nu(\text{CH}_4) = 17.97 / 212.7 = 0.084\text{ моль}.$$

$$V(\text{CH}_4) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0.084 \cdot 0.082 \cdot 298}{1} = 2.053\text{ л} = 2053\text{ мл}.$$

Рассчитаем время, необходимое для того, чтобы из горелки вышел этот объем газа:

$$t = V / \nu = 2053 / 5.7 = 362\text{ с} = 6\text{ мин}.$$

Ответ: 6 мин.

10.4. Один килограмм воды нагрели до 100°C , после чего в нее положили некоторое количество льда. Температура воды после установления равновесия в системе составила 40°C . Определите, за какое время закипит на газовой горелке охлажденная льдом вода, если метан выходит из горелки со скоростью 5.7 мл/с (измерено при 25°C и 1 атм .), теплота плавления льда и теплота сгорания метана равны -79.67 кал/г и 212.7 ккал/моль соответственно, а теплоемкость воды составляет 1 кал/г . Теплообменом системы с окружающей средой можно пренебречь. **(14 баллов)**

Решение. Составим уравнение теплового баланса (m_1 и m_2 – массы воды и льда):

$$\begin{aligned} -m_1 \cdot c \cdot (313 - 373) &= m_2 \cdot c \cdot (313 - 273) - m_2 \cdot Q_{\text{пл}}, \\ -1000 \cdot 1 \cdot (313 - 373) &= m_2 \cdot 1 \cdot (313 - 273) + 79.67 \cdot m_2, \\ m_2 &= 501\text{ г}. \end{aligned}$$

Тогда количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть всю воду до 100°C :

$$Q = (m_1 + m_2) \cdot c \cdot (373 - 313) = 1501 \cdot 60 = 90060\text{ кал} = 90.06\text{ ккал}.$$

Количество и объем метана, который нужно сжечь, чтобы нагреть воду:

$$\nu(\text{CH}_4) = 90.06 / 212.7 = 0.423\text{ моль}.$$

$$V(\text{CH}_4) = \frac{\nu RT}{p} = \frac{0.423 \cdot 0.082 \cdot 298}{1} = 10.4\text{ л} = 10400\text{ мл}.$$

Рассчитаем время, необходимое для того, чтобы из горелки вышел этот объем газа:

$$t = V / \nu = 10400 / 5.7 = 1825\text{ с} = 30.4\text{ мин}.$$

Ответ: 30.4 мин.

Варианты и решения
заданий заочного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 5-9 классов

Олимпиада «Ломоносов» по химии
Решения заданий заочного тура (5-9 классы)

1. Напишите уравнения реакций разложения, соединения, обмена и замещения с участием одного и того же вещества.

Решение. Приведем один из возможных вариантов. Вещество – H₂O.

Разложение: $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_2 + \text{O}_2$ (электролиз или действие высоких температур).

Соединение: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2$.

Обмен: $\text{Al}_2\text{S}_3 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Al(OH)}_3\downarrow + 3\text{H}_2\text{S}\uparrow$.

Замещение: $\text{Ca} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\uparrow$.

2. Какие из перечисленных ниже открытий и достижений принадлежат Д.И. Менделееву?

- 1) Открытие закона сохранения массы
- 2) Открытие Периодического закона
- 3) Предсказание новых химических элементов
- 4) Создание физико-химической теории растворов
- 5) Первый в истории синтез этилового спирта
- 6) Открытие электрона
- 7) Открытие инертных газов
- 8) Создание учебника «Новый курс химической философии»
- 9) Открытие каталитического крекинга нефти
- 10) Вывод уравнения идеального газа

Укажите все правильные ответы.

Ответ: правильные ответы – 2, 3, 4, 10. С именем Дмитрия Ивановича Менделеева связано открытие Периодического закона и предсказание на его основе свойств новых химических элементов, разработка физико-химической теории растворов, а также вывод уравнения состояния идеального газа (уравнение Клапейрона – Менделеева).

3. Самый тяжелый при комнатной температуре газ состоит всего из двух элементов. Его молекула имеет массу 298 а.е.м. и включает 7 атомов. Атомная масса более тяжелого элемента составляет 61.7% от молекулярной массы газа. Установите формулу газа.

Решение. Масса атома тяжелого элемента составляет больше половины от массы молекулы, поэтому в составе молекулы – только один тяжелый атом и шесть легких. Представим формулу соединения как XY_6 . Атомная масса тяжелого элемента:

$$A(\text{X}) = 298 \cdot 0,617 = 184 \text{ а.е.м.} - \text{это вольфрам W.}$$

Тогда на шесть атомов легкого элемента Y приходится $298 - 184 = 114$ а.е.м. Его атомная масса:

$$A(\text{Y}) = 114 / 6 = 19 \text{ а.е.м.} - \text{это фтор F.}$$

Таким образом, формула газа – WF_6 .

Ответ: WF_6 .

4. Калий – один из важнейших элементов для организма человека. Именно благодаря ему взаимодействуют между собой нервные клетки. Содержание калия в организме составляет 0.2% по массе. Литр питьевой воды содержит в среднем 12 мг калия в виде положительно заряженных ионов. Если бы калий поступал в организм только с водой, сколько литров пришлось бы выпить школьнику массой 60 кг для того, чтобы получить необходимое количество калия?

Решение. Рассчитаем массу калия в организме школьника ($60 \text{ кг} = 60000 \text{ г}$):

$$m(\text{K}) = 60000 \cdot 0,002 = 120 \text{ г} = 120000 \text{ мг.}$$

Составим и решим пропорцию:

$$\begin{aligned}
 &1 \text{ л воды} - 12 \text{ мг калия,} \\
 &x \text{ л воды} - 120\,000 \text{ мг калия.} \\
 &x = 1 \cdot 120000 / 12 = 10000 \text{ л.}
 \end{aligned}$$

Ответ: 10000 л воды.

5. В ядерных реакторах золото превращается в свинец путем последовательного захвата (присоединения) медленных нейтронов и последующих бета-распадов (при бета-распаде ядро испускает электрон, при этом массовое число ядра не меняется, а заряд увеличивается на 1). Сколько захватов нейтронов и бета-распадов включает серия превращений $^{197}_{79}\text{Au}$ в $^{204}_{82}\text{Pb}$? Объясните.

Решение. При захвате нейтрона массовое число увеличивается на единицу, а заряд ядра не меняется; при β -распаде – наоборот, заряд ядра увеличивается на 1, а массовое число остается таким же. Поэтому можно по отдельности найти число захватов нейтрона:

$$N_n = 204 - 197 = 7$$

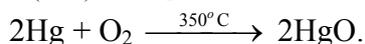
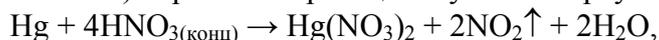
и число β -распадов:

$$N_\beta = 82 - 79 = 3.$$

Ответ: 7 захватов нейтрона и 3 β -распада.

6. Назовите самую тяжелую жидкость при комнатной температуре. Напишите два уравнения реакции с ее участием. Найдите в справочнике температуру кипения и рассчитайте, во сколько раз увеличивается объем вещества в результате полного испарения этой жидкости при температуре кипения.

Решение. Самая тяжелая жидкость при комнатной температуре – это ртуть (ее плотность составляет 13.5 г/см^3). Уравнения реакций с участием ртути:



Температура кипения ртути равна 357°C (630 K). При этой температуре и нормальном давлении 1 моль любого идеального газа занимает объем

$$V_{\text{м(г)}} = \frac{RT}{p} = \frac{8.314 \cdot 630}{101.3} = 51.7 \text{ л/моль} = 51700 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

Молярный объем жидкой ртути равен

$$V_{\text{м(ж)}} = \frac{M}{\rho} = \frac{200.16}{13.5} = 14.9 \text{ см}^3/\text{моль}.$$

При испарении ртути объем увеличится в $51700 / 14.9 = 3470 \approx 3500$ раз.

Ответ: в 3500 раз.

7. При полном разложении оксида неизвестного элемента образуется только смесь газов с плотностью 3.2 г/л при нормальных условиях. Какой это оксид? Установите его формулу и напишите три уравнения реакции с его участием.

Решение. Средняя молярная масса продуктов разложения составляет

$$M_{\text{ср}} = 3.2 \cdot 22.4 = 71.68 \text{ г/моль}.$$

Очевидно, что один из продуктов разложения – кислород O_2 , его молярная масса меньше средней, следовательно, у второго газа молярная масса должна быть больше средней. Если предположить, что второй продукт разложения – простое вещество, то такую большую молярную массу может иметь только инертный газ: криптон или ксенон. Для криптона оксиды не известны, остается ксенон.

Пусть формула оксида XeO_n , тогда при его разложении в соответствии с уравнением

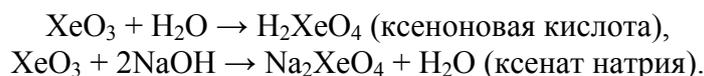


образуется смесь с молярным соотношением газов $\text{Xe} : \text{O}_2 = 1 : 0.5n$. Средняя молярная масса:

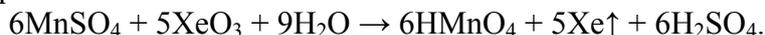
$$M_{\text{cp}} = \frac{131 + 0.5n \cdot 32}{1 + 0.5n} = 71.68,$$

$$n = 3.$$

Таким образом, формула оксида – XeO_3 . Это кислотный оксид, он реагирует с водой и со щелочами:



Оксид XeO_3 – сильный окислитель, в кислой среде он способен окислять соли марганца (II) до перманганата:



В слабощелочной среде образуется оксид марганца (IV):



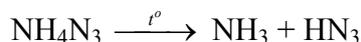
Ответ: XeO_3 .

8. Вещество **X** имеет ионное строение и состоит всего из двух элементов-неметаллов, мольные доли которых равны. Масса положительных ионов составляет 30% от массы вещества. Определите формулу **X**, напишите возможное уравнение реакции его разложения.

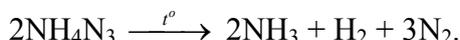
Решение. Нам хорошо известен катион, в состав которого входят неметаллы. Это ион аммония NH_4^+ . Значит, два элемента-неметалла, из которых состоит вещество **X**, это азот и водород. Условию задачи удовлетворяет NH_4N_3 , азид аммония:

$$\omega(\text{NH}_4^+) = \frac{18}{60} = 0.3 \text{ (30\%).}$$

Азид аммония – соль азидоводородной кислоты HN_3 . Уравнение реакции разложения азида аммония:

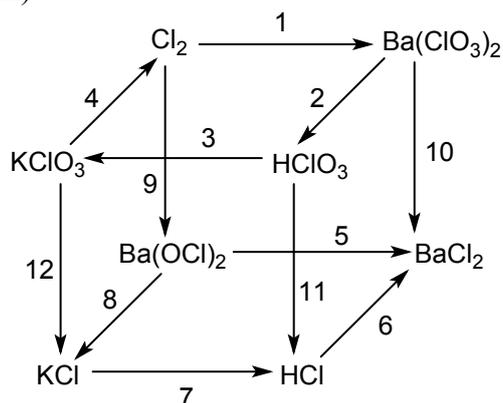


или, при более сильном нагревании:



Ответ: NH_4N_3 , азид аммония.

9. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующей схеме (каждая стрелка соответствует одной реакции):

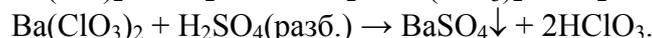


Решение.

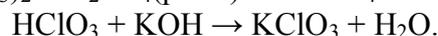
1) Хлорат бария образуется при пропускании хлора через горячий раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$:



2)



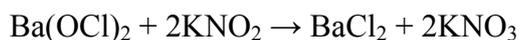
3)



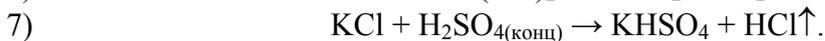
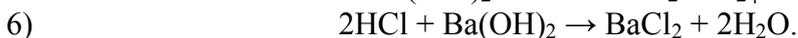
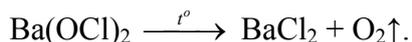
4) Хлорат калия — сильный окислитель; он окисляет соляную кислоту до хлора:



5) Гипохлорит бария — сильный окислитель, легко восстанавливается до хлорида:



или



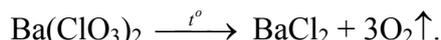
8) Гипохлорит бария можно превратить в хлорид бария путем восстановления до хлорида с одновременным протеканием обменной реакции:



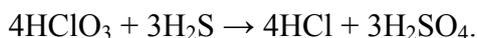
9) Гипохлорит бария образуется при пропускании хлора через холодный раствор $\text{Ba}(\text{OH})_2$:



10) Хлорат бария при сильном нагревании разлагается до хлорида:



11) Соляная кислота может образоваться при полном восстановлении хлорноватой кислоты:



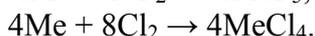
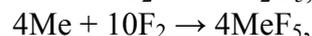
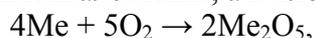
Однако при проведении этой реакции следует принимать меры, чтобы избежать сопропорционирования Cl^{+5} и Cl^{-1} с получением молекулярного хлора (как, например, в реакции 4).

12) Хлорат калия при сильном нагревании разлагается до хлорида:



10. Простое вещество – металл реагирует с кислородом и галогенами. Объемы кислорода, фтора и хлора, которые расходуются на окисление одного и того же количества металла, относятся как 5 : 10 : 8. Молярная масса полученного хлорида на 6% больше, чем молярная масса оксида. Определите металл и напишите уравнения упомянутых реакций.

Решение. Из соотношения объемов кислорода, фтора и хлора следует, что в оксиде и фториде неизвестный металл Me – пятивалентный, а в хлориде – четырехвалентный:



Металл находим, исходя из соотношения молярных масс оксида и хлорида:

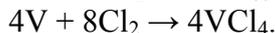
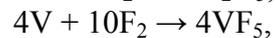
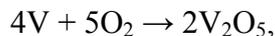
$$M(\text{Me}_2\text{O}_5) = 2x + 16 \cdot 5 = 2x + 80,$$

$$M(\text{MeCl}_4) = x + 35.5 \cdot 4 = x + 142,$$

$$(2x + 80) \cdot 1.06 = x + 142,$$

$$x = 51 \text{ г/моль, Me – это ванадий, V.}$$

Уравнения реакций:



Ответ: ванадий.

Варианты и решения
заданий очного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 10-11 классов
(вариант I)

Вариант 1

1. При сливании двух водных растворов различных солей железа выпал осадок. Приведите уравнение возможной реакции. (4 балла)

Решение. Например, известная качественная реакция на Fe(III) с гексацианоферратом железа(II):



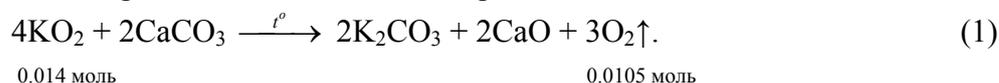
2. Смесь 1.00 г KO_2 и 2.00 г CaCO_3 прокалили при 1000°C в вакуумированной ампуле объемом 200 мл. Какое давление установилось в ампуле после охлаждения продуктов реакции до 25°C ? (8 баллов)

Решение. Найдем количества надпероксида калия и карбоната кальция:

$$\nu(\text{KO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{1}{71} = 0.014 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \frac{2}{100} = 0.02 \text{ моль}.$$

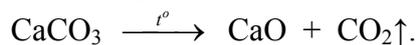
При сплавлении карбоната кальция и надпероксида калия образуется термически более устойчивый карбонат калия, при этом выделяется кислород:



0.014 моль

0.0105 моль

Также будет разлагаться избыток карбоната кальция:



0.02 - 0.007 = 0.013 моль

0.013 моль

Суммарное количество газов в ампуле после завершения реакций:

$$\nu = 0.0105 + 0.013 = 0.0235 \text{ моль}.$$

Если принять, что при охлаждении состав газовой фазы не изменяется, то давление в ампуле составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.0235 \cdot 8.314 \cdot 298}{0.2} = 291.1 \text{ кПа}.$$

Примечание. Можно однако учесть, что при охлаждении ампулы при таком высоком давлении (порядка 3 атм) выделившийся углекислый газ будет связан оксидом кальция. Тогда при 298 К в газовой фазе будет присутствовать только кислород в количестве 0.0105 моль, образовавшийся по реакции (1). Давление в ампуле в этом случае составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.0105 \cdot 8.314 \cdot 298}{0.2} = 130.1 \text{ кПа}.$$

3. В результате реакции 2.46 г нитробензола при нагревании с бромом в присутствии безводного бромиды алюминия выделился газ, который был поглощен водой, при этом было получено 1.5 л раствора с pH 1.7. Установите количества органических соединений, полученных в результате реакции. (8 баллов)

Решение. В результате реакции нитробензола с бромом выделяется бромоводород, который полностью растворяется в воде. Зная pH водного раствора, можно вычислить количество HBr в растворе (сильная кислота, диссоциирует нацело).

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.7} = 0.01995 \approx 0.02 \text{ моль/л}.$$

$$\nu(\text{HBr}) = c \cdot V = 0.02 \cdot 1.5 = 0.03 \text{ моль}.$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) = \frac{m}{M} = \frac{2.46}{123} = 0.02 \text{ моль}.$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2) : \nu(\text{HBr}) = 0.02 : 0.03 = 2 : 3 = 1 : 1.5.$$

Примем, что хлорида трёхвалентного фосфора образовалось x моль, а хлорида пятивалентного фосфора – y моль. При гидролизе смеси получится $(3x + 5y)$ моль соляной кислоты, x моль фосфористой кислоты и y моль фосфорной кислоты. Для нейтрализации полученной смеси будет израсходовано $3x + 5y + 2x + 3y = 5x + 8y$ моль щёлочи. Всего щёлочи было израсходовано

$$v(\text{KOH}) = \frac{1031.6 \cdot 1.14 \cdot 0.15}{56} = 3.15 \text{ моль.}$$

Количество фосфора:

$$v(\text{P}) = \frac{13.95}{31} = 0.45 = x + y.$$

Получаем систему:

$$\begin{cases} x + y = 0.45; \\ 5x + 8y = 3.15. \end{cases}$$

Решение системы: $x = 0.15$, $y = 0.3$ (моль).

В конечном растворе содержатся хлорид калия, фосфит калия и фосфат калия:

$$v(\text{KCl}) = 3x + 5y = 1.95 \text{ моль, } m(\text{KCl}) = 145.3 \text{ г;}$$

$$v(\text{K}_2\text{HPO}_3) = 0.15 \text{ моль, } m(\text{K}_2\text{HPO}_3) = 23.7 \text{ г;}$$

$$v(\text{K}_3\text{PO}_4) = 0.3 \text{ моль, } m(\text{K}_3\text{PO}_4) = 63.6 \text{ г.}$$

Ответ: 145.3 г KCl, 23.7 г K₂HPO₃ и 63.6 г K₃PO₄.

6. Константа равновесия газофазной реакции $\text{H}_2 + \text{Br} \rightleftharpoons \text{HBr} + \text{H}$ при 500 К равна 3, а константа скорости прямой реакции при температуре 330°C в 5 раз больше константы скорости обратной реакции. Определите разницу в энергиях активации прямой и обратной реакций? **(10 баллов)**

Решение. Введем обозначения: K – константа равновесия, k_1 – константа скорости прямой реакции, k_2 – константа скорости обратной реакции при температуре $T = 500$ К, k'_1 – константа скорости прямой реакции, k'_2 – константа скорости обратной реакции при температуре $T' = 330^\circ\text{C} = 603$ К. Разница энергий активации прямой и обратной реакций:

$$\Delta E = E_1 - E_2.$$

Константа равновесия реакции связана с константами скорости прямой и обратной реакций:

$$K = \frac{k_1}{k_2}.$$

Зависимость константы скорости реакции от температуры описывает уравнение Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}.$$

Тогда

$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{E_1 + E_2}{RT}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT}} = 3,$$

$$\frac{k'_1}{k'_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{E_1 + E_2}{RT'}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{-\frac{\Delta E}{RT'}} = 5$$

$$-\Delta E = \frac{RTT'}{T' - T} \cdot \left(\ln \frac{k_1}{k_2} - \ln \frac{k'_1}{k'_2} \right) = \frac{8.314 \cdot 603 \cdot 500}{(603 - 500)} \cdot \ln \frac{3}{5} = -12400 \text{ Дж/моль.}$$

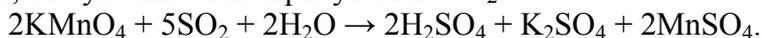
$$\Delta E = E_1 - E_2 = 12.4 \text{ кДж/моль.}$$

Ответ: 12.4 кДж/моль.

перманганата калия с концентрацией 0.2 моль/л. Установите аминокислотный состав дипептида. (14 баллов)

Решение. Общая формула дипептида $\text{NH}_2\text{-CHR}^1\text{-CO-NH-CHR}^2\text{-COOH}$, где радикалы R^1 и R^2 могут быть как одинаковыми, так и разными. При сжигании любых дипептидов образуются CO_2 , N_2 и H_2O . Если в состав дипептида входит серосодержащая аминокислота, например, цистеин, то в продуктах сгорания будет находиться и сернистый газ SO_2 .

Газовая смесь, образовавшаяся при сжигании дипептида, обесцвечивает раствор перманганата калия, что указывает на присутствие SO_2 :



По условию задачи $\nu(\text{KMnO}_4) = 60 \cdot 0.2 / 1000 = 0.012$ моль, тогда

$$\nu(\text{SO}_2) = 2.5 \cdot 0.012 = 0.03 \text{ моль.}$$

Если радикалы R^1 и R^2 различные, то $\nu(\text{дипептида}) = \nu(\text{SO}_2) = 0.03$ моль и тогда молярная масса дипептида $M = \frac{m}{\nu} = \frac{6.24}{0.03} = 208$ г/моль. Исходя из общей формулы дипептида, находим:

$$16 + 13 + \text{R}^1 + 43 + 13 + \text{R}^2 + 45 = 208,$$

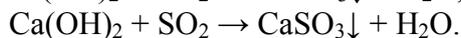
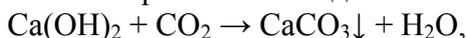
отсюда

$$\text{R}^1 + \text{R}^2 = 208 - 130 = 78.$$

Если серосодержащая кислота – это цистеин $\text{-CH}_2\text{-SH}$, то $\text{R}^1 = 47$ и $\text{R}^2 = 78 - 47 = 31$. Значит, вторая аминокислота – серин ($\text{R}^2 = \text{-CH}_2\text{-OH}$). Брутто-формула дипептида – $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}$. Уравнение реакции горения:



отсюда $\nu(\text{CO}_2) = 6 \cdot 0.03 = 0.18$ моль. Образование осадка:



Тогда

$$\nu(\text{CaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 0.18 \text{ моль,}$$

$$m(\text{CaCO}_3) = 0.18 \cdot 100 = 18 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{CaSO}_3) = \nu(\text{SO}_2) = 0.03 \text{ моль,}$$

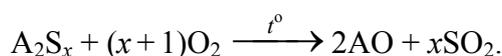
$$m(\text{CaSO}_3) = 0.03 \cdot 120 = 3.6 \text{ г.}$$

Суммарная масса осадка составляет $18 + 3.6 = 21.6$ г.

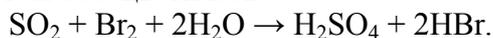
Ответ: в составе дипептида природные аминокислоты цистеин и серин, 21.6 г.

10. 40 г сульфидного минерала халькозина состава A_2S_x (металл А может проявлять в соединениях степени окисления +1 и +2) подвергли обжигу в избытке кислорода. При обжиге образовался твердый остаток и выделился газ, который был пропущен через бромную воду. Добавление избытка раствора хлорида бария к раствору, образовавшемуся после полного поглощения газа бромной водой, привело к образованию 58.25 г белого осадка. Твердый остаток после обжига был растворен в строго необходимом количестве 40%-ной азотной кислоты, выделения газа при растворении не происходило. Массовая доля соли в полученном растворе составила 47.6%. Добавление к полученному раствору избытка раствора иодида калия привело к образованию бурого раствора и выпадению белого осадка. Определите состав минерала халькозина и массу белого осадка, выпавшего после добавления иодида калия. (14 баллов)

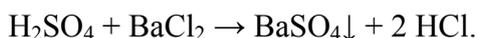
Решение. При обжиге минерала образовался оксид состава A^{+2}O и выделился сернистый газ:



При пропускании сернистого газа в бромную воду произошло его окисление до серной кислоты, бромная вода при этом обесцветилась:



Добавление избытка раствора хлорида бария привело к выпадению белого осадка BaSO_4 :



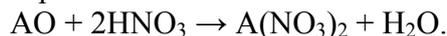
По количеству выпавшего осадка BaSO_4

$$v(\text{BaSO}_4) = \frac{58.25}{233} = 0.25 \text{ моль}$$

можно определить, что при обжиге выделилось 0.25 моль SO_2 . Следовательно,

$$v(\text{A}_2\text{S}_x) = \frac{0.25}{x} \text{ моль}, \quad v(\text{AO}) = 2 \cdot v(\text{A}_2\text{S}_x) = \frac{0.5}{x} \text{ моль}.$$

При растворении твердого остатка после обжига в 40%-ной азотной кислоте выделения газа не произошло, это значит, что в составе твердого остатка – только оксид АО (присутствие оксида A_2O привело бы к окислительно-восстановительной реакции и выделению NO). Реакцию растворения можно записать так:



Рассчитаем массу раствора 40%-ной азотной кислоты, необходимого для полного растворения $(0.5/x)$ моль оксида АО:

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{2 \cdot 0.5 \cdot 63}{x \cdot 0.4} = \frac{157.5}{x} \text{ (г)}.$$

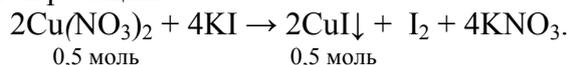
Тогда

$$\begin{aligned} \omega(\text{A}(\text{NO}_3)_2) &= m(\text{A}(\text{NO}_3)_2) / (m(\text{AO}) + m(\text{р-ра HNO}_3)) = \\ &= \frac{(M + 124) \cdot \frac{0.5}{x}}{(M + 16) \cdot \frac{0.5}{x} + \frac{157.5}{x}} = 0.476, \end{aligned}$$

где M – молярная масса металла А.

Решая это уравнение, получаем $M(\text{A}) = 64$ (г/моль), т. е. металл А – это медь. Так как $v(\text{CuS}_x) = m(\text{CuS}_x) / M(\text{CuS}_x) = 40 / (64 \cdot 2 + 32x) = \frac{0.25}{x}$, определяем, что $x = 1$. Значит, минерал халькозин имеет состав Cu_2S .

При растворении 0.5 моль CuO в азотной кислоте образовался нитрат меди $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ в количестве 0.5 моль (отсутствие выделения газа подтверждает, что в результате обжига образовался именно CuO). Добавление избытка иодида калия к раствору этой соли приводит к окислительно-восстановительной реакции:



Раствор имеет бурый цвет, так как образовавшийся I_2 образует с избытком ионов Γ окрашенный комплексный ион $[\text{I}_3^-]$, а в осадок выпадает белый иодид меди(I). Его масса:

$$m(\text{CuI}) = 191 \cdot 0.5 = 95.5 \text{ г}.$$

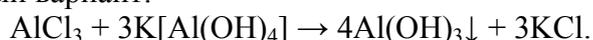
Ответ: минерал халькозин – Cu_2S , осадок – CuI , 95.5 г.

Варианты и решения
заданий очного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 10-11 классов
(вариант II)

Вариант 2

1. При сливании двух водных растворов различных солей алюминия выпал осадок. Приведите уравнение возможной реакции. (4 балла)

Решение. Возможный вариант:



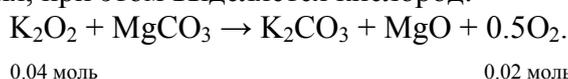
2. Смесь 4.40 г K_2O_2 и 5.04 г MgCO_3 прокалили при 900°C в вакуумированной ампуле объемом 250 мл. Какое давление установилось в ампуле после охлаждения продуктов реакции до 25°C ? (8 баллов)

Решение. Найдем количества пероксида и карбоната магния:

$$\nu(\text{K}_2\text{O}_2) = \frac{m}{M} = \frac{4.4}{110} = 0.04 \text{ моль},$$

$$\nu(\text{MgCO}_3) = \frac{5.04}{84} = 0.06 \text{ моль}.$$

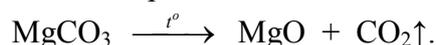
При сплавлении карбоната магния и пероксида калия образуется термически более устойчивый карбонат калия, при этом выделяется кислород:



0.04 моль

0.02 моль

Также будет разлагаться избыток карбоната магния:



0.06 - 0.04 = 0.02 моль

0.02 моль

Суммарное количество газов в ампуле после завершения реакций:

$$\nu = 0.02 + 0.02 = 0.04 \text{ моль}.$$

Если принять, что при охлаждении состав газовой фазы не изменяется, то давление в ампуле составит

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.04 \cdot 8.314 \cdot 298}{0.25} = 396.4 \text{ кПа}.$$

Примечание. Можно учесть, что при охлаждении ампулы при таком высоком давлении (порядка 4 атм) выделившийся углекислый газ будет связываться оксидом магния, хотя MgO менее активен, чем CaO (см. Вариант 1).

3. В результате реакции 2.76 г толуола с бромом на свету выделился газ, который был поглощен водой, при этом было получено 2 л раствора с pH 1.7. Установите количества органических соединений, полученных в результате реакции. (8 баллов)

Решение. В результате реакции толуола с бромом выделяется бромоводород, который полностью растворяется в воде. Зная pH водного раствора, можно вычислить количество HBr в растворе.

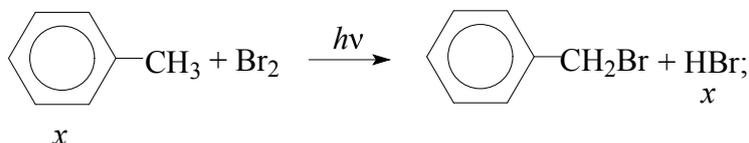
$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.7} = 0.02 \text{ моль/л}.$$

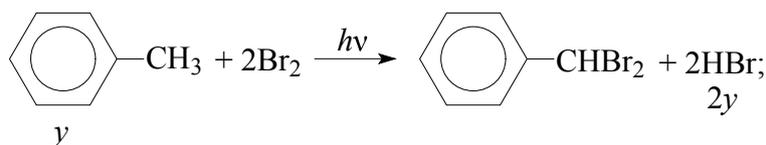
$$\nu(\text{HBr}) = c \cdot V = 0.02 \cdot 2 = 0.04 \text{ моль}.$$

$$\nu(\text{C}_7\text{H}_8) = \frac{m}{M} = \frac{2.76}{92} = 0.03 \text{ моль}.$$

$$\nu(\text{C}_7\text{H}_8) : \nu(\text{HBr}) = 0.03 : 0.04 = 1 : 1.333.$$

При соотношении $\nu(\text{C}_7\text{H}_8) : \nu(\text{HBr}) = 1 : 1$ образуется только монобромпроизводное, а при соотношении $1 : 2$ – только дибромпроизводное. Значит, в нашем случае могут протекать две реакции:





Составим и решим систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.03; \\ x + 2y = 0.04. \end{cases}$$

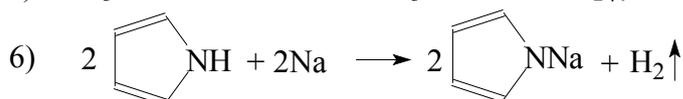
Решение: $x = 0.02$, $y = 0.01$ (моль). Итак, в результате реакции было получено 0.02 моль бромметилбензола и 0.01 моль дибромметилбензола.

Ответ: Бромметилбензол – 0.02 моль, дибромметилбензол – 0.01 моль.

4. Приведите примеры четырех органических соединений разных классов, способных реагировать с натрием. Напишите уравнения химических реакций, укажите условия их протекания. (8 баллов)

Решение. Можно привести много реакций органических веществ с натрием, например:

- 1) $2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\uparrow$,
- 2) $2\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{COONa} + \text{H}_2\uparrow$,
- 3) $2\text{C}_6\text{H}_5\text{OH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{C}_6\text{H}_5\text{ONa} + \text{H}_2\uparrow$,
- 4) $2\text{CH}_3\text{Br} + 2\text{Na} \xrightarrow{\text{эфир}} 2\text{C}_2\text{H}_6 + 2\text{NaBr}$,
- 5) $2\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CH} + 2\text{Na} \rightarrow 2\text{CH}_3\text{C}\equiv\text{CNa} + \text{H}_2\uparrow$,



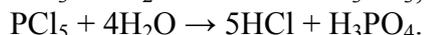
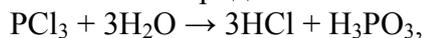
5. Навеску фосфора массой 0.93 г обработали хлором. Смесь образовавшихся продуктов растворили в воде и полученный раствор полностью нейтрализовали 150 мл 12%-го раствора гидроксида рубидия (плотность раствора 1.02 г/мл). Определите массы соединений в конечном растворе. (10 баллов)

Решение. Запишем уравнения всех упомянутых реакций.

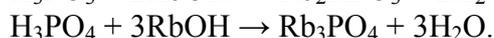
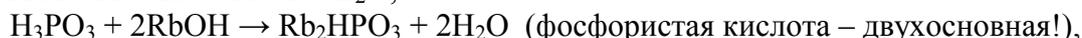
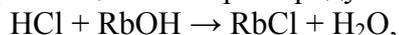
1) Получение смеси хлоридов:



2) Гидролиз смеси хлоридов:



3) Нейтрализация всех трех продуктов гидролиза:



Примем, что хлорида трёхвалентного фосфора образовалось x моль, а хлорида пятивалентного фосфора – y моль. При гидролизе смеси получится $(3x + 5y)$ моль соляной кислоты, x моль фосфористой кислоты и y моль фосфорной кислоты. Для нейтрализации полученной смеси будет израсходовано $3x + 5y + 2x + 3y = 5x + 8y$ моль щёлочи. Всего щёлочи было израсходовано

$$v(\text{RbOH}) = \frac{150 \cdot 1.02 \cdot 0.12}{102} = 0.18 \text{ моль.}$$

Количество фосфора:

$$v(\text{P}) = \frac{0.93}{31} = 0.03 = x + y.$$

Получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} x + y = 0.03; \\ 5x + 8y = 0.18. \end{cases}$$

Ее решение: $x = 0.02$, $y = 0.01$ (моль).

В конечном растворе содержатся хлорид рубидия, фосфит рубидия и фосфат рубидия:

$$v(\text{RbCl}) = 3x + 5y = 0.11 \text{ моль, } m(\text{RbCl}) = 13.3 \text{ г,}$$

$$v(\text{Rb}_2\text{HPO}_3) = 0.02 \text{ моль, } m(\text{Rb}_2\text{HPO}_3) = 5 \text{ г,}$$

$$v(\text{Rb}_3\text{PO}_4) = 0.01 \text{ моль, } m(\text{Rb}_3\text{PO}_4) = 3.5 \text{ г.}$$

Ответ: 13.3 г RbCl, 3.5 г Rb₃PO₄, 5 г Rb₂HPO₃.

6. Для газофазной реакции $2\text{HI} \rightleftharpoons \text{H}_2 + \text{I}_2$ разница энергий активации прямой и обратной реакций равна 21 кДж/моль. Константа равновесия при температуре 350°C равна 0.01. Определите, во сколько раз константа скорости прямой реакции будет меньше константы скорости обратной реакции при температуре 500 К? (10 баллов)

Решение. Введем обозначения: K – константа равновесия, k_1 – константа скорости прямой реакции, k_2 – константа скорости обратной реакции при температуре $T = 350^\circ\text{C} = 623 \text{ К}$, k'_1 – константа скорости прямой реакции, k'_2 – константа скорости обратной реакции при температуре $T' = 500 \text{ К}$. Разница энергий активации прямой и обратной реакций:

$$\Delta E = E_1 - E_2.$$

Константа равновесия реакции связана с константами скорости прямой и обратной реакций:

$$K = \frac{k_1}{k_2}.$$

Зависимость константы скорости реакции от температуры описывает уравнение Аррениуса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E}{RT}}.$$

Тогда

$$\frac{k'_2}{k'_1} = \frac{A_2}{A_1} \cdot e^{\frac{-E_2+E_1}{RT'}} = \frac{A_2}{A_1} \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT'}},$$

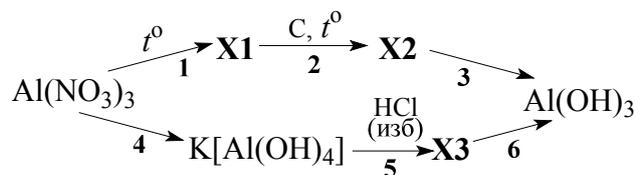
$$K = \frac{k_1}{k_2} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-E_1+E_2}{RT}} = \frac{A_1}{A_2} \cdot e^{\frac{-\Delta E}{RT}} = 0.01,$$

$$\frac{A_2}{A_1} = \frac{k_2}{k_1} \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT}} = \frac{1}{K} \cdot e^{\frac{\Delta E}{RT}} = 100 \cdot e^{\frac{21000}{8.314 \cdot 623}} = 1.73,$$

$$\frac{k'_2}{k'_1} = 1.73 \cdot e^{\frac{21000}{8.314 \cdot 500}} = 270.$$

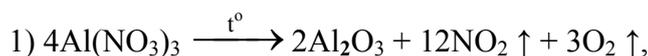
Ответ: в 270 раз.

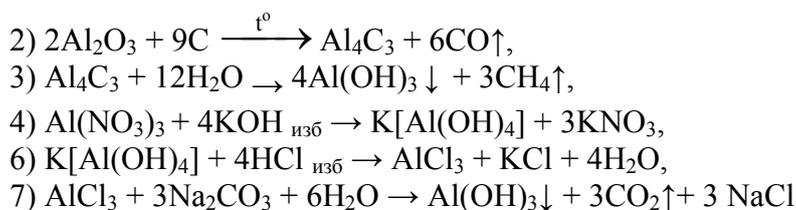
7. Напишите уравнения реакций, соответствующие следующим превращениям, и укажите условия их проведения (все вещества X содержат алюминий).



(12 баллов)

Решение.

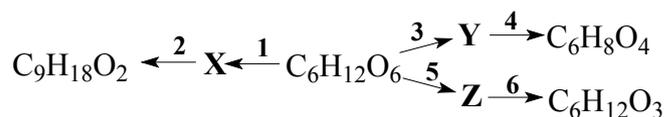




или $\text{AlCl}_3 + 3\text{NaOH}_{\text{недост.}} \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{NaCl}.$

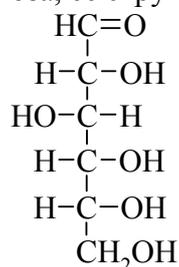
Ответ: **X1** – Al_2O_3 , **X2** – Al_4C_3 , **X3** – AlCl_3 .

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение. Вещество $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ – глюкоза, ее структурная формула



1) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{фермент}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH} + 2\text{H}_2\uparrow + 2\text{CO}_2\uparrow$ (маслянокислое брожение),

H^+, t°

2) $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{C}_5\text{H}_{11}\text{OH} \rightleftharpoons \text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOC}_5\text{H}_{11} + \text{H}_2\text{O},$

3) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2\text{CH}_3-\text{CH}(\text{OH})-\text{COOH}$ (молочнокислое брожение),

4) $2\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COOH} \xrightarrow{t^\circ} \begin{array}{c} \text{O} \quad \text{O} \quad \text{CH}_3 \\ \parallel \quad \diagdown \quad / \\ \text{C} \quad \text{O} \quad \text{C} \\ / \quad \diagup \quad \parallel \\ \text{H}_3\text{C} \quad \text{O} \quad \text{C} \end{array} + 2\text{H}_2\text{O},$

5) $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \xrightarrow{\text{фермент}} 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2\uparrow$ (спиртовое брожение),

H^+, t°

6) $\text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightleftharpoons \text{HOCH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{H}_2\text{O}.$

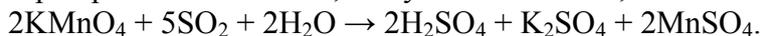
Ответ: **X** – масляная кислота, **Y** – молочная кислота, **Z** – этанол.

9. Газовую смесь, образовавшуюся при сжигании 31.25 г природного дипептида, пропустили через избыток баритовой воды. Определите массу выпавшего осадка, если известно, что исходная газовая смесь может обесцветить 125 мл водного раствора перманганата калия с концентрацией 0.4 моль/л. Установите аминокислотный состав дипептида. (14 баллов)

Решение. Общая формула дипептида $\text{NH}_2-\text{CHR}^1-\text{CO}-\text{NH}-\text{CHR}^2-\text{COOH}$, где R^1 и R^2 могут быть как одинаковыми, так и разными. При сжигании любых дипептидов образуются

CO₂, N₂ и H₂O. Если в состав дипептида входит серосодержащая аминокислота, например, цистеин, то в продуктах сгорания будет находиться и сернистый газ SO₂.

По условию задачи газовая смесь, образовавшаяся при сжигании дипептида, обесцвечивает раствор перманганата калия, что указывает на то, что в ней содержится SO₂:



По условию задачи $\nu(\text{KMnO}_4) = c \cdot V = 0.4 \cdot 0.125 = 0.05$ моль,

тогда $\nu(\text{SO}_2) = 2.5 \cdot 0.05 = 0.125$ моль

Если радикалы R¹ и R² различные, то $\nu(\text{дипептида}) = \nu(\text{SO}_2) = 0.125$ моль, и тогда

молярная масса дипептида $M = \frac{m}{\nu} = \frac{31.25}{0.125} = 250$ г/моль. Исходя из общей формулы

дипептида, находим:

$$16 + 13 + R^1 + 43 + 13 + R^2 + 45 = 250,$$

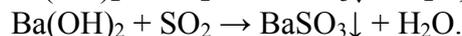
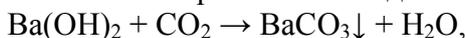
отсюда $R^1 + R^2 = 250 - 130 = 120$ (г/моль).

Если серосодержащая кислота – цистеин, то R¹ = 47 и R² = 120 – 47 = 73. Значит, вторая аминокислота – глутаминовая кислота (R² – это –(CH₂)₂–COOH).

Брутто-формула дипептида – C₈H₁₄N₂O₅S.



Отсюда $\nu(\text{CO}_2) = 8 \cdot 0.125 = 1.0$ моль. Образование осадка:



Тогда $\nu(\text{BaCO}_3) = \nu(\text{CO}_2) = 1$ моль,

$$m(\text{BaCO}_3) = 1 \cdot 197 = 197.0 \text{ г},$$

$$\nu(\text{BaSO}_3) = \nu(\text{SO}_2) = 0.125 \text{ моль},$$

$$m(\text{BaSO}_3) = 0.125 \cdot 217 = 27.13 \text{ г}.$$

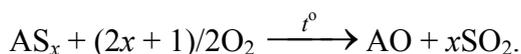
Масса осадка равна 197.0 + 27.13 = 224.13 г.

Участники олимпиады обнаружили еще одно решение этой задачи. Если серосодержащей аминокислотой в составе дипептида являлся метионин (R¹ – это –(CH₂)₂–SH–CH₃) с массой радикала 75 г/моль, тогда второй радикал должен иметь массу 120 – 75 = 45 г/моль. Эта масса соответствует треонину (R² – это –CH(OH)–CH₃).

Ответ: цистеин, глутаминовая кислота (или метионин, треонин), 224.13 г.

10. 33.6 г сульфидного минерала ковеллина состава AS_x (металл А может проявлять в соединениях степени окисления +1 и +2) подвергли обжигу в избытке кислорода. При обжиге образовался твердый остаток и выделился газ, который был пропущен через иодную воду. Добавление избытка раствора хлорида бария к раствору, образовавшемуся после полного поглощения газа иодной водой, привело к образованию 81.55 г белого осадка. Твердый остаток после обжига был полностью растворен в строго необходимом количестве 33%-ной азотной кислоты, при этом образовался раствор, массовая доля соли в котором составила 40.7%, выделения газа при растворении не происходило. Добавление к полученному раствору раствора иодида калия привело к образованию бурого раствора и выпадению белого осадка. Определите состав минерала ковеллина и массу белого осадка, выпавшего после добавления иодида калия. **(14 баллов)**

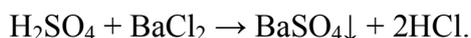
Решение. При обжиге минерала образовался оксид состава A²⁺O и выделился сернистый газ:



При пропускании сернистого газа в иодную воду произошло его окисление до серной кислоты, иодная вода при этом обесцветилась:



Добавление избытка раствора хлорида бария привело к выпадению белого осадка BaSO₄:



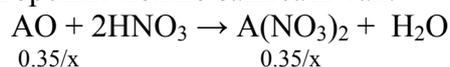
По количеству выпавшего осадка BaSO_4

$$v(\text{BaSO}_4) = \frac{81.55}{233} = 0.35 \text{ моль}$$

можно определить, что при обжиге выделилось 0.35 моль SO_2 . Следовательно,

$$v(\text{AS}_x) = v(\text{AO}) = \frac{0.35}{x} \text{ моль.}$$

При растворении твердого остатка после обжига в 33%-ной азотной кислоте выделения газа не произошло, это означает, что в составе твердого остатка – только оксид АО. Присутствие оксида A_2O привело бы к окислительно-восстановительной реакции и выделению NO . Реакцию растворения можно записать так:



Рассчитаем массу раствора 33%-ной азотной кислоты, необходимого для полного растворения $(0.35/x)$ моль оксида АО:

$$m(\text{р-ра HNO}_3) = \frac{2 \cdot 0.35 \cdot 63}{x \cdot 0.33} = \frac{133.6}{x} \text{ (г).}$$

Тогда $\omega(\text{A}(\text{NO}_3)_2) = 0.407 = m(\text{A}(\text{NO}_3)_2) / (m(\text{AO}) + m(\text{р-ра HNO}_3)) =$

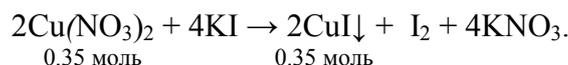
$$= \frac{(M + 124) \cdot \frac{0.35}{x}}{(M + 16) \cdot \frac{0.35}{x} + \frac{133.6}{x}},$$

где M – молярная масса металла А. Решая это уравнение, получаем, что $M = 64$ (г/моль), т. е. металл А – это медь.

Так как $v(\text{CuS}_x) = m(\text{CuS}_x) / M(\text{CuS}_x) = 33.6 / (64 + 32x) = \frac{0.35}{x}$, определяем, что $x = 1$.

Значит, минерал ковеллин имеет состав CuS .

При растворении 0.35 моль CuO в азотной кислоте образовался нитрат меди $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ в количестве 0.35 моль (отсутствие выделения газа подтверждает, что в результате обжига образовался именно CuO). Добавление иодида калия к раствору этой соли приводит к окислительно-восстановительной реакции:



Раствор имеет бурый цвет, так как образовавшийся I_2 образует с избытком ионов Γ окрашенный комплексный ион $[\text{I}_3^-]$. В осадок выпадает белый иодид меди (I). Его масса

$$m(\text{CuI}) = 191 \cdot 0.35 = 66.85 \text{ г.}$$

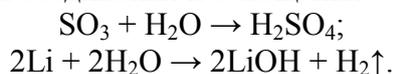
Ответ: CuS , осадок – CuI , 66.85 г.

Варианты и решения
заданий очного тура
олимпиады «Ломоносов»
по химии
для учащихся 5-9 классов

Олимпиада «Ломоносов» по химии
Очный тур
5-9 классы

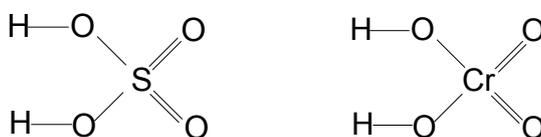
1. Напишите по одному уравнению реакций соединения и замещения с участием воды. (4 балла)

Решение. Примеры реакций соединения и замещения:



2. Напишите структурную формулу молекулы, состоящей из атомов трех элементов, один из которых имеет валентность VI. (4 балла)

Решение. Например, кислоты – серная H_2SO_4 или хромовая H_2CrO_4 . Их структурные формулы:



Ионные соединения типа K_2SO_4 нельзя считать правильным ответом, так как они не образуют молекул (они существуют в виде отдельных ионов как в кристаллах, так и в растворах).

3. Определите формулу частицы, в которой содержится 4 атома, 30 протонов и 32 электрона. (4 балла)

Решение. Искомая частица не может быть нейтральной молекулой, это отрицательно заряженный ион. Подходящий вариант – ион CO_3^{2-} .

$$\text{Число протонов: } 6 + 3 \cdot 8 = 30,$$

$$\text{Число электронов: } 6 + 3 \cdot 8 + 2 = 32.$$

Ответ: CO_3^{2-} .

4. Некоторый элемент образует несколько газообразных соединений с водородом. Плотность самого легкого из них по водороду равна 16. Определите формулу этого соединения и приведите формулу любого другого водородного соединения этого элемента. Чему равна плотность второго соединения по водороду? (8 баллов)

Решение. Газообразные соединения с водородом могут образовывать разные элементы, например, галогены, азот, фосфор, углерод, кремний. Найдем молярную массу самого легкого соединения:

$$M = D_{\text{H}_2} \cdot M(\text{H}_2) = 16 \cdot 2 = 32 \text{ г/моль} - \text{это силан } \text{SiH}_4.$$

Силаны, аналогично алканам, образуют гомологический ряд. В качестве второго водородного соединения кремния можно привести, например, Si_2H_6 . Его плотность по водороду:

$$D_{\text{H}_2}(\text{Si}_2\text{H}_6) = 62 / 2 = 31.$$

Ответ: SiH_4 , Si_2H_6 , 31.

5. Молекула «тяжелого» углекислого газа в 2.4 раза тяжелее молекулы «тяжелой» воды. В состав обеих молекул входит один и тот же изотоп кислорода. Определите этот изотоп и напишите формулы обоих веществ. (8 баллов)

Решение. Обе молекулы являются «тяжелыми» из-за «тяжелого» изотопа кислорода ^XO .

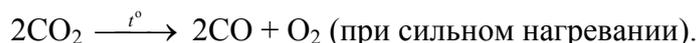
$$M(\text{C}^X\text{O}_2) / M(\text{H}_2^X\text{O}) = (12 + 2x) / (2 + x) = 2.4,$$

$$x = 18.$$

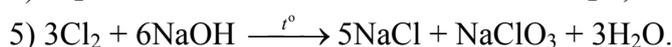
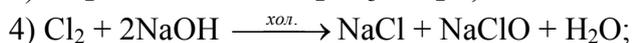
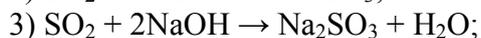
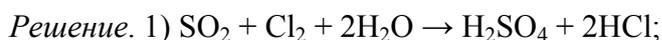
Искомый изотоп – ^{18}O .
Ответ: ^{18}O , C^{18}O_2 , H_2^{18}O .

6. Д.И. Менделеев в учебнике «Основы химии» писал о свойствах оксидов углерода: «Углекислый газ занимает такой же объем, как кислород, в нем находящийся, а окись углерода объем в два раза больший объема кислорода, в ней заключающегося. CO_2 от действия жара распадается отчасти на 2CO и O_2 ». Поясните кратко, какие свойства Менделеев имел в виду, и приведите уравнения всех реакций. (9 баллов)

Решение. Для иллюстрации выдержки из учебника запишем три реакции:



7. В вашем распоряжении имеются водные растворы SO_2 , Cl_2 и NaOH . Напишите уравнения всех возможных реакций, протекающих попарно между указанными веществами. (15 баллов)



8. Аммиак лучше всех остальных газов растворим в воде. При нормальных условиях в одном объеме воды может раствориться 1200 объемов аммиака. Рассчитайте массовую долю аммиака в насыщенном при этих условиях растворе (плотность воды – 1.0 г/мл). (10 баллов)

Решение. Пусть $V(\text{H}_2\text{O}) = 1$ л, тогда $V(\text{NH}_3) = 1200$ л.

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \cdot 1 = 1000 \text{ г,}$$

$$v(\text{NH}_3) = 1200 / 22.4 = 53.6 \text{ моль,}$$

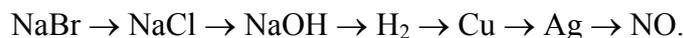
$$m(\text{NH}_3) = m \cdot v = 53.6 \cdot 17 = 911 \text{ г.}$$

Масса раствора составляет $m = 911 + 1000 = 1911$ г.

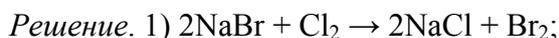
$$\omega(\text{NH}_3) = 911 / 1911 = 0.48 \text{ (или 48\%)}$$

Ответ: 48%.

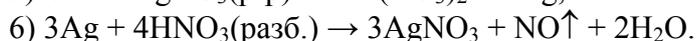
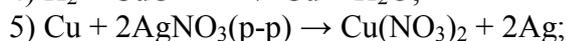
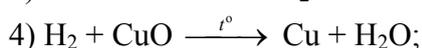
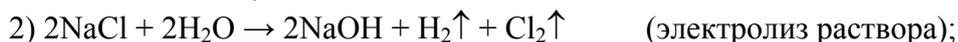
9. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения:



Каждая стрелка – одна реакция. (18 баллов)



↯



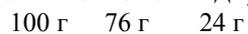
10. Элемент X образует два оксида – Y и Z. При разложении 100 г оксида Y образуется оксид Z и выделяется 16.8 л (н.у.) кислорода. С другой стороны, 100 г оксида Y при реакции с простым веществом X образует 152 г оксида Z. Определите формулы X, Y, Z, если известно что в каждом оксиде элемент X имеет единственную валентность. Напишите уравнения взаимодействия оксидов Y и Z с избытком щелочи. (20 баллов)

Решение. Найдем количество и массу кислорода, выделившегося при разложении **Y**.

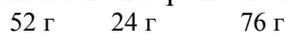
$$v(\text{O}_2) = 16.8 / 22.4 = 0.75 \text{ моль.}$$

$$m(\text{O}_2) = 0.75 \cdot 32 = 24 \text{ г.}$$

Запишем схемы двух реакций:

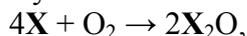


Вычтя из второй схемы первую с учетом масс участников реакций, получим:



Таким образом, 52 г элемента **X** могут присоединить 24 г O_2 с образованием оксида постоянной валентности. Далее для определения **X** можно действовать методом подбора, варьируя предполагаемую валентность этого элемента.

Пусть валентность **X** равна единице:

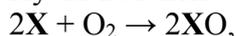


$$v(\mathbf{X}) = 2 \cdot v(\mathbf{X}_2\text{O}),$$

$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x + 16},$$

$$x = 17.7 \text{ г/моль} - \text{не подходит.}$$

Пусть валентность **X** равна двум:

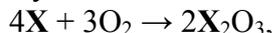


$$v(\mathbf{X}) = v(\mathbf{XO}),$$

$$\frac{52}{x} = \frac{76}{x + 16},$$

$$x = 34.6 \text{ г/моль} - \text{не подходит.}$$

Пусть валентность **X** равна трем:

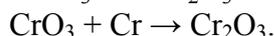


$$v(\mathbf{X}) = 2 \cdot v(\mathbf{X}_2\text{O}_3),$$

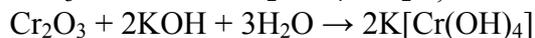
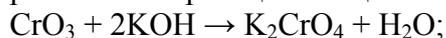
$$\frac{52}{x} = 2 \cdot \frac{76}{2x + 48},$$

$$x = 52 \text{ г/моль} - \text{это хром.}$$

Тогда оксиды хрома **Z** – это Cr_2O_3 , а **Y** – CrO_3 . Реакции, описанные в условии задачи:



Уравнения их реакций со щелочью:



или



Ответ: **X** – Cr, **Y** – CrO_3 , **Z** – Cr_2O_3 .