

**Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год**  
**Решение заданий для 10 класса**

**Задача 1 (8 баллов)**

**1.1.** Природное серебро состоит из двух изотопов:  $^{107}\text{Ag}$  и  $^{109}\text{Ag}$ . Средняя молярная масса серебра равна 107.87 г/моль. Рассчитайте содержание каждого изотопа в мольных долях и в процентах по массе. Поясните, какие причины, кроме существования изотопов, приводят к нецелым атомным массам в таблице Менделеева.

*Решение.* Пусть мольная доля  $^{107}\text{Ag}$  равна  $x$ . Тогда средняя молярная масса серебра составляет

$$107x + 109(1 - x) = 107.87,$$

отсюда  $x = 0.565$ . Следовательно, мольная доля  $^{107}\text{Ag}$  равна 0.565, а мольная доля  $^{109}\text{Ag}$  – 0.435. Массовая доля  $^{107}\text{Ag}$  равна

$$\omega = \frac{0.565 \cdot 107}{107.87} = 0.5604 \text{ (56.04 \%)},$$

следовательно, массовая доля  $^{109}\text{Ag}$  составляет 43.96 %.

Кроме необходимости расчета средней молярной массы из-за наличия изотопов, причинами нецелых атомных масс в таблице Менделеева являются не точное равенство единице массы протона и нейтрона, наличие массы у электронов и существование дефекта массы.

*Ответ:* мольные доли 0.565 и 0.435, массовые доли 56.04 и 43.96 %.

**1.2.** Природный таллий состоит из двух изотопов:  $^{203}\text{Tl}$  и  $^{205}\text{Tl}$ . Средняя молярная масса таллия равна 204.38 г/моль. Рассчитайте содержание каждого изотопа в мольных долях и в процентах по массе. Поясните, какие причины, кроме существования изотопов, приводят к нецелым атомным массам в таблице Менделеева.

*Решение.* Пусть мольная доля  $^{203}\text{Tl}$  равна  $x$ . Тогда средняя молярная масса таллия составляет

$$203x + 205(1 - x) = 204.38,$$

отсюда  $x = 0.310$ . Следовательно, мольная доля  $^{203}\text{Tl}$  равна 0.310, а мольная доля  $^{205}\text{Tl}$  – 0.690. Массовая доля  $^{203}\text{Tl}$  равна

$$\omega = \frac{0.310 \cdot 203}{204.38} = 0.3079 = 30.79 \%,$$

следовательно, массовая доля  $^{205}\text{Tl}$  составляет 69.21 %.

Кроме необходимости расчета средней молярной массы из-за наличия изотопов, причинами нецелых атомных масс в таблице Менделеева являются не точное равенство единице массы протона и нейтрона, наличие массы у электронов и существование дефекта массы.

*Ответ:* мольные доли 0.310 и 0.690, массовые доли 30.79 % и 69.21 %.

**1.3.** Природная сурьма состоит из двух изотопов:  $^{121}\text{Sb}$  и  $^{123}\text{Sb}$ . Средняя молярная масса сурьмы равна 121.76 г/моль. Рассчитайте содержание каждого изотопа в мольных долях и в процентах по массе. Поясните, какие причины, кроме существования изотопов, приводят к нецелым атомным массам в таблице Менделеева.

*Решение.* Пусть мольная доля  $^{121}\text{Sb}$  равна  $x$ . Тогда средняя молярная масса сурьмы составляет

$$121x + 123(1 - x) = 121.76,$$

отсюда  $x = 0.620$ . Следовательно, мольная доля  $^{121}\text{Sb}$  равна 0.620, а мольная доля  $^{123}\text{Sb} = 0.380$ . Массовая доля  $^{121}\text{Sb}$  равна

$$\omega = \frac{0.620 \cdot 121}{121.76} = 0.6161 = 61.61 \%,$$

следовательно, массовая доля  $^{123}\text{Sb}$  составляет 38.39 %.

Кроме необходимости расчета средней молярной массы из-за наличия изотопов, причинами нецелых атомных масс в таблице Менделеева являются не точное равенство единице массы протона и нейтрона, наличие массы у электронов и существование дефекта массы.

*Ответ:* мольные доли 0.620 и 0.380, массовые доли 61.61 % и 38.39 %.

**1.4.** Природный иридий состоит из двух изотопов:  $^{191}\text{Ir}$  и  $^{193}\text{Ir}$ . Средняя молярная масса иридия равна 192.22 г/моль. Рассчитайте содержание каждого изотопа в мольных долях и в процентах по массе. Поясните, какие причины, кроме существования изотопов, приводят к нецелым атомным массам в таблице Менделеева.

*Решение.* Пусть мольная доля  $^{191}\text{Ir}$  равна  $x$ . Тогда средняя молярная масса иридия составляет

$$191x + 193(1 - x) = 192.22,$$

отсюда  $x = 0.390$ . Следовательно, мольная доля  $^{191}\text{Ir}$  равна 0.390, а мольная доля  $^{193}\text{Ir} = 0.610$ . Массовая доля  $^{191}\text{Ir}$  равна

$$\omega = \frac{0.390 \cdot 191}{192.22} = 0.3875 = 38.75 \%,$$

Следовательно, массовая доля  $^{193}\text{Ir}$  составляет 61.25 %.

Кроме необходимости расчета средней молярной массы из-за наличия изотопов, причинами нецелых атомных масс в таблице Менделеева являются не точное равенство единице массы протона и нейтрона, наличие массы у электронов и существование дефекта массы.

*Ответ:* мольные доли 0.390 и 0.610, массовые доли 38.75 % и 61.25 %.

**Система оценивания единая для всех вариантов:**

**3 балла за правильные мольные доли изотопов, 3 – за массовые, 2 балла за правильные причины нецелых значений. Всего 3 + 3 + 2 = 8 баллов**

## Задача 2 (12 баллов)

**2.1.** При взаимодействии 9.6 г углеводорода неразветвленного строения с подкисленным раствором перманганата калия выделилось 6.72 л газа (н. у.) и образовалась одноосновная карбоновая кислота массой 8.8 г. Определите возможное строение исходного углеводорода, назовите его по правилам номенклатуры. Напишите уравнение реакции окисления.

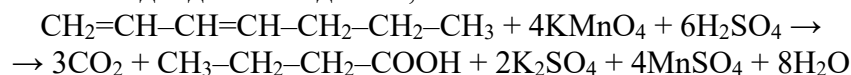
*Решение.* Выделившийся при окислении газ – это  $\text{CO}_2$ , его количество

$$\nu(\text{CO}_2) = 6.72 / 22.4 = 0.3 \text{ моль.}$$

Одноосновная карбоновая кислота – бутановая, ее количество

$$\nu(\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2) = 8.8 / 88 = 0.1 \text{ моль.}$$

Значит, в молекуле исходного углеводорода было семь атомов углерода, скелет по условию нормальный. Подходит гептадиен-1,3:



*Ответ:* гептадиен-1,3.

**2.2.** При взаимодействии 41.4 г углеводорода с подкисленным раствором перманганата калия выделилось 20.16 л газа (н. у.) и образовалось карбонильное соединение массой 34.2 г. Определите состав и возможное строение исходного углеводорода, напишите реакцию окисления.

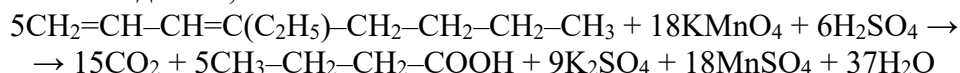
*Решение.* Выделившийся при окислении газ – это CO<sub>2</sub>, его количество

$$\nu(\text{CO}_2) = 20.16 / 22.4 = 0.9 \text{ моль.}$$

Образовавшееся карбонильное соединение – кетон C<sub>7</sub>H<sub>14</sub>O, его количество

$$\nu(\text{C}_7\text{H}_{14}\text{O}) = 34.2 / 114 = 0.3 \text{ моль.}$$

Значит, в молекуле исходного углеводорода было десять атомов углерода. Подходит, например, 4-этилоктадиен-1,3:



*Ответ:* 4-этилоктадиен-1,3.

**2.3.** При взаимодействии 6.8 г углеводорода неразветвленного строения с подкисленным раствором перманганата калия выделилось 4.48 л газа (н. у.) и образовалась двухосновная кислота массой 7.3 г. Определите состав и возможное строение исходного углеводорода, напишите реакцию окисления.

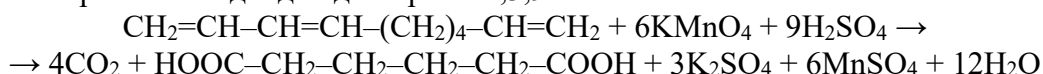
*Решение.* Выделившийся при окислении газ – это CO<sub>2</sub>, его количество

$$\nu(\text{CO}_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль.}$$

Двухосновная карбоновая кислота с неразветвленным скелетом – адипиновая, ее количество

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_4) = 7.3 / 146 = 0.05 \text{ моль.}$$

Значит, в молекуле исходного углеводорода было десять атомов углерода, он имел нормальное строение. Подходит декатриен-1,3,9:



*Ответ:* декатриен-1,3,9.

**2.4.** При взаимодействии 6.8 г углеводорода с подкисленным раствором перманганата калия выделилось 2.24 л газа (н. у.) и образовалась двухосновная кислота массой 8.6 г. Определите состав и возможное строение исходного углеводорода, напишите реакцию окисления.

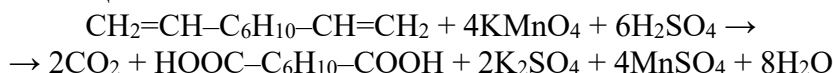
*Решение.* Выделившийся при окислении газ – это CO<sub>2</sub>, его количество

$$\nu(\text{CO}_2) = 2.24 / 22.4 = 0.1 \text{ моль.}$$

Двухосновная карбоновая кислота – 1,3-циклогександикарбоновая, ее количество

$$\nu(\text{C}_8\text{H}_{12}\text{O}_4) = 8.6 / 146 = 0.05 \text{ моль.}$$

Значит, в молекуле исходного углеводорода было десять атомов углерода. Подходит, например, 1,3-дивинилциклогексан:



*Ответ:* 1,3-дивинилциклогексан.

**Система оценивания единая для всех вариантов:**

**4 балла – уравнение реакции, 4 балла расчет количеств веществ продуктов, 4 балла – структура исходного углеводорода. Всего 4 + 4 + 4 = 12 баллов.**

### Задача 3 (12 баллов)

**3.1.** Для приготовления 358.5 г насыщенного при 80 °С раствора сульфата меди навеску смеси, содержащей безводную соль и кристаллогидрат  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  в соотношении 1 : 2.229 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу взятой навески. Сколько граммов медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  можно получить при охлаждении полученного раствора до 12 °С?

Известно, что насыщенный раствор сульфата меди при 80 °С содержит 35.69 масс% соли, а при 12 °С – 15.35 масс% соли.

*Решение.* Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют  $M(\text{CuSO}_4) = 160$  г/моль,  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 214$  г/моль,  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$  г/моль.

Пусть навеска содержала  $x$  моль безводной соли и  $y$  моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$\begin{aligned}2.229 \cdot 160x &= 214y, \\x &= 0.6y.\end{aligned}$$

В горячем растворе (при 80 °С):

$$\begin{aligned}\omega(\text{CuSO}_4) &= 0.3569 = 160(x + y) / 358.5, \\x + y &= 0.8,\end{aligned}$$

отсюда  $x = 0.3$ ,  $y = 0.5$  (моль). Найдем массу навески:

$$m(\text{навески}) = 160 \cdot 0.3 + 214 \cdot 0.5 = 155 \text{ г.}$$

При охлаждении до 12 °С выпадет  $z$  моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , раствор над осадком – насыщенный:

$$\begin{aligned}\omega(\text{CuSO}_4) &= 0.1535 = 160(0.8 - z) / (358.5 - 250z), \\z &= 0.6 \text{ моль,} \\m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= 250 \cdot 0.6 = 150 \text{ г.}\end{aligned}$$

*Ответ:* 155 г; 150 г.

**3.2.** Для приготовления насыщенного при 80 °С раствора сульфата меди 125.6 г смеси, содержащей безводную соль и  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  в соотношении 1 : 2.140 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу полученного раствора. Сколько граммов медного купороса  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  можно получить при охлаждении этого раствора до 9 °С?

Известно, что насыщенный раствор сульфата меди при 80 °С содержит 35.69 масс% соли, а при 9 °С – 14.42 масс% соли.

*Решение.* Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют  $M(\text{CuSO}_4) = 160$  г/моль,  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}) = 214$  г/моль,  $M(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250$  г/моль.

Пусть навеска содержала  $x$  моль безводной соли и  $y$  моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$\begin{aligned}2.140 \cdot 160x &= 214y, \\y &= 1.6x.\end{aligned}$$

Масса горячего насыщенного раствора составляет

$$125.6 = 160 \cdot x + 214 \cdot y = 160 \cdot x + 214 \cdot 1.6x,$$

отсюда  $x = 0.25$ ,  $y = 0.4$  (моль).

В горячем растворе (при 80 °С):

$$\begin{aligned}\omega(\text{CuSO}_4) &= 0.3569 = 160(x + y) / m(\text{р-ра}) = 160 \cdot 0.65 / m(\text{р-ра}), \\m(\text{р-ра}) &= 291.4 \text{ г.}\end{aligned}$$

При охлаждении до 9 °С выпадет  $z$  моль  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , раствор над осадком – насыщенный:

$$\begin{aligned}\omega(\text{CuSO}_4) &= 0.1442 = 160(0.65 - z) / (291.4 - 250z), \\z &= 0.5 \text{ моль,} \\m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) &= 250 \cdot 0.5 = 125 \text{ г.}\end{aligned}$$

*Ответ:* 291.4 г; 125 г.

**3.3.** Для приготовления 326.3 г насыщенного при 50 °С раствора сульфата железа(II) навеску смеси, содержащей  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в соотношении 1.90 : 1 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу взятой навески. Сколько граммов железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  можно получить при охлаждении полученного раствора до 7 °С?

Известно, что насыщенный раствор сульфата железа при 50 °С содержит 32.61 масс% соли, а при 7 °С – 16.23 масс% соли.

*Решение.* Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют  $M(\text{FeSO}_4) = 152$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 170$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 224$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278$  г/моль.

Пусть навеска содержала  $x$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $y$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$\begin{aligned}170x &= 1.90 \cdot 224y, \\x &= 2.5y.\end{aligned}$$

В горячем растворе (при 50 °С):

$$\begin{aligned}\omega(\text{FeSO}_4) &= 0.3261 = 152(x + y) / 326.3, \\x + y &= 0.7,\end{aligned}$$

отсюда  $x = 0.5$ ,  $y = 0.2$  (моль). Найдем массу навески:

$$m(\text{навески}) = 170 \cdot 0.5 + 224 \cdot 0.2 = 129.8 \text{ г.}$$

При охлаждении до 7 °С выпадет  $z$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(\text{FeSO}_4) = 0.1623 = 152(0.7 - z) / (326.3 - 278z),$$

отсюда  $z = 0.5$  моль. Масса осадка:

$$m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278 \cdot 0.5 = 139 \text{ г.}$$

*Ответ:* 129.8 г; 139 г.

**3.4.** Для приготовления насыщенного при 55 °С раствора сульфата железа(II) 180.0 г смеси, содержащей  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в соотношении 1 : 1.647 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу полученного раствора. Сколько граммов железного купороса  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  можно получить при охлаждении этого раствора до 10 °С?

Известно, что насыщенный раствор сульфата железа при 55 °С содержит 34.59 масс% соли, а при 10 °С – 17.69 масс% соли.

*Решение.* Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют  $M(\text{FeSO}_4) = 152$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 170$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}) = 224$  г/моль,  $M(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278$  г/моль.

Пусть навеска содержала  $x$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  и  $y$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$\begin{aligned}1.647 \cdot 170x &= 224y, \\y &= 1.25x.\end{aligned}$$

Масса горячего насыщенного раствора составляет

$$180.0 = 170 \cdot x + 224 \cdot 1.25x,$$

отсюда  $x = 0.4$ ,  $y = 0.5$  (моль).

В горячем растворе (при 55 °С):

$$\begin{aligned}\omega(\text{FeSO}_4) &= 0.3459 = 152(x + y) / m(\text{р-ра}) = 152 \cdot 0.9 / m(\text{р-ра}), \\m(\text{р-ра}) &= 395.5 \text{ г.}\end{aligned}$$

При охлаждении до 10 °С выпадет  $z$  моль  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ , раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(\text{FeSO}_4) = 0.1769 = 152(0.9 - z) / (395.5 - 278z),$$

отсюда  $z = 0.65$  моль. Масса осадка:

$$m(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}) = 278 \cdot 0.65 = 180.7 \text{ г.}$$

*Ответ:* 395.5 г; 180.7 г.

**Система оценивания единая для всех вариантов: расчет количеств солей – 4 балла, расчет массы полученного раствора – 4 балла, расчет массы осадка – 4 балла (4+4+4 = 12)**

#### Задача 4 (12 баллов)

**4.1.** Лампочка мощностью 15 Вт при непрерывной работе потребляет столько же энергии, сколько человеческий мозг. Рассчитайте объем метана (25 °С, 1 атм), при сжигании которого выделится столько же энергии, сколько необходимо человеческому организму для нормального функционирования в течение суток, если мозг потребляет 15% от этой энергии. Теплоты образования метана, углекислого газа и воды составляют 74.9, 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

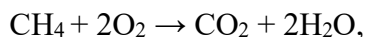
*Решение.* Найдем энергию, которую мозг человека потребляет в сутки:

$$E_{\text{мозг}} = W \cdot t = 15 \cdot 3600 \cdot 24 = 1296000 \text{ Дж},$$

А также энергию, необходимую организму в течение суток:

$$E = \frac{E_{\text{мозг}}}{0.15} = 8640 \text{ кДж}.$$

Запишем реакцию сгорания метана:



и на основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания метана:

$$Q_c = Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + 2 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{CH}_4) = 393.5 + 2 \cdot 285.8 - 74.9 = 890.2 \text{ кДж/моль}.$$

Количество вещества метана:

$$\nu_{\text{CH}_4} = \frac{E}{Q_c} = \frac{8640}{890.2} = 9.7 \text{ моль},$$

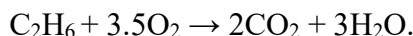
его объем составляет

$$V = \frac{\nu_{\text{CH}_4} RT}{p} = \frac{9.7 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 237 \text{ л}.$$

*Ответ:* 237 л.

**4.2.** При сжигании 144 л этана (25 °С, 1 атм), выделилось столько же энергии, сколько необходимо мужскому организму для нормального функционирования в течение суток. Какой процент от всей энергии организма потребляет мозг, если его энергопотребление эквивалентно энергопотреблению лампочки мощностью 20 Вт? Теплоты образования этана, углекислого газа и воды составляют 84.7, 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

*Решение.* Реакция сгорания этана:



На основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания этана:

$$Q_c = 2 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + 3 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{C}_2\text{H}_6) = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 84.7 = 1560 \text{ кДж/моль}.$$

Количество вещества этана:

$$\nu_{\text{C}_2\text{H}_6} = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 144}{8.314 \cdot 298} = 5.9 \text{ моль}.$$

Энергия, необходимая организму в течение суток:

$$E = \nu_{\text{C}_2\text{H}_6} \cdot Q_c = 5.9 \cdot 1560 = 9204 \text{ кДж}.$$

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки:

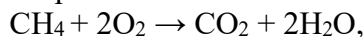
$$E_{\text{мозг}} = W \cdot t = 20 \cdot 3600 \cdot 24 = 1728000 \text{ Дж}.$$

$$\frac{E_{\text{мозг}}}{E} = \frac{1728}{9204} = 0.19 (19\%).$$

*Ответ:* 19%.

**4.3.** При сжигании 190 л метана (25 °С, 1 атм) выделилось столько же энергии, сколько необходимо женскому организму для нормального функционирования в течение суток. Рассчитайте мощность электрической лампочки (в ваттах), энергопотребление которой эквивалентно энергопотреблению мозга, если он потребляет 20% энергии всего организма. Теплоты образования метана, углекислого газа и воды составляют 74.9, 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

*Решение.* Запишем реакцию сгорания метана:



и на основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания метана:

$$Q_c = Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + 2 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{CH}_4) = 393.5 + 2 \cdot 285.8 - 74.9 = 890.2 \text{ кДж/моль}.$$

Количество вещества метана:

$$\nu_{\text{CH}_4} = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 190}{8.314 \cdot 298} = 7.8 \text{ моль},$$

Энергия, необходимая организму в течение суток:

$$E = \nu_{\text{CH}_4} \cdot Q_c = 7.8 \cdot 890.2 = 6944 \text{ кДж}.$$

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки

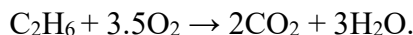
$$E_{\text{мозг}} = 0.2 \cdot E = 0.2 \cdot 6944 = 1389 \text{ кДж}.$$

$$\text{Мощность} \quad W = \frac{E_{\text{мозг}}}{24 \cdot 3600} = \frac{1389000}{24 \cdot 3600} = 16 \text{ Вт}.$$

*Ответ:* 16 Вт.

**4.4.** Женскому организму для нормального функционирования необходимо 1750 ккал в сутки, причем 20% этой энергии потребляет мозг. Рассчитайте мощность электрической лампочки (в ваттах), энергопотребление которой эквивалентно энергопотреблению мозга, и определите объем этана (25 °С, 1 атм) при сжигании которого, выделится столько же энергии, сколько потребляет мозг за сутки. Теплоты образования этана, углекислого газа и воды составляют 84.7, 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно.

*Решение.* Реакция сгорания этана:



На основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания этана:

$$Q_c = 2 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{CO}_2) + 3 \cdot Q_{\text{обр}}(\text{H}_2\text{O}) - Q_{\text{обр}}(\text{C}_2\text{H}_6) = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 84.7 = 1560 \text{ кДж/моль}.$$

Энергия, необходимая организму в течение суток:

$$E_{\text{оп}} = 1750000 \cdot 4.184 = 7322000 \text{ Дж}.$$

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки:

$$E_{\text{мозг}} = 7322000 \cdot 0.2 = 1464400 \text{ Дж}.$$

$$W = \frac{E_{\text{мозг}}}{24 \cdot 3600} = \frac{1464400}{24 \cdot 3600} = 17 \text{ Вт}.$$

Количество вещества этана:

$$\nu_{\text{C}_2\text{H}_6} = \frac{E_{\text{мозг}}}{Q_c} = \frac{1464400}{1560000} = 0.94 \text{ моль},$$

его объем:

$$V = \frac{n_{\text{C}_2\text{H}_6} RT}{p} = \frac{0.94 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 23 \text{ л}.$$

*Ответ:* 17 Вт, 23 л.

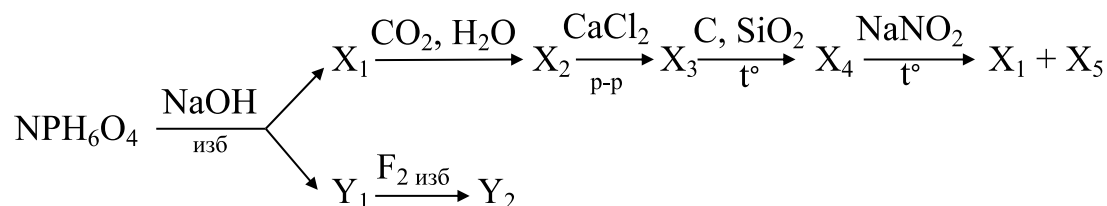
**Система оценивания единая для всех вариантов:**

**Пересчет мощность/энергия – 2 балла, пересчет потребления энергии мозг/организм – 2 балла, уравнение реакции и расчет мольной теплоты сгорания по закону Гесса – 4 балла, расчет количества и объема газа – 2+2 балла.**

**Всего 2 + 2 + 4 + 4 = 12 баллов.**

## Задача 5 (18 баллов)

**5.1.** Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.

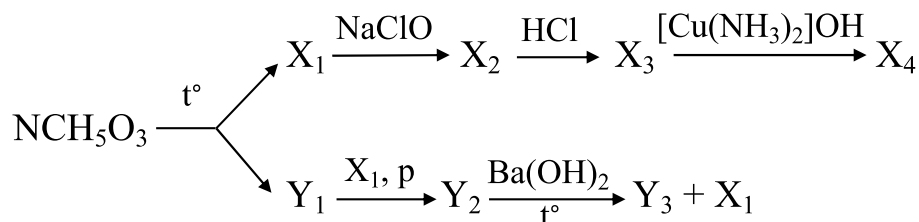


*Решение.* Уравнения возможных реакций:

- 1)  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $\text{Na}_3\text{PO}_4 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{NaHCO}_3$
- 3)  $\text{Na}_2\text{HPO}_4 + \text{CaCl}_2(\text{p-p}) \rightarrow \text{CaHPO}_4\downarrow + 2\text{NaCl}$
- 4)  $4\text{CaHPO}_4 + 10\text{C} + 4\text{SiO}_2 \xrightarrow{t} 4\text{CaSiO}_3 + \text{P}_4 + 10\text{CO}\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 5)  $\text{P}_4 + 6\text{NaNO}_2 \xrightarrow{t} 4\text{Na}_3\text{PO}_4 + 6\text{N}_2\uparrow$
- 6)  $4\text{NH}_3 + 3\text{F}_2 \rightarrow \text{NF}_3 + 3\text{NH}_4\text{F}$  (или HF) при охлаждении

*Ответ:*  $\text{X}_1 - \text{Na}_3\text{PO}_4$ ,  $\text{X}_2 - \text{Na}_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{X}_3 - \text{CaHPO}_4$ ,  $\text{X}_4 - \text{P}_4$ ,  $\text{X}_5 - \text{N}_2$ ,  $\text{Y}_1 - \text{NH}_3$ ,  $\text{Y}_2 - \text{NF}_3$ .

**5.2.** Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.



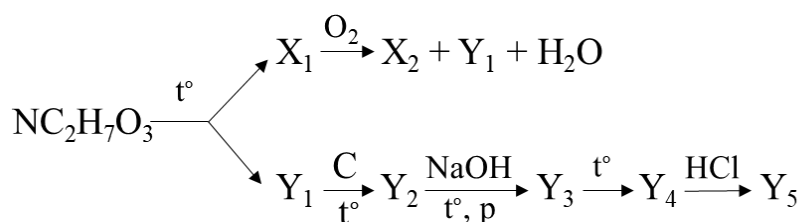
*Решение.* Уравнения возможных реакций:

- 1)  $\text{NH}_4\text{HCO}_3 \xrightarrow{t^\circ} \text{NH}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $2\text{NH}_3 + \text{NaClO} \xrightarrow[t, \text{p, желатин}]{t, \text{p, желатин}} \text{N}_2\text{H}_4 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{N}_2\text{H}_4 + \text{HCl} \rightarrow \text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$
- 4)  $\text{N}_2\text{H}_5\text{Cl} + 4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow \text{N}_2 + 4\text{Cu} + 7\text{NH}_3 + \text{NH}_4\text{Cl} + 4\text{H}_2\text{O}$
- 5)  $\text{CO}_2 + 2\text{NH}_3 \xrightarrow{\text{p}} (\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{H}_2\text{O}$
- 6)  $(\text{NH}_2)_2\text{CO} + \text{Ba}(\text{OH})_2 \xrightarrow{t} \text{BaCO}_3 + 2\text{NH}_3$

*Ответ:*  $\text{X}_1 - \text{NH}_3$ ,  $\text{X}_2 - \text{N}_2\text{H}_4$ ,  $\text{X}_3 - \text{N}_2\text{H}_5\text{Cl}$ ,  $\text{X}_4 - \text{N}_2$ ,  $\text{Y}_1 - \text{CO}_2$ ,  $\text{Y}_2 - (\text{NH}_2)_2\text{CO}$ ,  $\text{Y}_3 - \text{BaCO}_3$ .



**5.3.** Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.

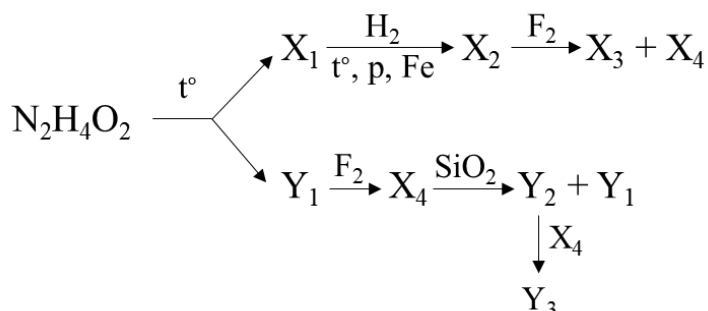


*Решение.* Уравнения возможных реакций:

- 1)  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{HCO}_3 \xrightarrow{t} \text{CH}_3\text{NH}_2 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2)  $4\text{NH}_2\text{CH}_3 + 7\text{O}_2 \rightarrow 2\text{N}_2 + 2\text{CO}_2 + 10\text{H}_2\text{O}$
- 3)  $\text{CO}_2 + \text{C} \xrightarrow{t} 2\text{CO}$
- 4)  $\text{CO} + \text{NaOH} \xrightarrow[p, t]{} \text{HCOONa}$
- 5)  $2\text{HCOONa} \xrightarrow{t} \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + \text{H}_2$
- 6)  $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4 + 2\text{NaCl}$

*Ответ:*  $\text{X}_1 - \text{CH}_3\text{NH}_2$ ,  $\text{X}_2 - \text{N}_2$ ,  $\text{Y}_1 - \text{CO}_2$ ,  $\text{Y}_2 - \text{CO}$ ,  $\text{Y}_3 - \text{HCOONa}$ ,  $\text{Y}_4 - \text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ,  $\text{Y}_5 - \text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$ .

**5.4.** Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.



*Решение.* Уравнения возможных реакций:

- 1)  $\text{NH}_4\text{NO}_2 \xrightarrow{t} \text{N}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2)  $\text{N}_2 + 3\text{H}_2 \rightleftharpoons 2\text{NH}_3$
- 3)  $\text{NH}_3 + 3\text{F}_2 \rightarrow \text{NF}_3 + 3\text{HF}$  при охлаждении
- 4)  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{F}_2 \rightarrow 4\text{HF} + \text{O}_2$
- 5)  $4\text{HF}(\text{r}) + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6)  $\text{SiF}_4 + 2\text{HF}(\text{p-p}) \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6$

*Ответ:*  $\text{X}_1 - \text{N}_2$ ,  $\text{X}_2 - \text{NH}_3$ ,  $\text{X}_3 - \text{NF}_3$ ,  $\text{X}_4 - \text{HF}$ ,  $\text{Y}_1 - \text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Y}_2 - \text{SiF}_4$ ,  $\text{Y}_3 - \text{H}_2\text{SiF}_6$ .

**Система оценивания единая для всех вариантов:**

**по 3 балла за правильную реакцию, всего  $3 \cdot 6 = 18$  баллов**

## Задача 6 (18 баллов)

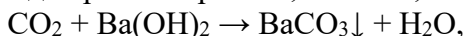
**6.1.** Калиевая соль **A** предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит 27.86% металла по массе. При электролизе водного раствора **A** на аноде выделились газ и органическая жидкость **B**. Газ пропустили через избыток баритовой воды и получили 39.4 г осадка. Нагревание **B** над платиной при 300 °С дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором перманганата калия до соединения **D**. При нагревании до 250°С масса **D** уменьшилась на 10.84% и образовалось соединение **E**. Установите строение соединений **A** - **E**, а также найдите массу **E**, считая, что все реакции идут с выходом 100%. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Соль **A** –  $C_nH_{2n-1}O_2K$ . Массовая доля калия в соли **A**:

$$\omega(K) = 39 / (14n + 70) = 0.2786,$$

отсюда  $n = 5$ .

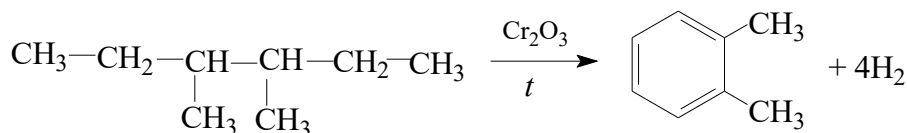
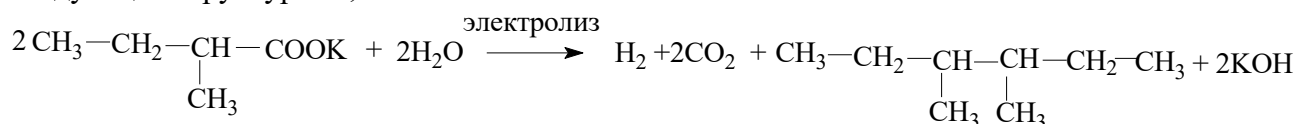
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это  $CO_2$ , его реакция с баритовой водой:



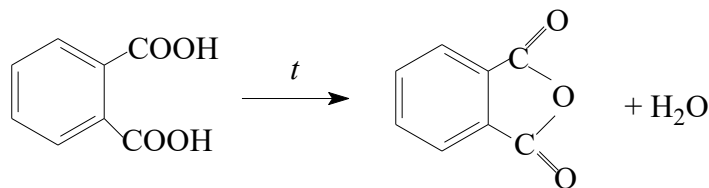
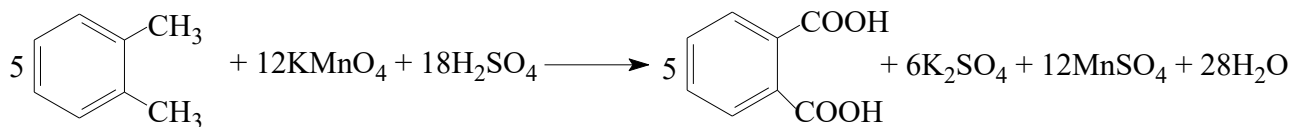
$$v(CO_2) = 39.4 / 197 = 0.2 \text{ моль.}$$

Значит,  $v(A) = 0.2$  моль.

Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:



Окисление **C** перманганатом приводит к образованию кислоты **D**, которая при нагревании превращается в ангидрид **E**, теряя воду:



Потеря массы фталевой кислотой составляет  $18 / 166 = 0.1084$  (10.84%), что соответствует условию задачи. Масса **E** составляет

$$m(C_8H_4O_3) = 148 \cdot 0.1 = 14.8 \text{ г.}$$

*Ответ:* **A** – калиевая соль 2-метилбутановой кислоты, **B** – 3,4-диметилгексан, **C** – 1,2-диметилбензол, **D** – фталевая кислота, **E** – ангидрид фталевой кислоты; 14.8 г.

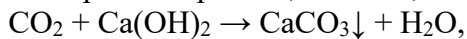
**6.2.** Натриевая соль **A** предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит 18.55% металла по массе. При электролизе водного раствора **A** на аноде выделились газ и органическая жидкость **B**. Газ пропустили через избыток известковой воды и получили 25.0 г осадка. Нагревание **B** над платиной при 300 °С дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором дихромата калия до соединения **D**. При нагревании до 250 °С масса **D** уменьшилась на 10.84% и образовалось соединение **E**. Установите строение соединений **A** – **E**, а также найдите массу **E**, считая, что все реакции идут с выходом 100%. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Соль **A** –  $C_nH_{2n-1}O_2Na$ . Массовая доля натрия в соли **A**:

$$\omega(Na) = 23 / (14n + 54) = 0.1855,$$

отсюда  $n = 5$ .

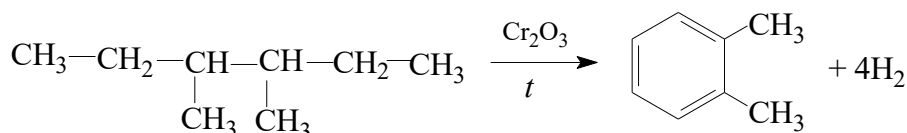
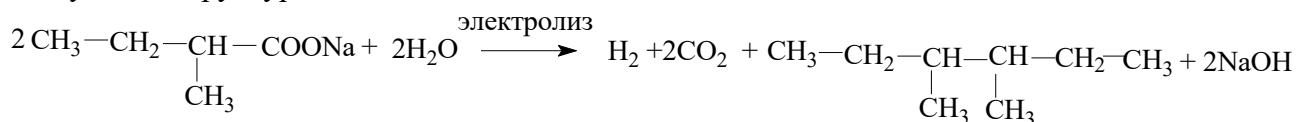
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это  $CO_2$ , его реакция с известковой водой:



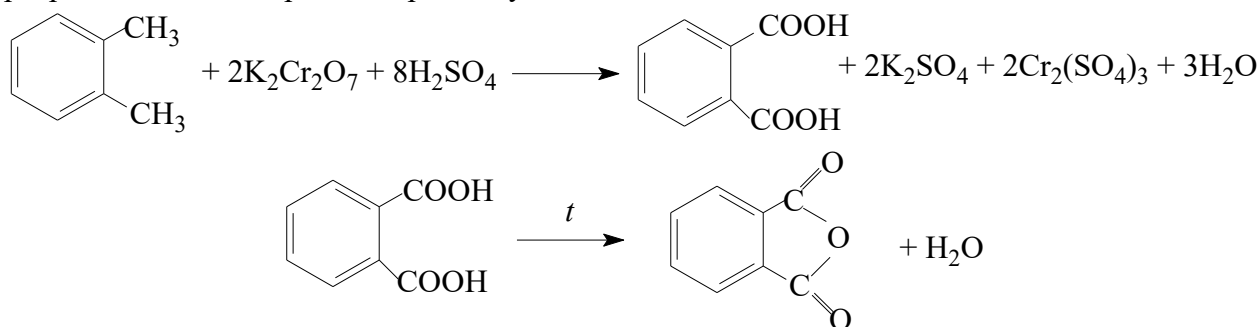
$$v(CO_2) = 25.0 / 100 = 0.25 \text{ моль.}$$

Значит,  $v(A) = 0.25$  моль.

Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:



Окисление **C** дихроматом приводит к образованию кислоты **D**, которая при нагревании превращается в ангидрид **E**, теряя воду:



Потеря массы фталевой кислотой составляет  $18 / 166 = 0.1084$  (10.84%), что соответствует условию задачи. Масса **E** составляет

$$m(C_8H_4O_3) = 148 \cdot 0.125 = 18.5 \text{ г.}$$

*Ответ:* **A** – натриевая соль 2-метилбутановой кислоты, **B** – 3,4-диметилгексан, **C** – 1,2-диметилбензол, **D** – фталевая кислота, **E** – ангидрид фталевой кислоты; 18.5 г.

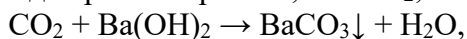
**6.3.** Натриевая соль **A** предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит 16.67% металла по массе. При электролизе водного раствора **A** на аноде выделились газ и органическая жидкость **B**. Газ пропустили через избыток баритовой воды и получили 19.7 г осадка. Нагревание **B** над платиной при 300 °С дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором перманганата калия до соединения **D**. При нагревании до 250 °С масса **D** уменьшилась на 10.84% и образовалось соединение **E**. Установите строение соединений **A** - **E**, а также найдите массу **E**, считая, что все реакции идут с выходом 100%. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Соль **A** –  $C_nH_{2n-1}O_2Na$ . Массовая доля натрия в соли **A**:

$$\omega(Na) = 23 / (14n + 54) = 0.1667,$$

отсюда  $n = 6$ .

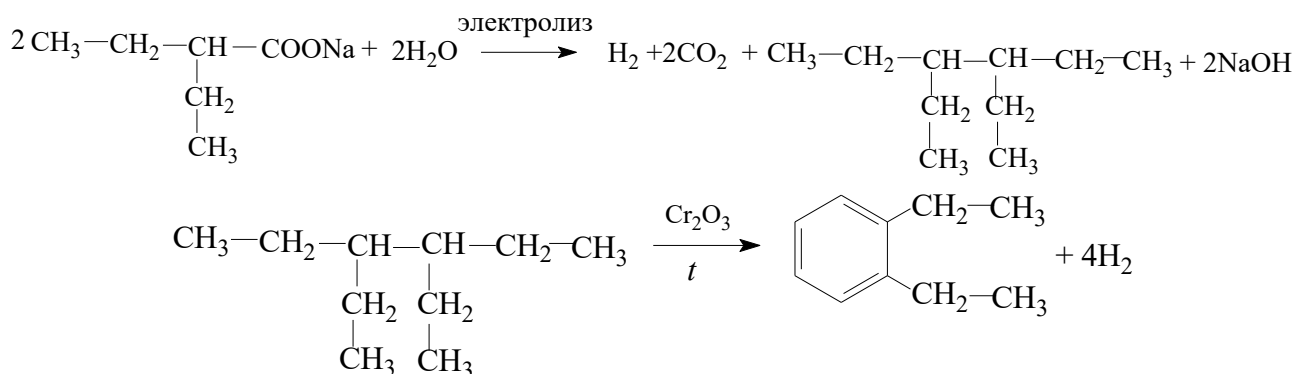
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это  $CO_2$ , его реакция с баритовой водой:



$$v(CO_2) = 19.7 / 197 = 0.1 \text{ моль.}$$

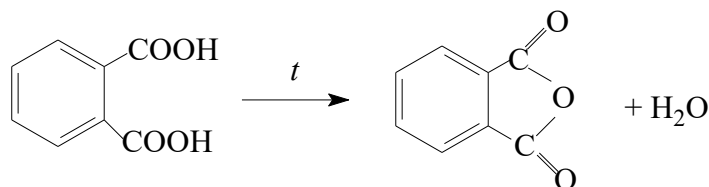
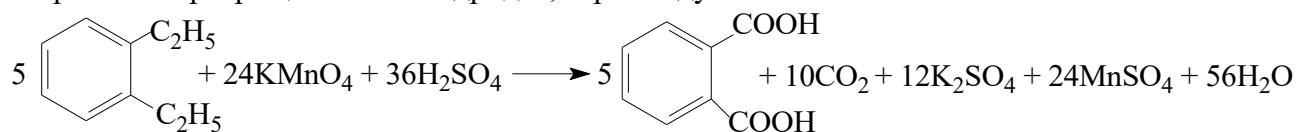
Значит,  $v(A) = 0.1$  моль.

Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:



В работах участников был встречен вариант вещества **С** – нафталин, который не принимался в качестве верного.

Окисление **С** перманганатом приводит к образованию кислоты **Д**, которая при нагревании превращается в ангидрид **Е**, теряя воду:



Потеря массы фталевой кислотой составляет  $18 / 166 = 0.1084$  (10.84%), что соответствует условию задачи. Масса **Е** составляет

$$m(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3) = 148 \cdot 0.05 = 7.4 \text{ г.}$$

*Ответ:* **А** – натриевая соль 2-этилбутановой кислоты, **В** – 3,4-диэтилгексан, **С** – 1,2-диэтилбензол, **Д** – фталевая кислота, **Е** – ангидрид фталевой кислоты; 7.4 г.

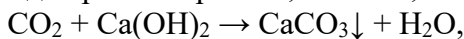
**6.4.** Калиевая соль **А** предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит 25.32% металла по массе. При электролизе водного раствора **А** на аноде выделились газ и органическая жидкость **В**. Газ пропустили через избыток известковой воды и получили 35.0 г осадка. Нагревание **В** над платиной при 300 °С дало единственное соединение **С**, которое окислили подкисленным раствором дихромата калия до соединения **Д**. При нагревании до 250 °С масса **Д** уменьшилась на 10.84% и образовалось соединение **Е**. Установите строение соединений **А** - **Е**, а также найдите массу **Е**, считая, что все реакции идут с выходом 100%. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Соль **А** –  $\text{C}_n\text{H}_{2n-1}\text{O}_2\text{K}$ . Массовая доля калия в соли **А**:

$$\omega(\text{K}) = 39 / (14n + 70) = 0.2532,$$

отсюда  $n = 6$ .

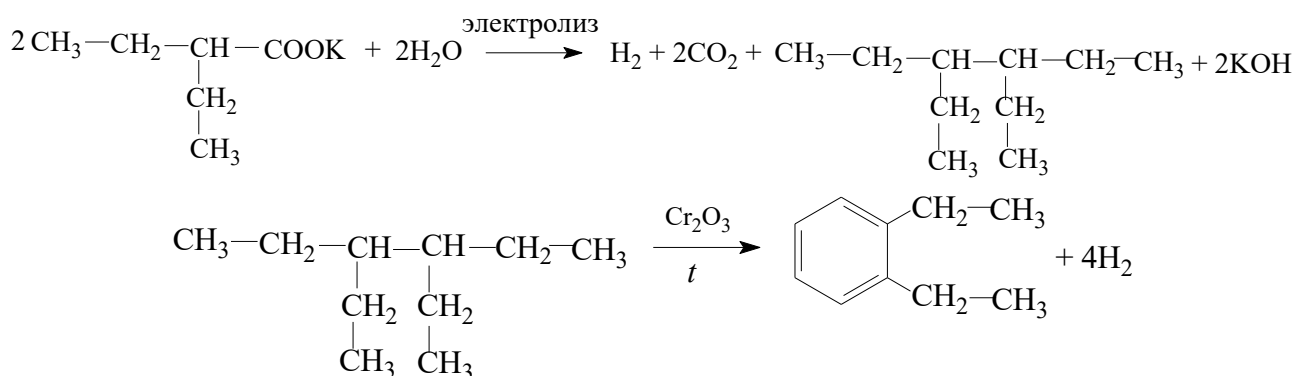
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это  $\text{CO}_2$ , его реакция с известковой водой:



$$v(\text{CO}_2) = 35.0 / 100 = 0.35 \text{ моль.}$$

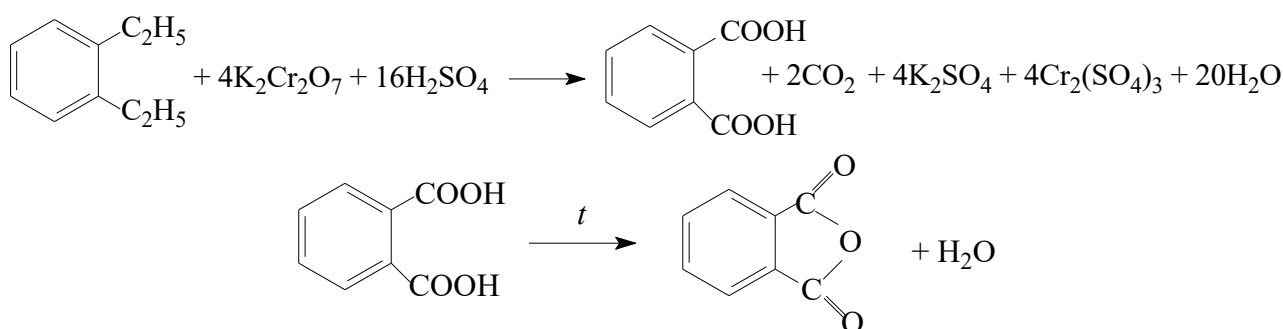
Значит,  $v(\text{А}) = 0.35$  моль.

Поскольку дегидроциклизация **В** дает единственный продукт **С**, можно предположить следующие структуры **А**, **В** и **С**:



В работах участников был встречен вариант вещества **С** – нафталин, который не принимался в качестве верного.

Окисление **С** дихроматом приводит к образованию кислоты **Д**, которая при нагревании превращается в ангидрид **Е**, теряя воду:



Потеря массы фталевой кислотой составляет  $18 / 166 = 0.1084$  (10.84%), что соответствует условию задачи. Масса **Е** составляет

$$m(\text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3) = 148 \cdot 0.175 = 25.9 \text{ г.}$$

*Ответ:* **А** – калиевая соль 2-этилбутановой кислоты, **В** – 3,4-диэтилгексан, **С** – 1,2-диэтилбензол, **Д** – фталевая кислота, **Е** – ангидрид фталевой кислоты; 25.9 г.

**Система оценивания:** правильные структуры **В**, **С**, **Д**, **Е** – по 1 баллу, структура **А** – 2 балла, 5 реакций по 1 баллу, расчет количества вещества **А** – 4 балла, расчет массы **Е** – 3 балла. Всего  $4 \cdot 1 + 2 + 5 \cdot 1 + 4 + 3 = 18$  баллов.

### Задача 7 (20 баллов)

**7.1.** Навеску массой 183.9 г растворимой в воде комплексной соли **Х** разделили на три равные части. При действии на первую часть избытка гидроксида натрия выделяется газ **Х**<sub>1</sub>, сгорающий в кислороде с образованием 13.44 л (н. у.) газообразного простого вещества **Х**<sub>2</sub>, не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества **Х** подействовали избытком азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение белого творожистого осадка **Х**<sub>3</sub> массой 86.1 г. При действии на третью часть **Х** горячей концентрированной серной кислоты получили раствор, содержащий вещество **Х**<sub>4</sub>. Упаривание раствора и последующее прокаливании образовавшихся бесцветных кристаллов дает 24.3 г белого порошка **Х**<sub>5</sub>. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Газ **Х**<sub>1</sub>, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа – вероятно, аммиак NH<sub>3</sub>. Тогда возможно, что **Х** содержит аммиак или ион аммония, а газ **Х**<sub>2</sub> – азот N<sub>2</sub>. Белый творожистый осадок **Х**<sub>3</sub> – вероятно, хлорид серебра. Значит,

**X** содержит хлорид-ионы. Найдем молярное соотношение азота и хлора и массы этих элементов в **X**:

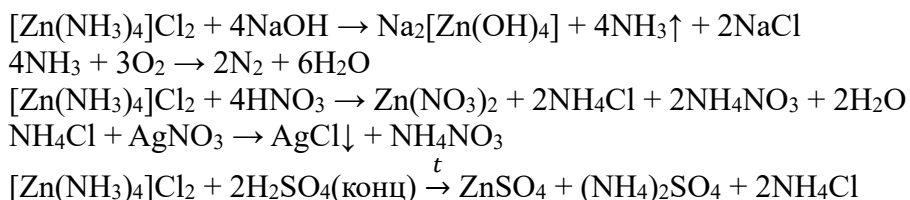
$$\begin{aligned}v(\text{N}_2) &= 13.44 / 22.4 = 0.6 \text{ моль,} \\v(\text{N}) &= 1.2 \text{ моль,} \\m(\text{N}) &= 16.8 \text{ г.} \\v(\text{AgCl}) &= 86.1 / 143.5 = 0.6 \text{ моль,} \\v(\text{Cl}) &= 0.6 \text{ моль,} \\m(\text{Cl}) &= 21.3 \text{ г.}\end{aligned}$$

Тогда на другие элементы в **X** остаётся

$$183.9 / 3 - 16.8 - 21.3 = 23.2 \text{ г,}$$

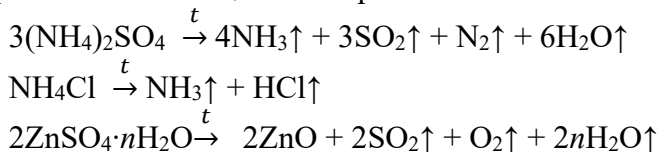
что соответствует  $23.2 \cdot 35.5 / 21.3 = 38.67$  (г/моль) в расчете на 1 атом хлора и 77.3 г/моль в расчете на 2 атома хлора. В первом случае на 1 атом хлора приходится два атома азота и 3 или 4 атома водорода на каждый атом азота, что приводит к остатку 30.67 или 32.67. Во втором случае 61.34 или 65.34, что соответствует цинку. Тогда **X** – хлорид тетраамминцинка  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ . Вещество **X**<sub>5</sub> – оксид цинка  $\text{ZnO}$ .

Уравнения реакций:

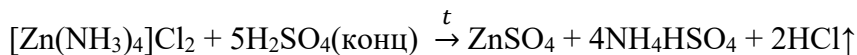


В этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь  $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (или аналог соли Мора с цинком  $(\text{NH}_4)_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Cl}$ ).

Прокаливание бесцветных кристаллов:

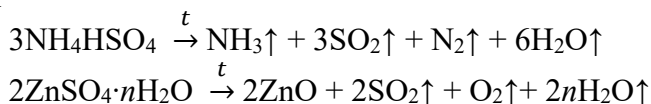


**или**



(в этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь  $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ )

Прокаливание:



*Ответ:* **X** –  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$ , **X**<sub>1</sub> –  $\text{NH}_3$ , **X**<sub>2</sub> –  $\text{N}_2$ , **X**<sub>3</sub> –  $\text{AgCl}$ , **X**<sub>4</sub> –  $\text{ZnSO}_4$ , **X**<sub>5</sub> –  $\text{ZnO}$ .

**7.2.** Навеску массой 176.1 г растворимой в воде комплексной соли **X** разделили на три равные части. При действии на первую часть избытком гидроксида натрия выделяется газ **X**<sub>1</sub>, сгорающий в кислороде с образованием 8.96 л (н. у.) газообразного простого вещества **X**<sub>2</sub>, не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества **X** подействовали избытком азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение бледно-желтого творожистого осадка **X**<sub>3</sub> массой 75.2 г. При действии на третью часть **X** горячей концентрированной серной кислоты получили раствор, содержащий вещество **X**<sub>4</sub>. Упаривание раствора и последующее прокалывание образовавшихся бесцветных кристаллов дает 24.3 г белого порошка **X**<sub>5</sub>. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* Газ **X**<sub>1</sub>, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа – вероятно, аммиак  $\text{NH}_3$ . Тогда возможно **X** содержит аммиак или ион аммония, а газ **X**<sub>2</sub> – азот  $\text{N}_2$ . Бледно-желтый творожистый осадок **X**<sub>3</sub> – вероятно, бромид серебра. Значит,

**X** содержит бромид-ионы. Найдем молярное соотношение азота и брома и массы этих элементов в **X**:

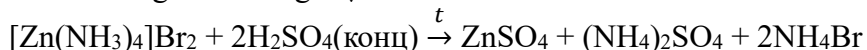
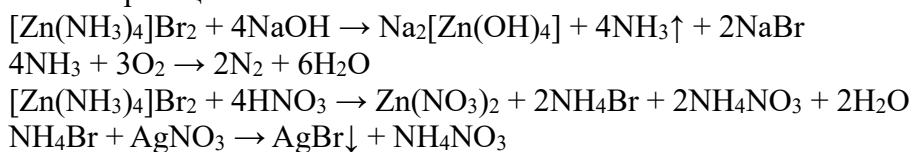
$$\begin{aligned}v(\text{N}_2) &= 8.96 / 22.4 = 0.4 \text{ моль,} \\v(\text{N}) &= 0.8 \text{ моль,} \\m(\text{N}) &= 11.2 \text{ г.} \\v(\text{AgBr}) &= 75.2 / 188 = 0.4 \text{ моль,} \\v(\text{Br}) &= 0.4 \text{ моль,} \\m(\text{Br}) &= 32.0 \text{ г.}\end{aligned}$$

Тогда на другие элементы в **X** остаётся

$$176.1 / 3 - 11.2 - 32.0 = 15.5 \text{ г,}$$

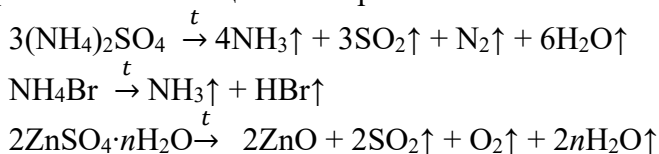
что соответствует  $15.5 \cdot 80 / 32 = 38.75$  г/моль в расчете на 1 атом брома и 77.5 г/моль в расчете на 2 атома брома. В первом случае на 1 атом брома приходится два атома азота и 3 или 4 атома водорода на каждый атом азота, что приводит к остатку 30.75 или 32.75. Во втором случае 61.5 или 65.5, что соответствует цинку. Тогда **X** – бромид тетраамминцинка  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Br}_2$ . Вещество **X**<sub>5</sub> – оксид цинка ZnO.

Уравнения реакций:

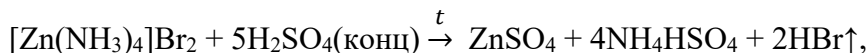


В этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь  $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (или аналог соли Мора с цинком  $(\text{NH}_4)_2\text{Zn}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} + \text{NH}_4\text{Br}$ ).

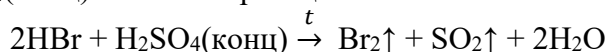
Прокаливание бесцветных кристаллов:



**или**

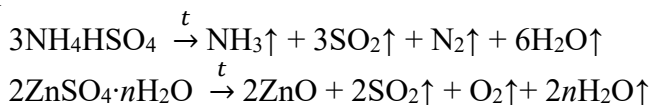


а также в избытке  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц})$  возможна реакция



(в этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь  $\text{ZnSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ )

Прокаливание:



Ответ: **X** –  $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{Br}_2$ , **X**<sub>1</sub> –  $\text{NH}_3$ , **X**<sub>2</sub> –  $\text{N}_2$ , **X**<sub>3</sub> –  $\text{AgBr}$ , **X**<sub>4</sub> –  $\text{ZnSO}_4$ , **X**<sub>5</sub> –  $\text{ZnO}$ .

*Жюри известно, что в тексте задачи приведено неправильное значение массы порошка **X**<sub>5</sub> (24.3 г вместо 16.2 г). Это значение не является строго необходимым для правильного решения. Работы участников, которым неправильное значение не позволило верно интерпретировать условия задачи, были проверены максимально внимательно и доброжелательно.*

**7.3.** Навеску массой 91.35 г растворимой в воде комплексной соли **X** разделили на три равные части. При действии на первую часть избытка гидроксида натрия выделяется газ **X**<sub>1</sub>, сгорающий в кислороде с образованием 6.72 л (н. у.) газообразного простого вещества **X**<sub>2</sub>, не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества **X** подействовали избытком азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение белого творожистого осадка **X**<sub>3</sub> массой 43.05 г. При действии на третью часть **X** горячей

концентрированной серной кислотой получили раствор, содержащий вещество  $X_4$ . Упаривание раствора и последующее прокаливании образовавшихся кристаллов дает 12.0 г черного порошка  $X_5$ . Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Газ  $X_1$ , образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа – вероятно, аммиак. Тогда возможно  $X$  содержит аммиак или ион аммония, а газ  $X_2$  – азот  $N_2$ . Белый творожистый осадок  $X_3$  – вероятно хлорид серебра. Значит,  $X$  содержит хлорид-ионы. Найдем молярное соотношение азота и хлора и массы этих элементов в  $X$ :

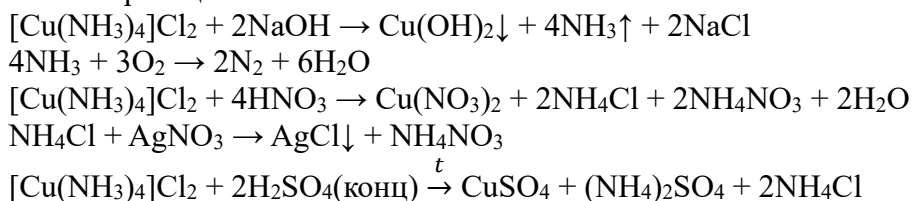
$$\begin{aligned}v(N_2) &= 6.72 / 22.4 = 0.3 \text{ моль,} \\v(N) &= 0.6 \text{ моль,} \\m(N) &= 8.4 \text{ г.} \\v(AgCl) &= 43.05 / 143.5 = 0.3 \text{ моль,} \\v(Cl) &= 0.3 \text{ моль,} \\m(Cl) &= 10.65 \text{ г.}\end{aligned}$$

Тогда на другие элементы в  $X$  остаётся

$$91.35 / 3 - 8.4 - 10.65 = 11.4 \text{ г,}$$

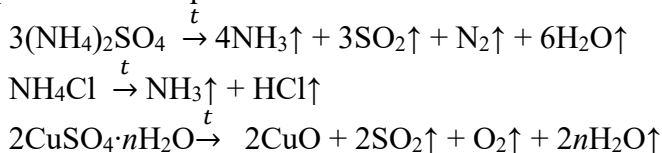
что соответствует  $11.4 \cdot 35.5 / 10.65 = 38$  г/моль в расчете на 1 атом хлора и 76 г/моль в расчете на 2 атома хлора. В первом случае на 1 атом хлора приходится два атома азота и 3 или 4 атома водорода на каждый атом азота, что приводит к остатку 30 или 32. Во втором случае 60 или 64, что соответствует меди. Тогда  $X$  – хлорид тетраамминмеди  $[Cu(NH_3)_4]Cl_2$ . Черное вещество  $X_5$  – оксид меди  $CuO$ .

Уравнения реакций:

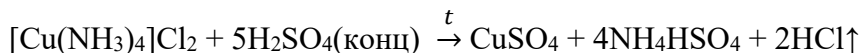


В этом случае кристаллы после упаривания – смесь  $CuSO_4 \cdot nH_2O$  и  $(NH_4)_2SO_4$  (или аналог соли Мора с медью  $(NH_4)_2Cu(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$  +  $NH_4Cl$ ).

Прокаливание кристаллов:

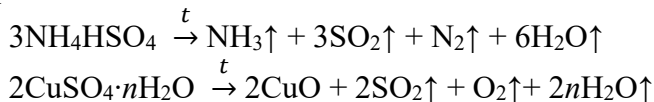


**или**



(в этом случае кристаллы после упаривания – смесь  $CuSO_4 \cdot nH_2O$  и  $NH_4HSO_4$ )

Прокаливание:



*Ответ:*  $X$  –  $[Cu(NH_3)_4]Cl_2$ ,  $X_1$  –  $NH_3$ ,  $X_2$  –  $N_2$ ,  $X_3$  –  $CuSO_4$ ,  $X_4$  –  $CuO$ ,  $X_5$  –  $AgCl$ .

**7.4.** Навеску массой 105.1 г растворимой в воде комплексной соли  $X$  разделили на три равные части. При действии на первую часть избытка гидроксида натрия выделяется газ  $X_1$ , сгорающий в кислороде с образованием 5.38 л (н. у.) газообразного простого вещества  $X_2$ , не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества  $X$  подействовали избытком азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение бледно-желтого творожистого осадка  $X_3$  массой 45.1 г. При действии на третью часть  $X$  горячей концентрированной серной кислотой получили раствор, содержащий вещество  $X_4$ .



Упаривание раствора и последующее прокаливании образовавшихся кристаллов дает 9.6 г черного порошка X<sub>5</sub>. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Газ X<sub>1</sub>, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа, вероятно, аммиак. Тогда возможно X содержит аммиак или ион аммония, а газ X<sub>2</sub> – азот N<sub>2</sub>. Бледно-желтый творожистый осадок X<sub>3</sub> – вероятно, бромид серебра. Значит, вещество X содержит бромид-ионы. Найдем молярное соотношение азота и брома и массы этих элементов в X:

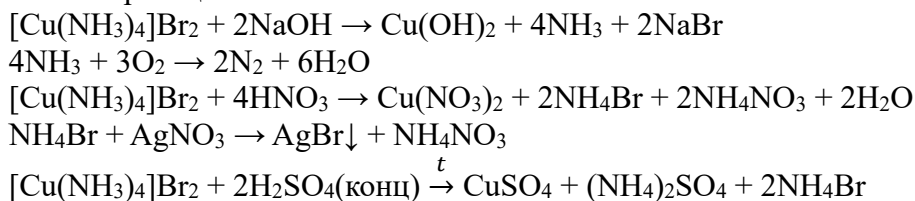
$$\begin{aligned}v(\text{N}_2) &= 5.38 / 22.4 = 0.24 \text{ моль,} \\v(\text{N}) &= 0.48 \text{ моль,} \\m(\text{N}) &= 6.72 \text{ г.} \\v(\text{AgBr}) &= 45.1 / 188 = 0.24 \text{ моль,} \\v(\text{Br}) &= 0.24 \text{ моль,} \\m(\text{Br}) &= 19.2 \text{ г.}\end{aligned}$$

Тогда на другие элементы в X остаётся

$$105.1 / 3 - 6.72 - 19.2 = 9.11 \text{ г,}$$

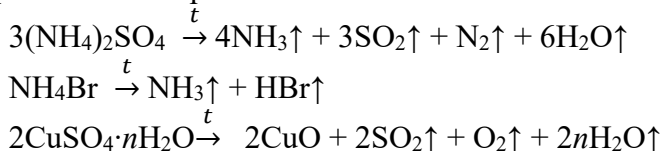
что соответствует  $9.11 \cdot 80 / 19.2 = 38$  г/моль в расчете на 1 атом брома и 76 г/моль в расчете на 2 атома брома. В первом случае на 1 атом брома приходится два атома азота и 3 или 4 атома водорода на каждый атом азота, что приводит к остатку 30 или 32. Во втором случае 60 или 64, что соответствует меди. Тогда X – бромид тетраамминмеди  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Br}_2$ . Черное вещество X<sub>5</sub> – оксид меди CuO.

Уравнения реакций:

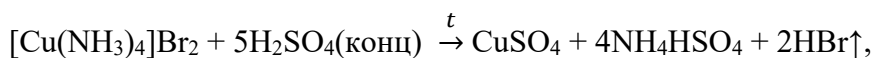


В этом случае кристаллы после упаривания – смесь  $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  (или аналог соли Мора с медью  $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) +  $\text{NH}_4\text{Br}$ ).

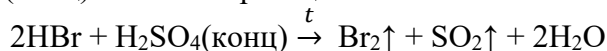
Прокаливание кристаллов:



**или**

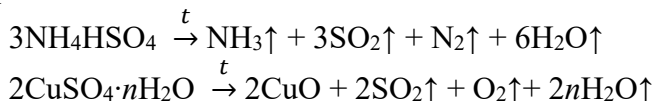


а также в избытке  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц})$  возможна реакция



(в этом случае кристаллы после упаривания – смесь  $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{NH}_4\text{HSO}_4$ ).

Прокаливание:



*Ответ:* X –  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Br}_2$ , X<sub>1</sub> –  $\text{NH}_3$ , X<sub>2</sub> –  $\text{N}_2$ , X<sub>3</sub> –  $\text{CuSO}_4$ , X<sub>4</sub> – CuO, X<sub>5</sub> – AgBr.

**Расчет и выяснение состава X – 4 балла, вещества X<sub>1</sub> – X<sub>5</sub> – по 2 балла, 6 реакций по 1 баллу. Всего  $4 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 6 = 20$  баллов**