Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год
Отборочный тур
Задания для 10 класса

Задача 1 (8 баллов)

1.1. Природное серебро состоит из двух изотопов: ^{107}Ag и ^{109}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.

1.2. Природный таллий состоит из двух изотопов: ^{203}Tl и ^{205}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.

1.3. Природная сурьма состоит из двух изотопов: ^{121}Sb и ^{123}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.

1.4. Природный иридий состоит из двух изотопов: ^{191}Ir и ^{193}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.

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.

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.

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.

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.

Задача 3 (12 баллов)

3.1. Для приготовления 358.5 г насыщенного при 80 °C раствора сульфата меди навеску смеси, содержащей безводную соль и кристаллогидрат $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ в соотношении 1 : 2.229 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу взятой навески. Сколько граммов медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ можно получить при охлаждении полученного раствора до 12 °C?

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

3.2. Для приготовления насыщенного при 80 ºС раствора сульфата меди 125.6 г смеси, содержащей безводную соль и $CuSO_4 \cdot 3H_2O$ в соотношении 1 : 2.140 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу полученного раствора. Сколько граммов медного купороса $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ можно получить при охлаждении этого раствора до 9 ºС?

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

3.3. Для приготовления 326.3 г насыщенного при 50 ºС раствора сульфата железа(II) навеску смеси, содержащей $FeSO_4 \cdot H_2O$ и $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ в соотношении 1.90 : 1 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу взятой навески. Сколько граммов железного купороса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ можно получить при охлаждении полученного раствора до 7 ºС?

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

3.4. Для приготовления насыщенного при 55 ºС раствора сульфата железа(II) 180.0 г смеси, содержащей $FeSO_4 \cdot H_2O$ и $FeSO_4 \cdot 4H_2O$ в соотношении 1 : 1.647 по массе, растворили в воде. Рассчитайте массу полученного раствора. Сколько граммов железного купороса $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ можно получить при охлаждении этого раствора до 10 ºС?

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

Задача 4 (12 баллов)

4.1. Лампочка мощностью 15 Вт при непрерывной работе потребляет столько же энергии, сколько человеческий мозг. Рассчитайте объем метана (25 ºС, 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.

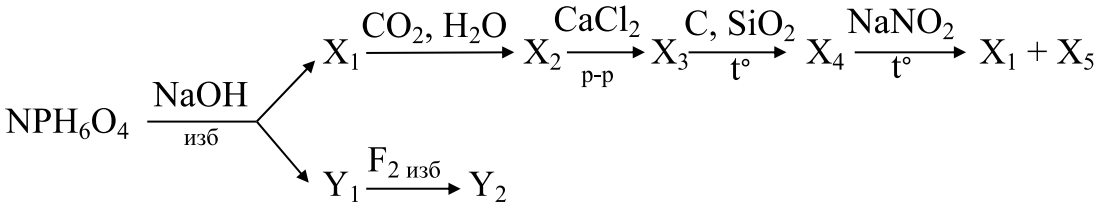
4.2. При сжигании 144 л этана (25 ºС, 1 атм), выделилось столько же энергии, сколько необходимо мужскому организму для нормального функционирования в течение суток. Какой процент от всей энергии организма потребляет мозг, если его энергопотребление эквивалентно энергопотреблению лампочки мощностью 20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

4.3. При сжигании 190 л метана (25 ºС, 1 атм) выделилось столько же энергии, сколько необходимо женскому организму для нормального функционирования в течение суток. Рассчитайте мощность электрической лампочки (в ваттх), 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.

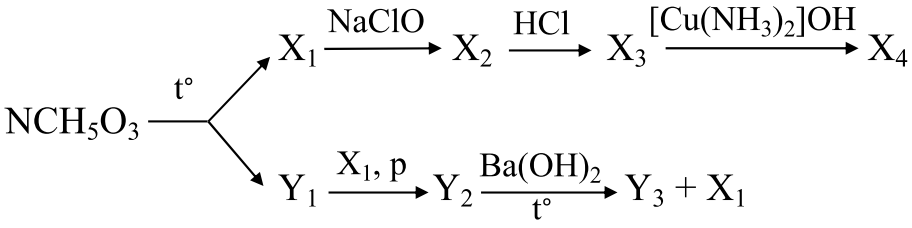
4.4. Женскому организму для нормального функционирования необходимо 1750 ккал в сутки, причем 20% этой энергии потребляет мозг. Рассчитайте мощность электрической лампочки (в ваттах), энергопотребление которой эквивалентно энергопотреблению мозга, и определите объем этана (25 ºС, 1 атм) при сжигании 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.

Задача 5 (18 баллов)

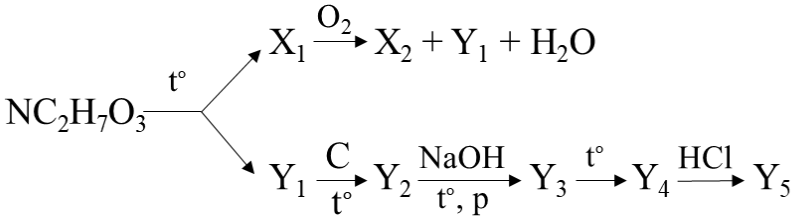
5.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.



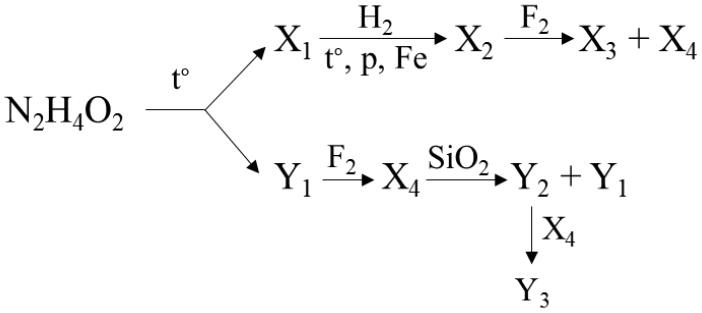
5.2. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия проведения.



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



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



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 °C дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором перманганата калия до соединения **D**. При нагревании до 250°C 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.

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 °C дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором дихромата калия до соединения **D**. При нагревании до 250 °C 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.

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 °C дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором перманганата калия до соединения **D**. При нагревании до 250 °C 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.

6.4. Калиевая соль **A** предельной одноосновной карбоновой кислоты содержит 25.32% металла по массе. При электролизе водного раствора **A** на аноде выделились газ и органическая жидкость **B**. Газ пропустили через избыток известковой воды и получили 35.0 г осадка. Нагревание **B** над платиной при 300 °C дало единственное соединение **C**, которое окислили подкисленным раствором дихромата калия до соединения **D**. При нагревании до 250 °C 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.

Задача 7 (20 баллов)

7.1. Навеску массой 183.9 г растворимой в воде комплексной соли **X** разделили на три равные части. При действии на первую часть избытка гидроксида натрия выделяется газ $\mathbf{X_1}$, сгорающий в кислороде с образованием 13.44 л (н. у.) газообразного простого вещества $\mathbf{X_2}$, не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества **X** подействовали избытком азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение белого творожистого осадка $\mathbf{X_3}$ массой 86.1 г. При действии на третью часть **X** горячей концентрированной серной кислоты получили раствор, содержащий вещество $\mathbf{X_4}$. Упаривание раствора и последующее прокаливание образовавшихся бесцветных кристаллов дает 24.3 г белого порошка $\mathbf{X_5}$. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения протекающих реакций.

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 $\mathbf{X_1}$, сгорающий в кислороде с образованием 8.96 л (н. у.) газообразного простого вещества $\mathbf{X_2}$, 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 $\mathbf{X_3}$ массой 75.2 г. При действии на третью часть **X** горячей концентрированной серной кислоты получили раствор, содержащий вещество $\mathbf{X_4}$. Упаривание раствора и последующее прокаливание образовавшихся бесцветных кристаллов дает 16.2 г белого порошка $\mathbf{X_5}$. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения протекающих реакций.

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 $\mathbf{X_1}$, сгорающий в кислороде с образованием 6.72 л (н. у.) газообразного простого вещества $\mathbf{X_2}$, не поддерживающего горение и дыхание. На вторую часть вещества **X** подействовали избытком

азотной кислоты, а затем прилили избыток раствора нитрата серебра и наблюдали выпадение белого творожистого осадка **X₃** массой 43.05 г. При действии на третью часть **X** горячей концентрированной серной кислотой получили раствор, содержащий вещество **X₄**. Упаривание раствора и последующее прокаливание образовавшихся кристаллов дает 12.0 г черного порошка **X₅**. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций.

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 **X₁**, сгорающий в кислороде с образованием 5.38 л (н. у.) газообразного простого вещества **X₂**, 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 **X₃** массой 45.1 г. При действии на третью часть **X** горячей концентрированной серной кислотой получили раствор, содержащий вещество **X₄**. Упаривание раствора и последующее прокаливание образовавшихся кристаллов дает 9.6 г черного порошка **X₅**. Определите неизвестные вещества, запишите уравнения реакций.

Решение заданий для 10 класса

Задача 1 (8 баллов)

1.1. Пусть мольная доля ^{107}Ag равна x. Тогда средняя молярная масса серебра составляет

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

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

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

следовательно, массовая доля ^{109}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. Пусть мольная доля ^{203}Tl равна x. Тогда средняя молярная масса таллия составляет

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

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

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

следовательно, массовая доля ^{205}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. Пусть мольная доля ^{121}Sb равна x. Тогда средняя молярная масса сурьмы составляет

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

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

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

следовательно, массовая доля ^{123}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. Пусть мольная доля ^{191}Ir равна x. Тогда средняя молярная масса иридия составляет

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

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

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

Следовательно, массовая доля ^{193}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. Выделившийся при окислении газ – это CO_2, его количество

$$\nu(CO_2) = 6.72 / 22.4 = 0.3 \text{ моль}.$$

Одноосновная карбоновая кислота – бутановая, ее количество

$$\nu(C_4H_8O_2) = 8.8 / 88 = 0.1 \text{ моль}.$$

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

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 3CO_2 + CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 8H_2O$$

Ответ: гептадиен-1,3.

2.2. Выделившийся при окислении газ – это CO_2, его количество

$$\nu(CO_2) = 20.16 / 22.4 = 0.9 \text{ моль}.$$

Образовавшееся карбонильное соединение – кетон $C_7H_{14}O$, его количество

$$\nu(C_7H_{14}O) = 34.2 / 114 = 0.3 \text{ моль}.$$

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

$$5CH_2{=}CH{-}CH{=}C(C_2H_5){-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + 18KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 15CO_2 + 5CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + 9K_2SO_4 + 18MnSO_4 + 37H_2O$$

Ответ: 4-этилоктадиен-1,3.

2.3. Выделившийся при окислении газ – это CO_2, его количество

$$\nu(CO_2) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль}.$$

Двухосновная карбоновая кислота с неразветвленным скелетом – адипиновая, ее количество

$$\nu(C_6H_{10}O_4) = 7.3 / 146 = 0.05 \text{ моль}.$$

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

$$CH_2{=}CH{-}CH{=}CH{-}(CH_2)_4{-}CH{=}CH_2 + 6KMnO_4 + 9H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 4CO_2 + HOOC{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}COOH + 3K_2SO_4 + 6MnSO_4 + 12H_2O$$

Ответ: декатриен-1,3,9.

2.4. Выделившийся при окислении газ – это CO_2, его количество

$$\nu(CO_2) = 2.24 / 22.4 = 0.1 \text{ моль}.$$

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

$$\nu(C_8H_{12}O_4) = 7.3 / 146 = 0.05 \text{ моль}.$$

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

$$CH_2{=}CH{-}C_6H_{10}{-}CH{=}CH_2 + 4KMnO_4 + 6H_2SO_4 \rightarrow$$
$$\rightarrow 2CO_2 + HOOC{-}C_6H_{10}{-}COOH + 2K_2SO_4 + 4MnSO_4 + 8H_2O$$

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. Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют
$M(CuSO_4) = 160$ г/моль, $M(CuSO_4{\cdot}3H_2O) = 214$ г/моль, $M(CuSO_4{\cdot}5H_2O) = 250$ г/моль.

Пусть навеска содержала x моль безводной соли и y моль $CuSO_4{\cdot}3H_2O$. Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$2.229 \cdot 160x = 214y,$$
$$x = 0.6y.$$

В горячем растворе (при 80 °C):

$$\omega(CuSO_4) = 0.3569 = 160(x + y) / 358.5,$$
$$x + y = 0.8,$$

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 °C выпадет z моль $CuSO_4{\cdot}5H_2O$, раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(CuSO_4) = 0.1535 = 160(0.8 - z) / (358.5 - 250z),$$
$$z = 0.6 \text{ моль},$$
$$m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 250 \cdot 0.6 = 150 \text{ г}.$$

Ответ: 155 г; 150 г.

3.2. Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют
$M(CuSO_4) = 160$ г/моль, $M(CuSO_4{\cdot}3H_2O) = 214$ г/моль, $M(CuSO_4{\cdot}5H_2O) = 250$ г/моль.

Пусть навеска содержала x моль безводной соли и y моль $CuSO_4{\cdot}3H_2O$. Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$2.140 \cdot 160x = 214y,$$
$$y = 1.6x.$$

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 °C):

$$\omega(CuSO_4) = 0.3569 = 160(x + y) / m(\text{р-ра}) = 160 \cdot 0.65 / m(\text{р-ра}),$$
$$m(\text{р-ра}) = 291.4 \text{ г}.$$

При охлаждении до 9ºС выпадет z моль $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(CuSO_4) = 0.1442 = 160(0.65 - z) / (291.4 - 250z),$$

$$z = 0.5 \text{ моль},$$

$$m(CuSO_4 \cdot 5H_2O) = 250 \cdot 0.5 = 125 \text{ г}.$$

Ответ: 291.4 г; 125 г.

3.3. Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют $M(FeSO_4) = 152$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot H_2O) = 170$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot 4H_2O) = 224$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278$ г/моль.

Пусть навеска содержала x моль $FeSO_4 \cdot H_2O$ и y моль $FeSO_4 \cdot 4H_2O$. Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$170x = 1.90 \cdot 224y,$$

$$x = 2.5y.$$

В горячем растворе (при 50 ºС):

$$\omega(FeSO_4) = 0.3261 = 152(x + y) / 326.3,$$

$$x + y = 0.7,$$

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 ºС выпадет z моль $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(FeSO_4) = 0.1623 = 152(0.7 - z) / (326.3 - 278z),$$

отсюда $z = 0.5$ моль. Масса осадка:

$$m(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278 \cdot 0.5 = 139 \text{ г}.$$

Ответ: 129.8 г; 139 г.

3.4. Молярные массы безводного сульфата и кристаллогидратов составляют $M(FeSO_4) = 152$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot H_2O) = 170$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot 4H_2O) = 224$ г/моль, $M(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278$ г/моль.

Пусть навеска содержала x моль $FeSO_4 \cdot H_2O$ и y моль $FeSO_4 \cdot 4H_2O$. Тогда, согласно условиям задачи, можно записать:

$$1.647 \cdot 170x = 224y,$$

$$y = 1.25x.$$

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 ºС):

$$\omega(FeSO_4) = 0.3459 = 152(x + y) / m(\text{р-ра}) = 152 \cdot 0.9 / m(\text{р-ра}),$$

$$m(\text{р-ра}) = 395.5 \text{ г}.$$

При охлаждении до 10ºС выпадет z моль $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, раствор над осадком – насыщенный:

$$\omega(FeSO_4) = 0.1769 = 152(0.9 - z) / (395.5 - 278z),$$

отсюда $z = 0.65$ моль. Масса осадка:

$$m(FeSO_4 \cdot 7H_2O) = 278 \cdot 0.65 = 180.7 \text{ г}.$$

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. Найдем энергию, которую мозг человека потребляет в сутки:

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

А также энергию, необходимую организму в течение суток:

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

Запишем реакцию сгорания метана:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O,$$

и на основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания метана:

$Q_c = Q_{обр}(CO_2) + 2 \cdot Q_{обр}(H_2O) - Q_{обр}(CH_4) = 393.5 + 2 \cdot 285.8 - 74.9 = 890.2$ кДж/моль.

Количество вещества метана:

$$\nu_{CH4} = \frac{E}{Q_c} = \frac{8640}{890.2} = 9.7 \text{ моль},$$

его объем составляет

$$V = \frac{\nu_{CH4} RT}{p} = \frac{9.7 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 237 \text{ л}.$$

Ответ: 237 л.

4.2. Реакция сгорания этана:

$$C_2H_6 + 3.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O.$$

На основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания этана:

$Q_c = 2 \cdot Q_{обр}(CO_2) + 3 \cdot Q_{обр}(H_2O) - Q_{обр}(CH_4) = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 84.7 = 1560$ кДж/моль.

Количество вещества этана:

$$\nu_{C2H6} = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 144}{8.314 \cdot 298} = 5.9 \text{ моль}.$$

Энергия, необходимая организму в течение суток:

$$E = \nu_{C2H6} \cdot Q_c = 5.9 \cdot 1560 = 9204 \text{ кДж}.$$

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки:

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

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

Ответ: 19%.

4.3. Запишем реакцию сгорания метана:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O,$$

и на основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания метана:

$Q_c = Q_{обр}(CO_2) + 2 \cdot Q_{обр}(H_2O) - Q_{обр}(CH_4) = 393.5 + 2 \cdot 285.8 - 74.9 = 890.2$ кДж/моль.

Количество вещества метана:

$$\nu_{CH4} = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 190}{8.314 \cdot 298} = 7.8 \text{ моль},$$

Энергия, необходимая организму в течение суток:

$$E = \nu_{CH4} \cdot Q_c = 7.8 \cdot 890.2 = 6944 \text{ кДж}.$$

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки

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

Мощность $W = \frac{E_{мозг}}{24 \cdot 3600} = \frac{138900}{24 \cdot 3600} = 16$ Вт.

Ответ: 16 Вт.

4.4. Реакция сгорания этана:

$$C_2H_6 + 3.5O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O.$$

На основе закона Гесса рассчитаем мольную теплоту сгорания этана:

$Q_c = 2 \cdot Q_{обр}(CO_2) + 3 \cdot Q_{обр}(H_2O) - Q_{обр}(CH_4) = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 84.7 = 1560$ кДж/моль.

Энергия, необходимая организму в течение суток:

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

Энергия, которую человеческий мозг потребляет в сутки:

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

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

Количество вещества этана:

$$\nu_{C2H6} = \frac{E_{мозг}}{Q_c} = \frac{1464400}{1560000} = 0.94 \text{ моль,}$$

его объем:

$$V = \frac{n_{C2H6}RT}{p} = \frac{0.94 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 23 \text{ л.}$$

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. Уравнения возможных реакций:

1) $NH_4H_2PO_4 + NaOH(изб) \rightarrow Na_3PO_4 + NH_3\uparrow + H_2O$
2) $Na_3PO_4 + CO_2 + H_2O \rightarrow Na_2HPO_4 + NaHCO_3$
3) $Na_2HPO_4 + CaCl_2(р\text{-}р) \rightarrow CaHPO_4\downarrow + 2NaCl$
4) $4CaHPO_4 + 10C + 4SiO_2 \xrightarrow{t} 4CaSiO_3 + P_4 + 10CO\uparrow + 2H_2O$
5) $P_4 + 6NaNO_2 \xrightarrow{t} 4Na_3PO_4 + 6N_2\uparrow$
6) $4NH_3 + 3F_2 \rightarrow NF_3 + 3NH_4F$ (или HF) при охлаждении

Ответ: **X₁** – Na_3PO_4, **X₂** – Na_2HPO_4, **X₃** – $CaHPO_4$, **X₄** – P_4, **X₅** – N_2, **Y₁** – NH_3, **Y₂** – NF_3.

5.2. Уравнения возможных реакций:

1) $NH_4HCO_3 \quad NH_3 + CO_2 + H_2O$
2) $2NH_3 + NaClO \xrightarrow{t,p,\text{желатин}} N_2H_4 + NaCl + H_2O$
3) $N_2H_4 + HCl \rightarrow N_2H_5Cl$
4) $N_2H_5Cl + 4[Cu(NH_3)_2]OH \rightarrow N_2 + 4Cu + 7NH_3 + NH_4Cl + 4H_2O$
5) $CO_2 + 2NH_3 \xrightarrow{p} (NH_2)_2CO + H_2O$
6) $(NH_2)_2CO + Ba(OH)_2 \xrightarrow{t} BaCO_3 + 2NH_3$

Ответ: **X₁** – NH_3, **X₂** – N_2H_4, **X₃** – N_2H_5Cl, **X₄** – N_2, **Y₁** – CO_2, **Y₂** – $(NH_2)_2CO$, **Y₃** – $BaCO_3$.

5.3. Уравнения возможных реакций:

1) $CH_3NH_3HCO_3 \xrightarrow{t} CH_3NH_2 + CO_2 + H_2O$
2) $4NH_2CH_3 + 7O_2 \rightarrow 2N_2 + 2CO_2 + 10H_2O$
3) $CO_2 + C \xrightarrow{t} 2CO$
4) $CO + NaOH \xrightarrow{p,t} HCOONa$
5) $2HCOONa \xrightarrow{t} Na_2C_2O_4 + H_2$
6) $Na_2C_2O_4 + 2HCl \rightarrow H_2C_2O_4 + 2NaCl$

Ответ: **X₁** – CH_3NH_2, **X₂** – N_2, **Y₁** – CO_2, **Y₂** – CO, **Y₃** – HCOONa, **Y₄** – $Na_2C_2O_4$, **Y₅** – $H_2C_2O_4$.

5.4. Уравнения возможных реакций:

1) $NH_4NO_2 \xrightarrow{t} N_2 + 2H_2O$
2) $N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3$
3) $NH_3 + 3F_2 \rightarrow NF_3 + 3HF$ при охлаждении
4) $2H_2O + 2F_2 \rightarrow 4HF + O_2$
5) $4HF(г) + SiO_2 \rightarrow SiF_4\uparrow + 2H_2O$
6) $SiF_4 + 2HF(р\text{-}р) \rightarrow H_2SiF_6$

Ответ: **X₁** – N_2, **X₂** – NH_3, **X₃** – NF_3, **X₄** – HF, **Y₁** – H_2O, **Y₂** – SiF_4, **Y₃** – H_2SiF_6.

Система оценивания единая для всех вариантов:
по 3 балла за правильную реакцию, всего 3 · 6 = 18 баллов

Задача 6 (18 баллов)

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

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

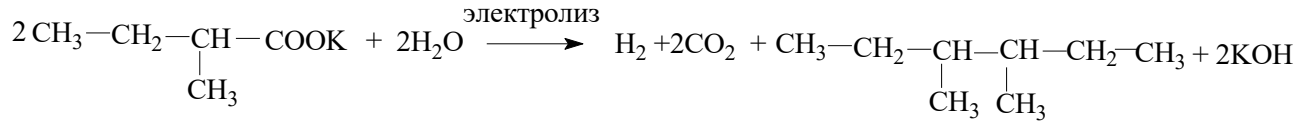
отсюда $n = 5$.

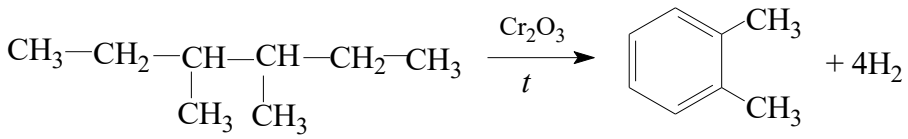
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это CO_2, его реакция с баритовой водой:

$$CO_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O,$$
$$\nu(CO_2) = 39.4 / 197 = 0.2 \text{ моль}.$$

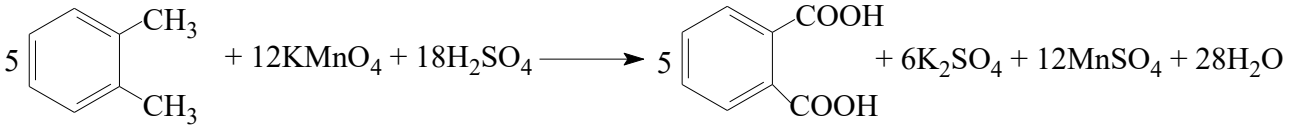
Значит, ν(**A**) = 0.2 моль.

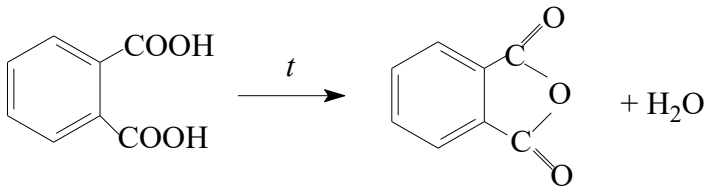
Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:





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

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

отсюда $n = 5$.

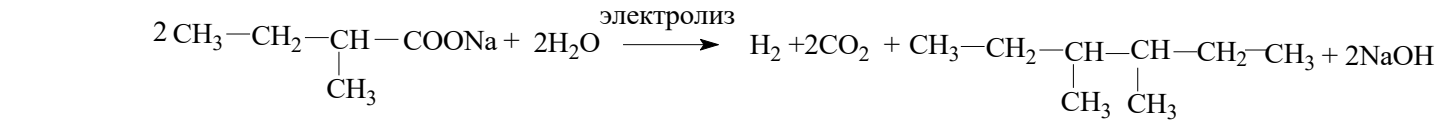
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это CO_2, его реакция с известковой водой:

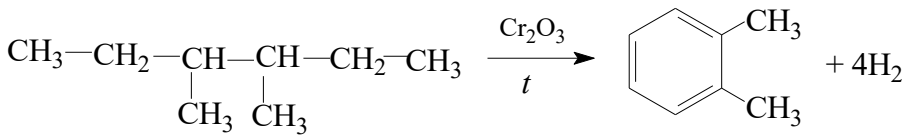
$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O,$$

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

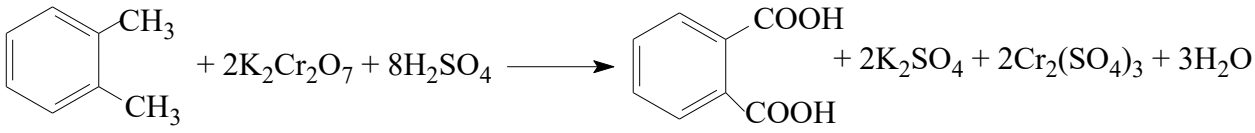
Значит, $\nu(\mathbf{A}) = 0.25$ моль.

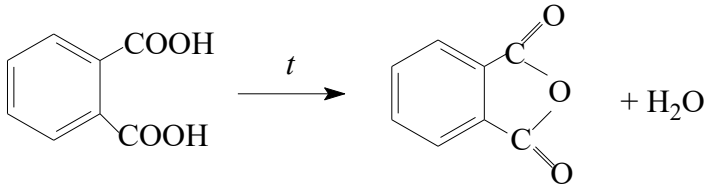
Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:





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

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

отсюда $n = 6$.

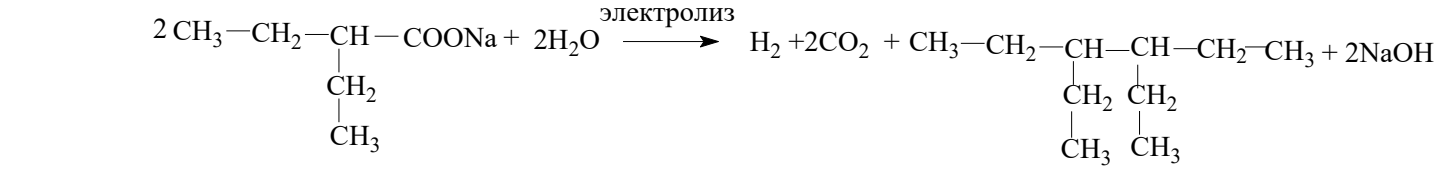
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это CO_2, его реакция с баритовой водой:

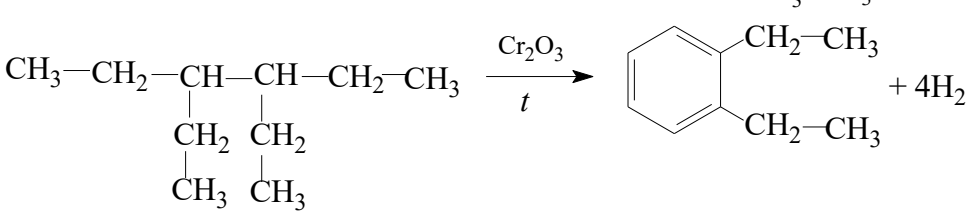
$$CO_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaCO_3\downarrow + H_2O,$$

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

Значит, $\nu(\mathbf{A}) = 0.1$ моль.

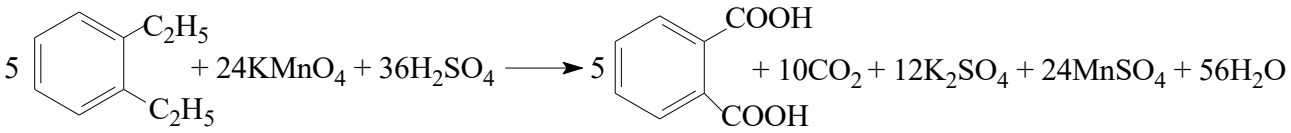
Поскольку дегидроциклизация **B** дает единственный продукт **C**, можно предположить следующие структуры **A**, **B** и **C**:

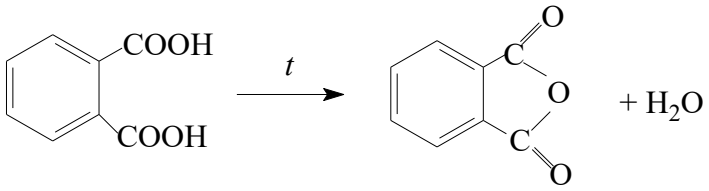




В работах участников был встречен вариант вещества **C** – нафталин, который не принимался в качестве верного.

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

$$m(C_8H_4O_3) = 148 \cdot 0.05 = 7.4 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – натриевая соль 2-этилбутановой кислоты, **B** – 3,4-диэтилгексан, **C** – 1,2-диэтилбензол, **D** – фталевая кислота, **E** – ангидрид фталевой кислоты; 7.4 г.

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

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

отсюда $n = 6$.

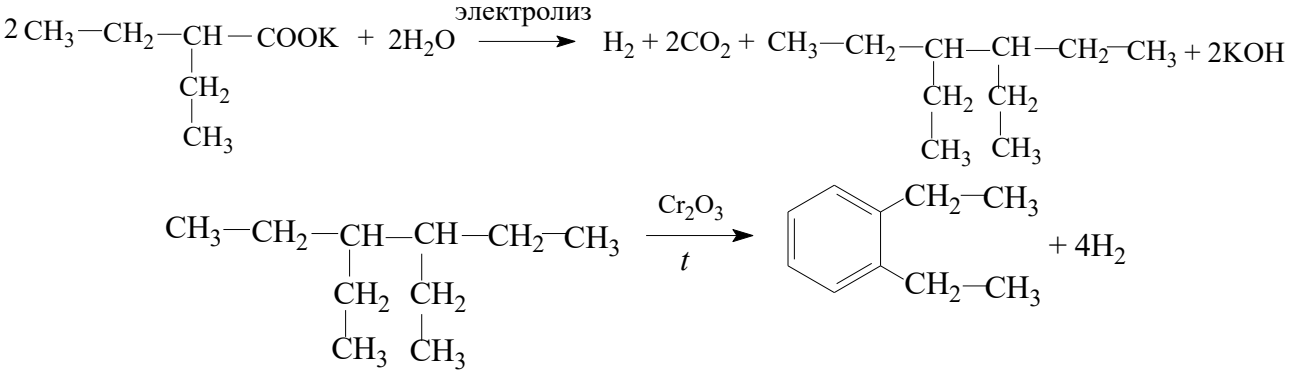
Газ, выделившийся на аноде при электролизе, это CO_2, его реакция с известковой водой:

$$CO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCO_3\downarrow + H_2O,$$

$$\nu(CO_2) = 35.0 / 100 = 0.35 \text{ моль.}$$

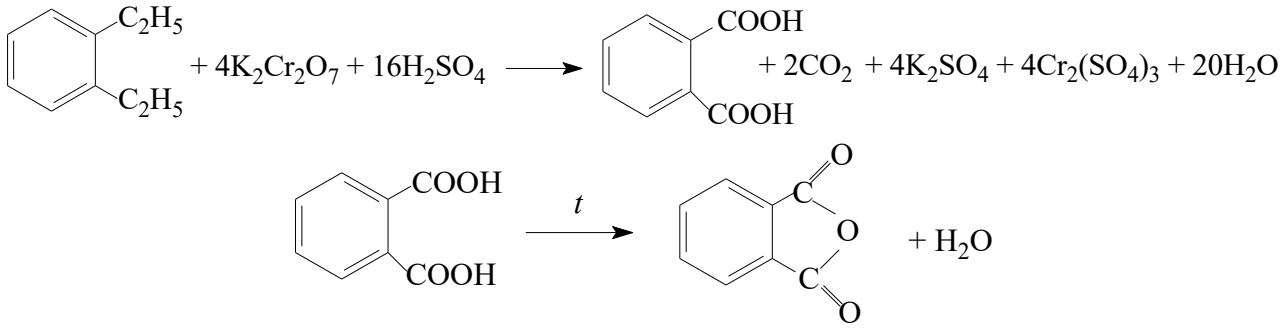
Значит, ν(**A**) = 0.35 моль.

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



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

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

$$m(C_8H_4O_3) = 148 \cdot 0.175 = 25.9 \text{ г.}$$

Ответ: **A** – калиевая соль 2-этилбутановой кислоты, **B** – 3,4-диэтилгексан, **C** – 1,2-диэтилбензол, **D** – фталевая кислота, **E** – ангидрид фталевой кислоты; 25.9 г.

Система оценивания: правильные структуры B, C, D, E – по 1 баллу, структура A – 2 балла, 5 реакций по 1 баллу, расчет количества вещества A – 4 балла, расчет массы E – 3 балла. Всего 4 · 1 + 2 + 5 · 1 + 4 + 3 = 18 баллов.

Задача 7 (20 баллов)

7.1. Газ $\mathbf{X_1}$, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа – вероятно, аммиак NH_3. Тогда возможно, что **X** содержит аммиак или ион аммония, а газ $\mathbf{X_2}$ – азот N_2. Белый творожистый осадок $\mathbf{X_3}$ – вероятно, хлорид серебра. Значит, **X** содержит хлорид-ионы. Найдем мольное соотношение азота и хлора и массы этих элементов в **X**:

$$\nu(N_2) = 13.44 / 22.4 = 0.6 \text{ моль},$$
$$\nu(N) = 1.2 \text{ моль},$$
$$m(N) = 16.8 \text{ г.}$$
$$\nu(AgCl) = 86.1 / 143.5 = 0.6 \text{ моль},$$
$$\nu(Cl) = 0.6 \text{ моль},$$
$$m(Cl) = 21.3 \text{ г.}$$

Тогда на другие элементы в **X** остаётся

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

что соответствует 23.2 · 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 $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$. Вещество $\mathbf{X_5}$ – оксид цинка ZnO.

Уравнения реакций:

$$[Zn(NH_3)_4]Cl_2 + 4NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + 4NH_3\uparrow + 2NaCl$$
$$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$$
$$[Zn(NH_3)_4]Cl_2 + 4HNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2NH_4Cl + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$$
$$NH_4Cl + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NH_4NO_3$$
$$[Zn(NH_3)_4]Cl_2 + 2H_2SO_4(\text{конц}) \xrightarrow{t} ZnSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2NH_4Cl$$

В этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ и $(NH_4)_2SO_4$ (или аналог соли Мора с цинком $(NH_4)_2Zn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) + NH_4Cl).

Прокаливание бесцветных кристаллов:

$$3(NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{t} 4NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$$
$$NH_4Cl \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HCl\uparrow$$

$2ZnSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

или

$[Zn(NH_3)_4]Cl_2 + 5H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} ZnSO_4 + 4NH_4HSO_4 + 2HCl\uparrow$

(в этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ и NH_4HSO_4)

Прокаливание:

$3NH_4HSO_4 \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$2ZnSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

Ответ: **X** – $[Zn(NH_3)_4]Cl_2$, $\mathbf{X_1}$ – NH_3, $\mathbf{X_2}$ – N_2, $\mathbf{X_3}$ – AgCl, $\mathbf{X_4}$ – $ZnSO_4$, $\mathbf{X_5}$ – ZnO.

7.2. Газ $\mathbf{X_1}$, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа – вероятно, аммиак NH_3. Тогда возможно **X** содержит аммиак или ион аммония, а газ $\mathbf{X_2}$ – азот N_2. Бледно-желтый творожистый осадок $\mathbf{X_3}$ – вероятно, бромид серебра. Значит, **X** содержит бромид-ионы. Найдем мольное соотношение азота и брома и массы этих элементов в **X**:

$$\nu(N_2) = 8.96 / 22.4 = 0.4 \text{ моль},$$
$$\nu(N) = 0.8 \text{ моль},$$
$$m(N) = 11.2 \text{ г}.$$
$$\nu(AgBr) = 75.2 / 188 = 0.4 \text{ моль},$$
$$\nu(Br) = 0.4 \text{ моль},$$
$$m(Br) = 32.0 \text{ г}.$$

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 $[Zn(NH_3)_4]Br_2$. Вещество $\mathbf{X_5}$ – оксид цинка ZnO.

Уравнения реакций:

$[Zn(NH_3)_4]Br_2 + 4NaOH \rightarrow Na_2[Zn(OH)_4] + 4NH_3\uparrow + 2NaBr$

$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$

$[Zn(NH_3)_4]Br_2 + 4HNO_3 \rightarrow Zn(NO_3)_2 + 2NH_4Br + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$

$NH_4Br + AgNO_3 \rightarrow AgBr\downarrow + NH_4NO_3$

$[Zn(NH_3)_4]Br_2 + 2H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} ZnSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2NH_4Br$

В этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ и $(NH_4)_2SO_4$ (или аналог соли Мора с цинком $(NH_4)_2Zn(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$) + NH_4Br).

Прокаливание бесцветных кристаллов:

$3(NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{t} 4NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$NH_4Br \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HBr\uparrow$

$2ZnSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

или

$[Zn(NH_3)_4]Br_2 + 5H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} ZnSO_4 + 4NH_4HSO_4 + 2HBr\uparrow,$

а также в избытке H_2SO_4(конц) возможна реакция

$$2HBr + H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} Br_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

(в этом случае бесцветные кристаллы после упаривания – смесь $ZnSO_4 \cdot nH_2O$ и NH_4HSO_4)

Прокаливание:

$3NH_4HSO_4 \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$2ZnSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2ZnO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

Ответ: **X** – $[Zn(NH_3)_4]Br_2$, $\mathbf{X_1}$ – NH_3, $\mathbf{X_2}$ – N_2, $\mathbf{X_3}$ – AgBr, $\mathbf{X_4}$ – $ZnSO_4$, $\mathbf{X_5}$ – ZnO.

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

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

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 $\mathbf{X_5}$ – оксид меди CuO.

Уравнения реакций:

$[Cu(NH_3)_4]Cl_2 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2\downarrow + 4NH_3\uparrow + 2NaCl$

$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$

$[Cu(NH_3)_4]Cl_2 + 4HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NH_4Cl + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$

$NH_4Cl + AgNO_3 \rightarrow AgCl\downarrow + NH_4NO_3$

$[Cu(NH_3)_4]Cl_2 + 2H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} CuSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2NH_4Cl$

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:

$3(NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{t} 4NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$NH_4Cl \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HCl\uparrow$

$2CuSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

или

$[Cu(NH_3)_4]Cl_2 + 5H_2SO_4(конц) \xrightarrow{t} CuSO_4 + 4NH_4HSO_4 + 2HCl\uparrow$

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

Прокаливание:

$3NH_4HSO_4 \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$2CuSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

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

7.4. Газ $\mathbf{X_1}$, образующийся при действии щелочи и сгорающий с образованием другого газа, вероятно, аммиак. Тогда возможно **X** содержит аммиак или ион аммония, а газ $\mathbf{X_2}$ – азот N_2. Бледно-желтый творожистый осадок $\mathbf{X_3}$ – вероятно, бромид серебра. Значит, вещество **X** содержит бромид-ионы. Найдем мольное соотношение азота и брома и массы этих элементов в **X**:

$$\nu(N_2) = 5.38 / 22.4 = 0.24 \text{ моль},$$
$$\nu(N) = 0.48 \text{ моль},$$
$$m(N) = 6.72 \text{ г}.$$

$$\nu(AgBr) = 45.1 / 188 = 0.24 \text{ моль},$$
$$\nu(Br) = 0.24 \text{ моль},$$
$$m(Br) = 19.2 \text{ г}.$$

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 $[Cu(NH_3)_4]Br_2$. Черное вещество $\mathbf{X_5}$ – оксид меди CuO.

Уравнения реакций:

$[Cu(NH_3)_4]Br_2 + 2NaOH \rightarrow Cu(OH)_2 + 4NH_3 + 2NaBr$

$4NH_3 + 3O_2 \rightarrow 2N_2 + 6H_2O$

$[Cu(NH_3)_4]Br_2 + 4HNO_3 \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 2NH_4Br + 2NH_4NO_3 + 2H_2O$

$NH_4Br + AgNO_3 \rightarrow AgBr\downarrow + NH_4NO_3$

$[Cu(NH_3)_4]Br_2 + 2H_2SO_4(\text{конц}) \xrightarrow{t} CuSO_4 + (NH_4)_2SO_4 + 2NH_4Br$

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_4Br).

Прокаливание кристаллов:

$3(NH_4)_2SO_4 \xrightarrow{t} 4NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$NH_4Br \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + HBr\uparrow$

$2CuSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

или

$[Cu(NH_3)_4]Br_2 + 5H_2SO_4(\text{конц}) \xrightarrow{t} CuSO_4 + 4NH_4HSO_4 + 2HBr\uparrow,$

а также в избытке H_2SO_4(конц) возможна реакция

$$2HBr + H_2SO_4(\text{конц}) \xrightarrow{t} Br_2\uparrow + SO_2\uparrow + 2H_2O$$

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

Прокаливание:

$3NH_4HSO_4 \xrightarrow{t} NH_3\uparrow + 3SO_2\uparrow + N_2\uparrow + 6H_2O\uparrow$

$2CuSO_4 \cdot nH_2O \xrightarrow{t} 2CuO + 2SO_2\uparrow + O_2\uparrow + 2nH_2O\uparrow$

Ответ: **X** – $[Cu(NH_3)_4]Br_2$, $\mathbf{X_1}$ – NH_3, $\mathbf{X_2}$ – N_2, $\mathbf{X_3}$ – $CuSO_4$, $\mathbf{X_4}$ – CuO, $\mathbf{X_5}$ – AgBr.

Расчет и выяснение состава X – 4 балла, вещества X_1 – X_5 – по 2 балла, 6 реакций по 1 баллу. Всего $4 + 2 \cdot 5 + 1 \cdot 6 = 20$ баллов

Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год
Отборочный тур
Задания для 5-9 классов

Задача 1 (8 баллов)

1.1. К раствору, содержащему 1 моль серной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей $NaHSO_4$ в растворе от количества молей добавленного NaOH. Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

1.2. К раствору, содержащему 1 моль фосфорной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей NaH_2PO_4 в растворе от количества молей добавленного NaOH. Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

1.3. К раствору, содержащему 1 моль фосфорной кислоты, небольшими порциями добавляли раствор гидроксида натрия. Постройте график, описывающий зависимость количества молей Na_2HPO_4 в растворе от количества молей добавленного NaOH. Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

1.4. Через раствор, содержащий 0.1 моль гидроксида бария, долгое время пропускали сернистый газ. Постройте график, описывающий зависимость количества молей осадка $BaSO_3$ от количества молей SO_2, пропущенного через раствор. Не забудьте подписать обе оси и указать на них необходимые численные значения. Подтвердите график уравнениями реакций.

Задача 2 (12 баллов)

2.1. Даны четыре формулы, используемые в физической химии:

1) $PV = \nu RT$
2) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
3) $K = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} C$
4) $S = k \ln W$

Для каждой формулы:
а) объясните, какие величины она связывает между собой;
б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.2. Даны четыре формулы, используемые в физической химии:

1) $E = E° + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{\text{Ox}}}{C_{\text{R}}}$
2) $S = k \ln W$
3) $m = \frac{ItM}{nF}$
4) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$

Для каждой формулы:
а) объясните, какие величины она связывает между собой;
б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.3. Даны 4 формулы, используемые в физической химии:

1) $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$
2) $E = h\nu$
3) $S = k \ln W$
4) $\pi = CRT$

Для каждой формулы:
а) объясните, какие величины она связывает между собой;
б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

2.4. Даны 4 формулы, используемые в физической химии:

1) $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \text{const}$
2) $\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$
3) $\Delta S \geq \frac{Q}{T}$
4) $PV = \text{const}$

Для каждой формулы:
а) объясните, какие величины она связывает между собой;
б) укажите фамилию ОДНОГО учёного, который её открыл, или внёс наибольший вклад в её открытие;
в) приведите годы жизни и гражданство учёного.

Задача 3 (16 баллов)

3.1. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO_2, 3% N_2 и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 25 °C составило 780 Па. Сосуд охладили до –130 °C. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –130 °C равно 122 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.2. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO_2, 3% N_2 и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 20 °C составило 700 Па. Сосуд охладили до –140 °C. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –140 °C равно 25 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.3. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO_2, 3% N_2 и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 15 °C составило 600 Па. Сосуд охладили до –130 °C. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –130 °C равно 122 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

3.4. Атмосфера на Марсе содержит 95% CO_2, 3% N_2 и 2% Ar (по молям). Марсианский воздух собрали в сосуд, давление в нём при температуре 25 °C составило 800 Па. Сосуд охладили до –140 °C. Найдите общее давление в сосуде и состав марсианского воздуха в мольных процентах при этой температуре. Учтите, что равновесное давление углекислого газа над «сухим льдом» при –140 °C равно 25 Па. Газы считайте идеальными при обеих температурах.

Задача 4 (16 баллов)

4.1. Имеется V л (н. у.) смеси водорода и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси водород и кислород прореагировали полностью, без остатка. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

$$2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O + X \text{ кДж/моль.}$$

а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси водорода с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и X.

в) X может принимать значения в диапазоне от 570 до 580. Подберите одно значение V и одно значение X, при которых ответ в п. б) равен 200 кДж.

4.2. Имеется V л (н. у.) смеси водорода и сухого воздуха (25 мол. % кислорода и 75% азота). При поджигании смеси водород и кислород прореагировали полностью, без остатка. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

$$H_2 + 1/2O_2 \rightarrow H_2O + Y \text{ кДж/моль.}$$

а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси водорода с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и Y.

в) Y может принимать значения в диапазоне от 282 до 290. Подберите одно значение V и одно значение Y, при которых ответ в п. б) равен 250 кДж.

4.3. Имеется V л (н. у.) смеси метана и сухого воздуха (20 мол. % кислорода и 80% азота). При поджигании смеси метан и кислород прореагировали полностью, без остатка с образованием углекислого газа. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + X \text{ кДж/моль.}$$

а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси метана с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и X.

в) X может принимать значения в диапазоне от 800 до 805. Подберите одно значение V и одно значение X, при которых ответ в п. б) равен 200 кДж.

4.4. Имеется V л (н. у.) смеси метана и сухого воздуха (25 мол. % кислорода и 75% азота). При поджигании смеси метан и кислород прореагировали полностью, без остатка с образованием углекислого газа. Термохимическое уравнение реакции имеет вид:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + Y \text{ кДж/моль.}$$

а) Чему равна плотность по водороду исходной смеси метана с воздухом?

б) Сколько выделилось теплоты в результате реакции? Ответ запишите в виде выражения, содержащего V и Y.

в) Y может принимать значения в диапазоне от 885 до 892. Подберите одно значение V и одно значение Y, при которых ответ в п. б) равен 250 кДж.

Задача 5 (14 баллов)

5.1. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:

$$\mathbf{X_1} \text{ (кислота)} \rightarrow \mathbf{X_2} \text{ (кислотный оксид)} \xrightarrow{\text{оксид неметалла}} \mathbf{X_3} \text{ (амфотерный оксид)} \rightarrow \mathbf{X_4} \text{ (соль, 7.72\% металла по массе)}$$

Все вещества **X** содержат ванадий. Определите формулы веществ $\mathbf{X_1}$ – $\mathbf{X_4}$ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

5.2. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:

$\mathbf{X_1}$ (соль) $\rightarrow$ $\mathbf{X_2}$ (кислотный оксид) $\xrightarrow{\text{оксид неметалла}}$ $\mathbf{X_3}$ (амфотерный оксид) $\rightarrow$ $\mathbf{X_4}$ (смешанный оксид, 7.63% металла по массе)

Все вещества **X** содержат хром. Определите формулы веществ $\mathbf{X_1}$ – $\mathbf{X_4}$ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

5.3. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:

$\mathbf{X_1}$ (соль) $\rightarrow$ $\mathbf{X_2}$ (кислотный оксид) $\rightarrow$ $\mathbf{X_3}$ (амфотерный оксид) $\rightarrow$ $\mathbf{X_4}$ (смешанный оксид, 7.39% металла по массе)

Все вещества **X** содержат марганец. Определите формулы веществ $\mathbf{X_1}$ – $\mathbf{X_4}$ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

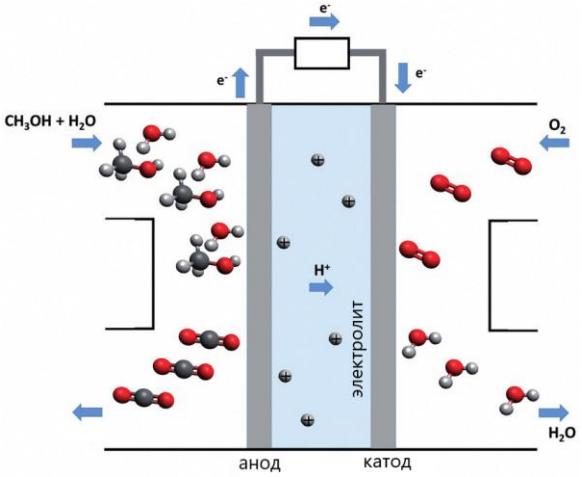
5.4. Дана схема, демонстрирующая генетическую связь неорганических соединений различных классов:

$\mathbf{X_1}$ (смешанный оксид) $\xrightarrow{[O]}$ $\mathbf{X_2}$ (соль) $\rightarrow$ $\mathbf{X_3}$ (амфотерный гидроксид) $\rightarrow$ $\mathbf{X_4}$ (смешанный оксид, 7.32% металла по массе)

Все вещества **X** содержат железо. Определите формулы веществ $\mathbf{X_1}$ – $\mathbf{X_4}$ (последнюю подтвердите расчётом) и напишите уравнения всех реакций.

Задача 6 (20 баллов)

6.1. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 3 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.98 г/мл).

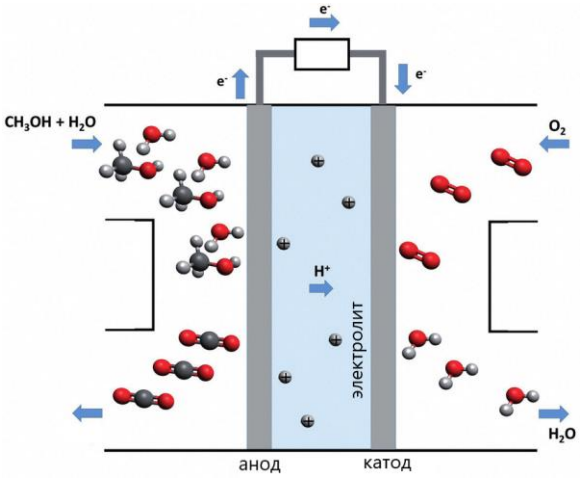
1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?

2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.

3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?

4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 10 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

6.2. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 3 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.98 г/мл).

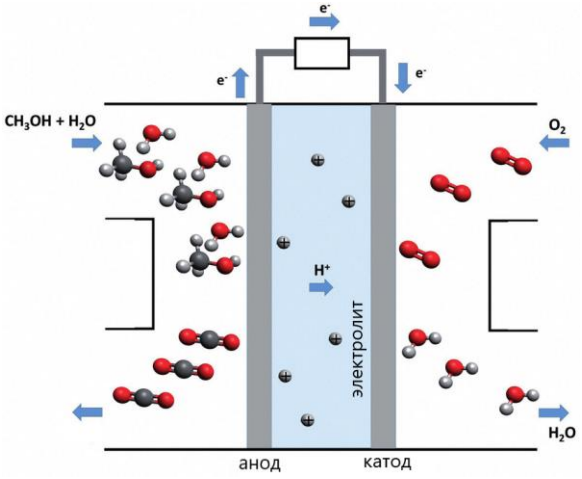
1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?

2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.

3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?

4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 15 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

6.3. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 2.5 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.985 г/мл).

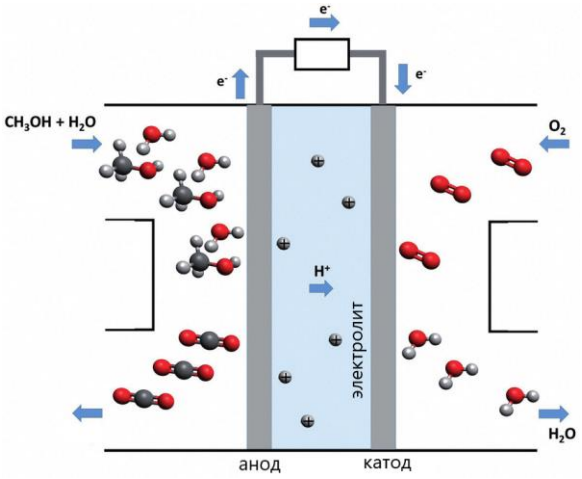
1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?

2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.

3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?

4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 10 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

6.4. Один из перспективных источников энергии – метанольный топливный элемент. Это электрохимическое устройство, в котором метанол CH_3OH окисляется кислородом воздуха. Элемент состоит из анода, катода и электролита, роль которого выполняет полимер, проводящий ионы водорода.



Топливом служит 2.5 М водный раствор метанола (плотность раствора 0.985 г/мл).

1) Чему равна массовая доля метанола в топливе?

2) Запишите уравнения полуреакций на аноде (окисление) и катоде (восстановление) в электронно-ионной форме. Составьте суммарное уравнение реакции.

3) Объясните, почему нельзя использовать чистый метанол?

4) С какой скоростью (мл/ч) надо подавать раствор в батарею, чтобы достичь силы тока 20 А? Примите, что окисление идёт со 100%-й эффективностью.

Задача 7 (14 баллов)

7.1. Легкий газ **X** реагирует с фтором, превращаясь в газ **Y**, который тяжелее **X** в 4.2 раза. При взаимодействии с медью **Y** превращается в еще более тяжелый газ **Z**. При разложении **Z** под действием света образуется газ **Q**, который представляет собой смесь *цис-* и *транс-* изомеров. Газы **Y**, **Z** и **Q** состоят из одних и тех же элементов, причем в **Q** мольные доли элементов равны. Установите формулы всех газов (подтвердите расчетом) и напишите уравнения реакций.

7.2. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком фтора превращается в эквимолярную смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** легче), которая тяжелее метана в 6 раз. Определите формулы веществ **X** – **Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Предложите способ выделения газа **Y** из смеси. Предположите, какой из газов при охлаждении первым превратится в жидкость, и почему.

7.3. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком горячего фтора превращается в смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** – простое вещество), в мольном соотношении **Y** : **Z** = 1 : 2. Эта смесь тяжелее кислорода на 70%. Определите формулы веществ **X** – **Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Установите геометрию **Z** и полярность молекул **Y** и **Z**.

7.4. Твёрдое вещество **X** атомного строения при взаимодействии с избытком горячего фтора превращается в эквимолярную смесь двух газов, **Y** и **Z** (**Y** легче), которая тяжелее кислорода в 3 с небольшим раза. Определите формулы веществ **X** – **Z** (подтвердите расчетом), напишите уравнение реакции. Установите геометрию и полярность молекул **Y** и **Z**.

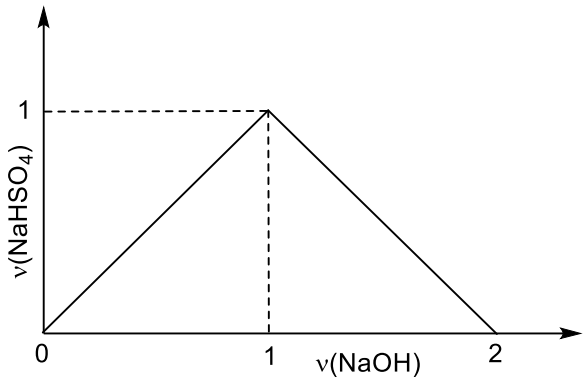
Решение заданий для 5-9 классов

Задача 1 (8 баллов)

1.1. $NaOH + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + H_2O$,

$NaOH + NaHSO_4 \rightarrow Na_2SO_4 + H_2O$.

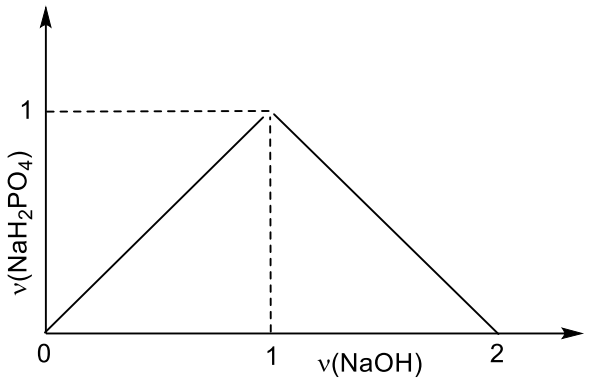
При добавлении NaOH сначала количество вещества $NaHSO_4$ линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



1.2. $NaOH + H_3PO_4 \rightarrow NaH_2PO_4 + H_2O$,

$NaOH + NaH_2PO_4 \rightarrow Na_2HPO_4 + H_2O$.

При добавлении NaOH сначала количество вещества NaH_2PO_4 линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.

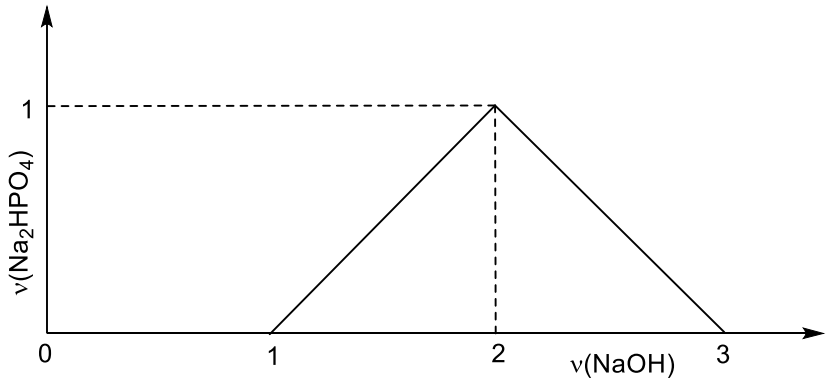


1.3. $NaOH + H_3PO_4 \rightarrow NaH_2PO_4 + H_2O$,

$NaOH + NaH_2PO_4 \rightarrow Na_2HPO_4 + H_2O$,

$NaOH + Na_2HPO_4 \rightarrow Na_3PO_4 + H_2O$.

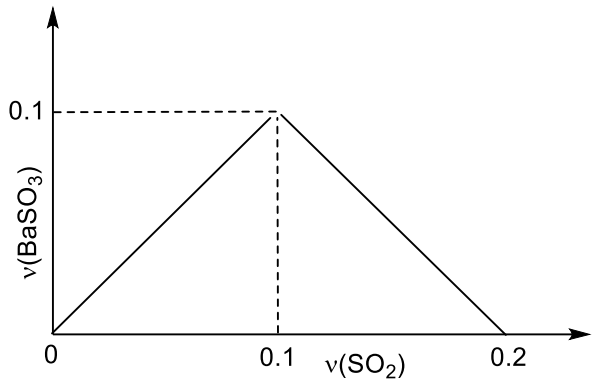
При добавлении NaOH, начиная с 1 моль, количество вещества Na_2HPO_4 линейно растёт, достигает максимума 1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



1.4. $SO_2 + Ba(OH)_2 \rightarrow BaSO_3\downarrow + H_2O$,

$SO_2 + BaSO_3 + H_2O \rightarrow Ba(HSO_3)_2$.

При пропускании SO_2 сначала количество вещества $BaSO_3$ линейно растёт, достигает максимума 0.1 моль, а затем линейно уменьшается до нуля.



Система оценивания – одинаковая во всех вариантах.
Правильный график – 5 баллов
Подписанные оси – 2·0.5 = 1 балл (даже если график неправильный)
Численные значения на осях – 2 балла.

Задача 2 (12 баллов)

2.1. 1) $PV = \nu RT$
а) Уравнение Клапейрона-Менделеева, связывает температуру (T), давление (P) и объем (V) идеального газа. ν – количество молей газа, R – универсальная газовая постоянная.
б, в) Поскольку сложно оценить, чей вклад больше, то принимаем оба ответа:
Б. Клапейрон (1799–1864), французский физик.
Д.И. Менделеев (1834–1907), русский ученый.

2) $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$
а) Это уравнение Гиббса-Гельмгольца, описывает изменение энергии Гиббса в изотермическом процессе.
ΔG – изменение энергии Гиббса
ΔH – изменение энтальпии
T– температура
ΔS – изменение энтропии

б, в) Дж. Гиббс (1839–1903) – американский физико-химик.

3) $K = \frac{\alpha^2}{1-\alpha} C$
а) Закон разведения Оствальда, связывает константу диссоциации (K) и степень диссоциации (α) слабого электролита, C – концентрация.
б, в) В. Оствальд (1853–1932) – русский и немецкий физико-химик.

4) $S = k \ln W$
а) Формула Больцмана, связывает энтропию (S) и термодинамическую вероятность (W), k – константа Больцмана.
б, в) Л. Больцман (1844–1906) – австрийский физик-теоретик.

2.2. 1) $E = E° + \frac{RT}{nF} \ln \frac{C_{\text{Ox}}}{C_{\text{R}}}$
а) Уравнение Нернста, описывает зависимость окислительно-восстановительного потенциала электрода от концентраций окисленной и восстановленной форм.

E – электродный потенциал, E^o – стандартный электродный потенциал, R – универсальная газовая постоянная, T – температура, n – число электронов, участвующих в процессе, F – постоянная Фарадея, C_{Ox} – концентрация окисленной формы, C_R – концентрация восстановленной формы.
б, в) В. Нернст (1864–1941) – немецкий физик и химик.

2) $S = k \ln W$
а) Формула Больцмана, связывает энтропию (S) и термодинамическую вероятность (W), k – константа Больцмана.
б, в) Л. Больцман (1844–1906) – австрийский физик-теоретик.

3) $m = \frac{ItM}{nF}$
а) Закон Фарадея описывает зависимость массы вещества (m), образовавшегося при электролизе, от силы тока (I) и времени (t), n – валентное число иона, M – молярная масса.
б, в) М. Фарадей (1791–1867) – английский физик и химик.

4) $\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$
а) Закон Авогадро, связывающий объёмы газов и число частиц в них.
б, в) А. Авогадро (1776–1856) – итальянский химик.

2.3. 1) $k = Ae^{-\frac{E_a}{RT}}$
а) Уравнение Аррениуса для зависимости константы скорости от температуры.
б, в) С. Аррениус (1859-1927) – шведский физико-химик.

2) $E = h\nu$
а) Формула Планка – связь между энергией и частотой кванта света.
б, в) М. Планк (1858-1947) – немецкий физик-теоретик.

3) $S = k \ln W$
а) Формула Больцмана, связывает энтропию и термодинамическую вероятность.
б, в) Л. Больцман (1844-1906) – немецкий физик-теоретик.

4) $\pi = CRT$
а) Формула Вант-Гоффа описывает зависимость осмотического давления раствора от концентрации растворённого вещества-неэлектролита.
б, в) Я. Вант-Гофф (1852-1911) – голландский химик.

2.4. 1) $\ln K = -\frac{\Delta H^\circ}{RT} + \text{const}$
а) Зависимость константы равновесия от температуры, является следствием уравнения изобары Вант-Гоффа.
б, в) Я. Вант-Гофф (1852-1911) – голландский химик.

2) $\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{T_2 - T_1}{10}}$
а) Формула Вант-Гоффа – зависимость скорости реакции от температуры.
б, в) Я. Вант-Гофф (1852-1911) – голландский химик.

3) $\Delta S \geq \frac{Q}{T}$
а) Неравенство Клаузиуса для энтропии выражает суть II закона термодинамики.

б, в) Р. Клаузиус (1822-1888) – немецкий физик.

4) $PV = \text{const}$

а) Закон Бойля-Мариотта, связывает давление и объём идеального газа при постоянной температуре. Открыт Бойлем.
б, в) Р. Бойль (1627-1691) – английский физик.

Система оценивания – общая во всех вариантах.
По 1 баллу за каждый правильный ответ о каждой формуле.
Ответ, набранный на компьютере, не оценивается – 0 баллов.

Задача 3 (16 баллов)

3.1. Начальные давления газов при 25 °C находим по закону Дальтона:

$$p(CO_2) = 0.95 \cdot 780 = 741 \text{ Па},$$
$$p(N_2) = 0.03 \cdot 780 = 23.4 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 0.02 \cdot 780 = 15.6 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(N_2) = 23.4 \cdot 143 / 298 = 11.2 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 15.6 \cdot 143 / 298 = 7.5 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(CO_2) = 122$ Па.
Общее давление: $p = 122 + 11.2 + 7.5 = 140.7$ Па.
Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(CO_2) = 122 / 140.7 = 0.867 = 86.7\%,$$
$$\chi(N_2) = 11.2 / 140.7 = 0.080 = 8.0\%,$$
$$\chi(Ar) = 7.5 / 140.7 = 0.053 = 5.3\%.$$

Ответ: 140.7 Па. Состав: 86.7% CO_2, 8.0% N_2, 5.3% Ar.

3.2. Начальные давления газов при 20 °C находим по закону Дальтона:

$$p(CO_2) = 0.95 \cdot 700 = 665 \text{ Па},$$
$$p(N_2) = 0.03 \cdot 700 = 21 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 0.02 \cdot 700 = 14 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(N_2) = 21 \cdot 133 / 293 = 9.5 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 14 \cdot 133 / 293 = 6.4 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(CO_2) = 25$ Па.
Общее давление: $p = 25 + 9.5 + 6.4 = 40.9$ Па. Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(CO_2) = 25 / 40.9 = 0.611 = 61.1\%,$$
$$\chi(N_2) = 9.5 / 40.9 = 0.232 = 23.2\%,$$
$$\chi(Ar) = 6.4 / 40.9 = 0.157 = 15.7\%.$$

Ответ: 40.9 Па. Состав: 61.1% CO_2, 23.2% N_2, 15.7% Ar.

3.3. Начальные давления газов при 15 °C находим по закону Дальтона:

$$p(CO_2) = 0.95 \cdot 600 = 570 \text{ Па},$$
$$p(N_2) = 0.03 \cdot 600 = 18 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 0.02 \cdot 600 = 12 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(N_2) = 18 \cdot 143 / 288 = 8.9 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 12 \cdot 143 / 298 = 6.0 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(CO_2) = 122$ Па.

Общее давление: $p = 122 + 8.9 + 6.0 = 136.9$ Па.

Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(CO_2) = 122 / 136.9 = 0.891 = 89.1\%,$$
$$\chi(N_2) = 8.9 / 136.9 = 0.065 = 6.5\%,$$
$$\chi(Ar) = 6.0 / 136.9 = 0.044 = 4.4\%.$$

Ответ: 140.7 Па. Состав: 89.1% CO_2, 6.5% N_2, 4.4% Ar.

3.4. Начальные давления газов при 25 °C находим по закону Дальтона:

$$p(CO_2) = 0.95 \cdot 800 = 760 \text{ Па},$$
$$p(N_2) = 0.03 \cdot 800 = 24 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 0.02 \cdot 800 = 16 \text{ Па}.$$

При охлаждении N_2 и Ar останутся газообразными, их давление уменьшится пропорционально температуре:

$$p(N_2) = 24 \cdot 133 / 298 = 10.7 \text{ Па},$$
$$p(Ar) = 16 \cdot 133 / 298 = 7.1 \text{ Па}.$$

Углекислый газ частично превратится в твёрдый «сухой лёд», а его давление будет равно давлению насыщенного пара: $p(CO_2) = 25$ Па.

Общее давление: $p = 25 + 10.7 + 7.1 = 42.8$ Па.

Мольные доли находим по закону Дальтона:

$$\chi(CO_2) = 25 / 42.8 = 0.584 = 58.4\%,$$
$$\chi(N_2) = 10.7 / 42.8 = 0.250 = 25.0\%,$$
$$\chi(Ar) = 7.1 / 42.8 = 0.166 = 16.6\%.$$

Ответ: 42.8 Па. Состав: 58.4% CO_2, 25.0% N_2, 16.6% Ar.

Система оценивания – общая во всех вариантах.
Начальные давления газов – 3·1 = 3 балла,
идея о том, что CO_2 конденсируется, и его давление равно давлению насыщенных паров – 4 балла;
конечные давления N_2 и Ar – 2·2 = 4 балла,
общее давление после охлаждения – 2 балла,
мольные доли в конечной смеси – 3·1 = 3 балла.

Задача 4 (16 баллов)

4.1. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 4 моль N_2, тогда в смеси с воздухом находится 2 моль H_2. Средняя молярная масса и относительная плотность смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 2 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 28}{2+1+4} = 21.1 \text{ г/моль},$$

$$D_{H_2} = \frac{21.1}{2} = 10.55$$

б) Мольная доля кислорода в смеси $\chi(O_2) = \frac{1}{7}$,

поэтому $\nu(O_2) = \frac{1}{7} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{156.8}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(O_2) \cdot X = \frac{VX}{156.8}$ кДж.

в) $\frac{VX}{156.8} = 200$, следовательно, $VX = 31360$.

Возможно решение: $V = 54$, $X = 580$.

Ответ. а) 10.55; б) $Q = \frac{VX}{156.8}$ кДж; в) $V = 54$, $X = 580$.

4.2. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 3 моль N_2, тогда в смеси с воздухом находится 2 моль H_2. Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{2 \cdot 2 + 1 \cdot 32 + 3 \cdot 28}{2+1+3} = 20 \text{ г/моль},$$

$$D_{H_2} = \frac{20}{2} = 10$$

б) Мольная доля водорода в смеси $\chi(H_2) = \frac{1}{3}$,

поэтому $\nu(H_2) = \frac{1}{3} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{67.2}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(H_2) \cdot Y = \frac{VY}{67.2}$ кДж.

в) $\frac{VY}{67.2} = 250$, следовательно, $VY = 16800$. Возможно решение: $V = 59$, $X = 285$.

Ответ. а) 10. б) $Q = \frac{VY}{67.2}$ кДж. в) : $V = 59$, $X = 285$.

4.3. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 4 моль N_2, тогда в смеси с воздухом находится 0.5 моль CH_4. Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{0.5 \cdot 16 + 1 \cdot 32 + 4 \cdot 28}{0.5+1+4} = 27.6 \text{ г/моль},$$

$$D_{H_2} = \frac{27.6}{2} = 13.8$$

б) Мольная доля метана в смеси $\chi(CH_4) = \frac{1}{11}$,

поэтому $\nu(CH_4) = \frac{1}{11} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{246.4}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(CH_4) \cdot X = \frac{VX}{246.4}$ кДж.

в) $\frac{VX}{246.4} = 200$, следовательно, $VX = 49280$. Возможно решение: $V = 61.5$, $X = 801$.

Ответ. а) 13.8. б) $Q = \frac{VX}{246.4}$ кДж. в) $V = 61.5$, $X = 801$.

4.4. а) Возьмем воздух, содержащий 1 моль O_2 и 3 моль N_2, тогда в смеси с воздухом находится 0.5 моль CH_4. Средняя молярная масса смеси:

$$M_{\text{см}} = \frac{0.5 \cdot 16 + 1 \cdot 32 + 3 \cdot 28}{0.5+1+3} = 27.6 \text{ г/моль},$$

$$D_{H_2} = \frac{27.6}{2} = 13.8$$

б) Мольная доля метана в смеси $\chi(CH_4) = \frac{1}{9}$,

поэтому $\nu(CH_4) = \frac{1}{9} \cdot \frac{V}{22.4} = \frac{V}{201.6}$ моль.

Теплота реакции: $Q = \nu(CH_4) \cdot Y = \frac{VY}{201.6}$ кДж.

в) $\frac{VY}{201.6} = 250$, следовательно, $VX = 50400$. Возможно решение: $V = 56.9$, $X = 886$.

Ответ. а) 13.8. б) $Q = \frac{VY}{201.6}$ кДж. в) $V = 56.9$, $X = 886$.

Система оценивания – общая во всех вариантах.
а) Средняя молярная масса – 6 баллов (из них 2 балла – средняя молярная масса воздуха, если посчитана).
б) Моли водорода (метана) – 2 балла.
Теплота реакции – 2 балла.
в) Общее соотношение между X (Y) и V – 3 балла.
Конкретные значения – 3 балла.
Любой ответ без расчета – 0 баллов.

Задача 5 (14 баллов)

5.1. Очевидно, что соль **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄** – $LiVO_2$ (7.72% лития по массе). **X₁** – HVO_3, **X₂** – V_2O_5, **X₃** – V_2O_3, **X₄** – $LiVO_2$.

Уравнения реакций:

1) $2HVO_3 \xrightarrow{t} V_2O_5 + H_2O$,

2) $V_2O_5 + 2CO \xrightarrow{t} V_2O_3 + 2CO_2$,

3) $V_2O_3 + Li_2O \xrightarrow{t} 2LiVO_2$.

5.2. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄** – $LiCrO_2$ (7.63% лития по массе). **X₁** – $K_2Cr_2O_7$, **X₂** – CrO_3, **X₃** – Cr_2O_3, **X₄** – $LiCrO_2$.

Уравнения реакций:

1) $K_2Cr_2O_7 + H_2SO_4 \rightarrow 2CrO_3 + K_2SO_4 + H_2O$,

2) $2CrO_3 + 3CO \xrightarrow{t} Cr_2O_3 + 3CO_2$,

3) $Cr_2O_3 + Li_2O \xrightarrow{t} 2LiCrO_2$.

5.3. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄** – $LiMnO_2$ (7.39% лития по массе). **X₁** – $KMnO_4$, **X₂** – Mn_2O_7, **X₃** – Mn_2O_3 или MnO_2, **X₄** – $LiMnO_2$.

Уравнения реакций:

1) $2KMnO_4 + 2H_2SO_4 \rightarrow Mn_2O_7 + 2KHSO_4 + H_2O$

2) $Mn_2O_7 \xrightarrow{t} Mn_2O_3 + 2O_2$

3) $Mn_2O_3 + Li_2O \xrightarrow{t} 2LiMnO_2$

5.4. Очевидно, что смешанный оксид **X₄** содержит лёгкий металл. Подходит литий. **X₄** – $LiFeO_2$ (7.32% лития по массе). **X₁** – Fe_3O_4, **X₂** – любая соль Fe(+3), возможно также K_2FeO_4, **X₃** – $Fe(OH)_3$ или FeO(OH), **X₄** – $LiFeO_2$.

Уравнения реакций:

1) $2Fe_3O_4 + 10H_2SO_4(конц) \rightarrow 3Fe_2(SO_4)_3 + SO_2 + 10H_2O$,

2) $Fe_2(SO_4)_3 + 6KOH \rightarrow 2Fe(OH)_3\downarrow + 3K_2SO_4$

(возможна запись уравнения с образованием FeO(OH)),

3) $2Fe(OH)_3 + Li_2CO_3 \xrightarrow{t} 2LiFeO_2 + CO_2 + 3H_2O$.

Система оценивания – общая во всех вариантах.

Вещества X_1 – X_3 по 1 баллу, вещество X_4 – 2 балла (без расчета – 1 балл)
Каждое верное уравнение – 3 балла (если не уравнено – 1.5 балла, неверные продукты или не все вещества – 0).

Задача 6 (20 баллов)

6.1. 1) 1 л раствора имеет массу 980 г и содержит 3 моль метанола массой

$$m(CH_3OH) = 3 \cdot 32 = 96 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(CH_3OH) = 96 / 980 = 0.098 = 9.8\%.$$

2) анод: $CH_3OH + H_2O - 6e \rightarrow CO_2 + 6H^+$
катод: $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$
Суммарное уравнение: $2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O$.
3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.
4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд 3600 с · 10 А = 36000 Кл.
Моли электронов: $\nu(e) = 10 \cdot 3600 / 96500 = 0.373$ моль.
Из уравнения полуреакции следует, что

$$\nu(CH_3OH) = \nu(e) / 6 = 0.062 \text{ моль.}$$

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.062 \text{ моль} / 3 \text{ М} = 0.021 \text{ л} = 21 \text{ мл.}$$

Скорость подачи раствора 21 мл/ч.
Ответ: 1) 9.8 %; 4) 21 мл/ч.

6.2. 1) 1 л раствора имеет массу 980 г и содержит 3 моль метанола массой

$$m(CH_3OH) = 3 \cdot 32 = 96 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(CH_3OH) = 96 / 980 = 0.098 = 9.8\%.$$

2) анод: $CH_3OH + H_2O - 6e \rightarrow CO_2 + 6H^+$
катод: $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$
Суммарное уравнение: $2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O$.
3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.
4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд 3600 с · 15 А = 54000 Кл.
Моли электронов: $\nu(e) = 15 \cdot 3600 / 96500 = 0.560$ моль.
Из уравнения полуреакции следует, что $\nu(CH_3OH) = \nu(e) / 6 = 0.093$ моль.
Объем раствора:
$V(\text{раствора}) = 0.093 \text{ моль} / 3 \text{ М} = 0.031 \text{ л} = 31 \text{ мл.}$
Скорость подачи раствора 31 мл/ч.
Ответ: 1) 9.8 %; 4) 31 мл/ч.

6.3. 1) 1 л раствора имеет массу 985 г и содержит 2.5 моль метанола массой

$$m(CH_3OH) = 2.5 \cdot 32 = 80 \text{ г.}$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(CH_3OH) = 80 / 985 = 0.081 = 8.1\%.$$

2) анод: $CH_3OH + H_2O - 6e \rightarrow CO_2 + 6H^+$
катод: $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$
Суммарное уравнение: $2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O$.
3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.
4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд 3600 с · 10 А = 36000 Кл.

Моли электронов:

$$\nu(e) = 10 \cdot 3600 / 96500 = 0.373 \text{ моль}.$$

Из уравнения полуреакции следует, что $\nu(CH_3OH) = \nu(e) / 6 = 0.062$ моль.
Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.062 \text{ моль} / 2.5 \text{ М} = 0.025 \text{ л} = 25 \text{ мл}.$$

Скорость подачи раствора 25 мл/ч.

Ответ: 1) 8.1%; 4) 25 мл/ч.

6.4. 1) 1 л раствора имеет массу 985 г и содержит 2.5 моль метанола массой

$$m(CH_3OH) = 2.5 \cdot 32 = 80 \text{ г}.$$

Массовая доля метанола:

$$\omega(CH_3OH) = 80 / 985 = 0.081 = 8.1\%.$$

2) анод: $CH_3OH + H_2O - 6e \rightarrow CO_2 + 6H^+$
катод: $O_2 + 4H^+ + 4e \rightarrow 2H_2O$
Суммарное уравнение: $2CH_3OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 4H_2O$.
3) Чистый метанол нельзя использовать, потому что для окисления до CO_2 нужен дополнительный атом кислорода, он берется из воды.
4) За час (3600 с) через цепь пройдет заряд 3600 с · 20 А = 72000 Кл.
Моли электронов:

$$\nu(e) = 20 \cdot 3600 / 96500 = 0.746 \text{ моль}.$$

Из уравнения полуреакции следует, что

$$\nu(CH_3OH) = \nu(e) / 6 = 0.124 \text{ моль}.$$

Объем раствора:

$$V(\text{раствора}) = 0.124 \text{ моль} / 2.5 \text{ М} = 0.050 \text{ л} = 50 \text{ мл}.$$

Скорость подачи раствора 50 мл/ч.

Ответ: 1) 8.1%; 4) 50 мл/ч.

Система оценивания – общая во всех вариантах.
Массовая доля метанола – 4 балла
Уравнения полуреакций в электронно-ионной форме и суммарное уравнение – 3·2 = 6 баллов (полуреакции со степенями окисления – по 1 баллу вместо 2)
Объяснение про чистый метанол – 2 балла
Расчет скорости – 8 баллов

Задача 7 (14 баллов)

7.1. X – NH_3, **Y** – NF_3 ($M(NF_3) / M(NH_3) = 71/17 \approx 4.2$), **Z** – N_2F_4, **Q** – N_2F_2

$NH_3 + 3F_2 \rightarrow NF_3 + 3HF$

$2NF_3 + Cu \rightarrow CuF_2 + N_2F_4$

$N_2F_4 \xrightarrow{h\nu} N_2F_2 + F_2$.

7.2. X – SiC, **Y** – CF_4, **Z** – SiF_4

$$SiC + 4F_2 \rightarrow SiF_4\uparrow + CF_4\uparrow$$

$$M_{ср} = (104 + 88) / 2 = 96 \text{ г/моль},$$

$$D_{CH_4} = \frac{96}{16} = 6.$$

Смесь можно пропустить через раствор HF, тогда CF_4 останется в газовой фазе, а SiF_4 поглотится:

$$SiF_4 + 2HF \rightarrow H_2[SiF_6].$$

Более высокая температура кипения – у SiF_4 из-за более сильного ван-дер-ваальсова взаимодействия между молекулами, поэтому SiF_4 сконденсируется первым.

7.3. X – BN, **Y** – N_2, **Z** – BF_3

$$M_{ср} = (2 \cdot 68 + 28) / 3 = 54{,}7 \text{ г/моль}, D_{O_2} = \frac{54.7}{32} = 1.7.$$

BF_3 – плоская молекула, правильный треугольник, неполярная.
N_2 – неполярная молекула.

7.4. X – BP, **Y** – BF_3, **Z** – PF_5

$$BP + 4F_2 \rightarrow BF_3\uparrow + PF_5\uparrow$$

$$M_{ср} = (68 + 71) / 2 = 69.5 \text{ г/моль},$$

$$D_{N_2} = \frac{69.5}{28} = 2.48.$$

BF_3 – плоская молекула, правильный треугольник, неполярная.
PF_5 – треугольная бипирамида, неполярная молекула.

Система оценивания:
7.1. Формулы веществ – 4·2 = 8 баллов. (Формула **Y** без расчета – 0 баллов)
Уравнения реакций 3·2 = 6 баллов.
7.2. Формулы веществ – 3·2 = 6 баллов (без расчета – только 4 балла)
Уравнение реакции – 2 балла
Способ разделения – 4 балла
Ответ на вопрос о конденсации – 2 балла
7.3 и 7.4. Формулы веществ – 3·2 = 6 баллов (без расчета – только 4 балла)
Уравнение реакции – 2 балла
Геометрия и полярность – по 2 балла, всего – 6 баллов