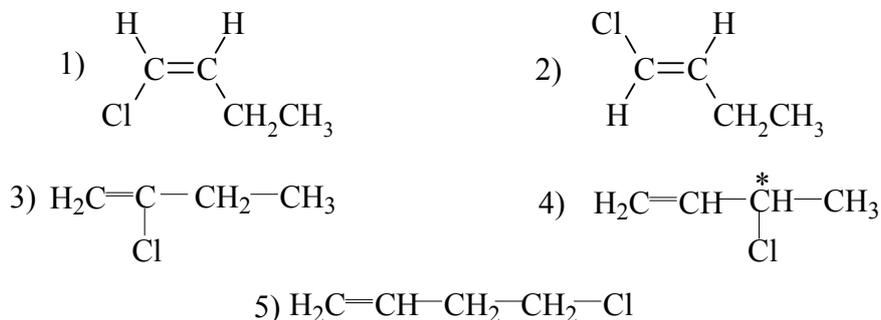


Варианты и решения  
заданий заочного тура  
олимпиады «Ломоносов»  
по химии  
для учащихся 10-11 классов  
(декабрь)

### Задание 1

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

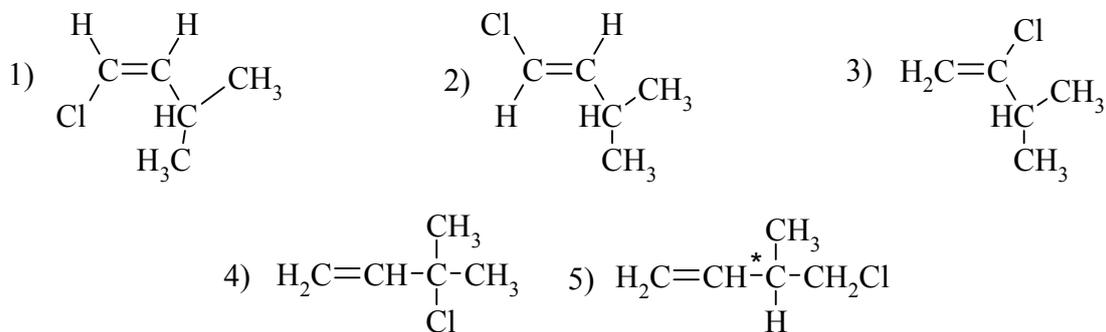
Ответ:



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

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

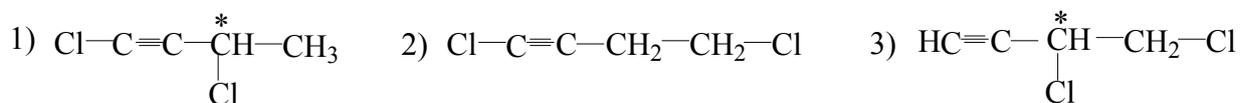
Ответ:

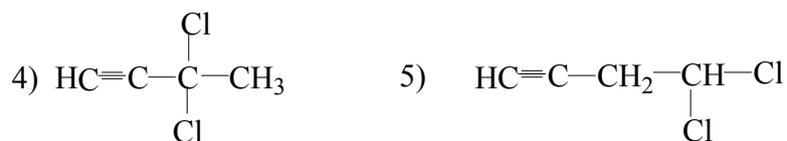


Обратите внимание, что 3-метил-1-хлорбутен-1 имеет *цис*- и *транс*-изомеры (структуры 1 и 2). Асимметрический атом углерода присутствует в структуре 5 (помечен звездочкой), это означает, что данное соединение существует в виде двух оптических изомеров.

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

Ответ:

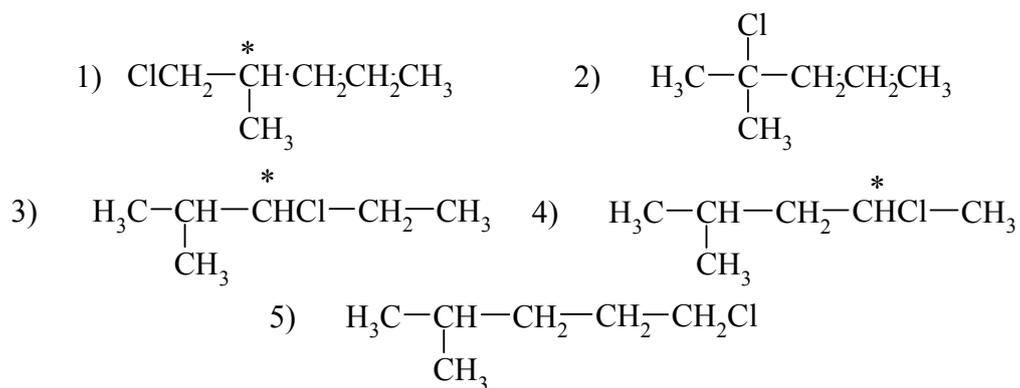




Асимметрические атомы углерода присутствуют в структурах 1 и 3 (помечены звездочками), это означает, что данные соединения существуют в виде двух оптических изомеров.

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

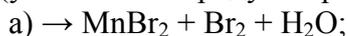
*Ответ:*



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

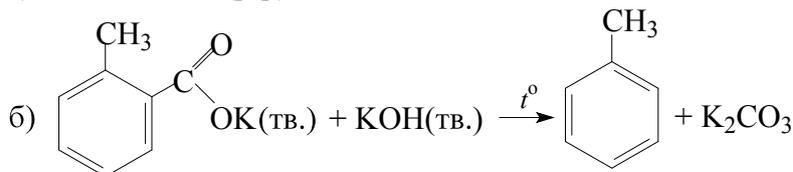
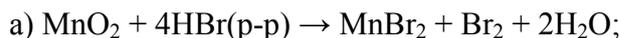
## Задание 2

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



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

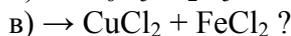
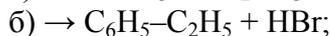
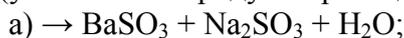
Решение.



(реакция декарбосилирования);

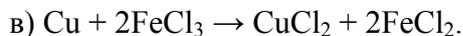
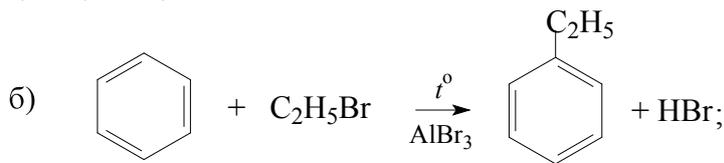
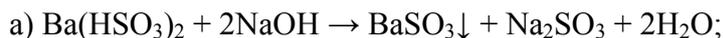


2.2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



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

Решение.

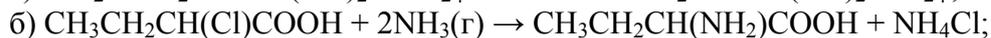


2.3. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



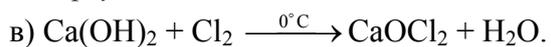
Напишите уравнения соответствующих химических реакций, укажите условия их протекания. (6 баллов)

Решение.



2-хлорбутановая кислота

2-аминобутановая кислота

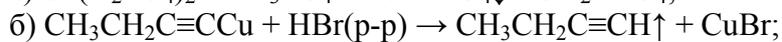
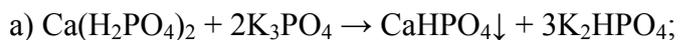


**2.4.** Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без стехиометрических коэффициентов):



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

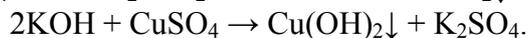
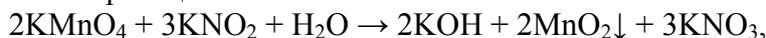
*Решение.*



### Задание 3

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

*Решение.* Уравнения реакций:



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

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

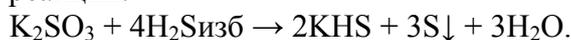
$$v(\text{Cu(OH)}_2) = 0.5 \cdot v(\text{KOH}) = 0.5 \cdot 0.2 = 0.1 \text{ моль},$$

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

*Ответ:* 9.8 г  $\text{Cu(OH)}_2$ .

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

*Решение.* Уравнение реакции:



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

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



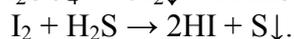
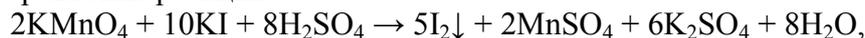
$$v(\text{SrSO}_3) = v(\text{K}_2\text{SO}_3) = 0.05 \text{ моль},$$

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

*Ответ:* 7.4 г  $\text{SrSO}_3$ .

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

*Решение.* Уравнения реакций:



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

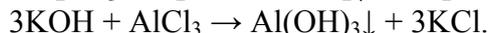
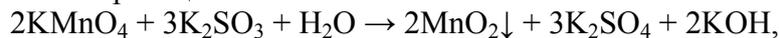
$$v(\text{S}) = v(\text{I}_2) = 0.02 \text{ моль},$$

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

*Ответ:* 0.64 г серы.

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

*Решение.* Уравнения реакций:



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

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

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

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

*Ответ:* 1.04 г  $\text{Al(OH)}_3$ .

#### Задание 4

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

*Решение.* а) Пусть растворимость  $\text{PbBr}_2$  в чистой воде равна  $x$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации соли

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

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

$$\begin{aligned} \text{PbBr}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{Br}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= y \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{Br}^-] = 2y \text{ моль/л.} \\ \text{Кроме того, концентрация ионов } \text{Pb}^{2+} &\text{ в результате диссоциации} \\ \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{NO}_3^- \\ \text{равна } [\text{Pb}^{2+}] &= 0.1 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПР}(\text{PbBr}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{Br}^-]^2 = (y + 0.1) \cdot (2y)^2 = 4.5 \cdot 10^{-6}. \\ \text{Если считать, что } y \ll 0.1, \text{ то } (y + 0.1) \cdot (2y)^2 &\approx 0.1 \cdot (2y)^2. \\ \text{Тогда} \quad 0.1 \cdot (2y)^2 &= 4.5 \cdot 10^{-6}. \\ \text{Отсюда} \quad y &= 3.4 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

*Ответ:* а)  $1.0 \cdot 10^{-2}$  моль/л; б)  $3.4 \cdot 10^{-3}$  моль/л.

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

*Решение.* а) Пусть растворимость  $\text{PbI}_2$  в чистой воде равна  $x$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации

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

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

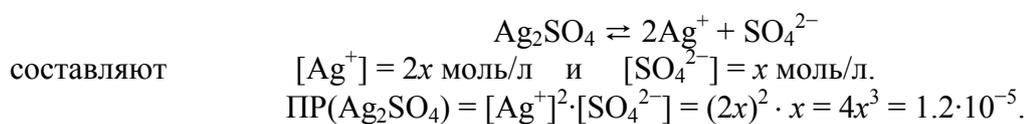
$$\begin{aligned} \text{PbI}_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{I}^- \\ \text{составляют} \quad [\text{Pb}^{2+}] &= y \text{ моль/л} \quad \text{и} \quad [\text{I}^-] = 2y \text{ моль/л.} \\ \text{Кроме того, концентрация ионов } \text{Pb}^{2+} &\text{ в результате диссоциации} \\ \text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2 &\rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{CH}_3\text{COO}^- \\ \text{равна } [\text{Pb}^{2+}] &= 0.1 \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ПР}(\text{PbI}_2) &= [\text{Pb}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]^2 = (y + 0.1) \cdot (2y)^2 = 8.2 \cdot 10^{-9}. \\ \text{Если считать, что } y \ll 0.1, \text{ то } (y + 0.1) \cdot (2y)^2 &\approx 0.1 \cdot (2y)^2. \\ \text{Тогда} \quad 0.1 \cdot (2y)^2 &= 8.2 \cdot 10^{-9}. \\ \text{Отсюда} \quad y &= 1.4 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.} \end{aligned}$$

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

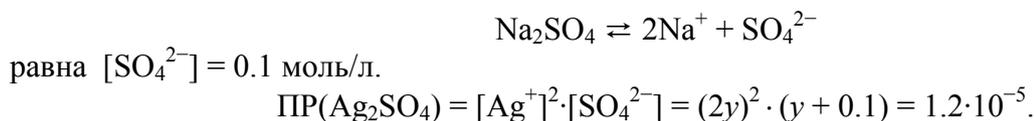
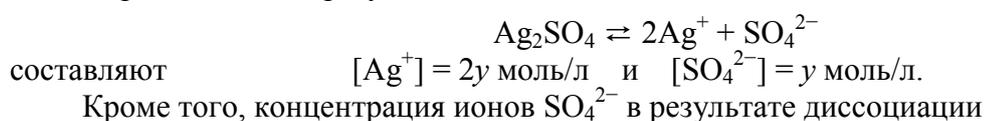
**4.3.** Произведение растворимости  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  при  $25^\circ\text{C}$  равно  $1.2 \cdot 10^{-5}$ . Рассчитайте растворимость (в моль/л)  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . (8 баллов)

*Решение.* а) Пусть растворимость  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в чистой воде равна  $x$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



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

б) Пусть растворимость  $\text{Ag}_2\text{SO}_4$  в 0.1 М растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  равна  $y$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



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

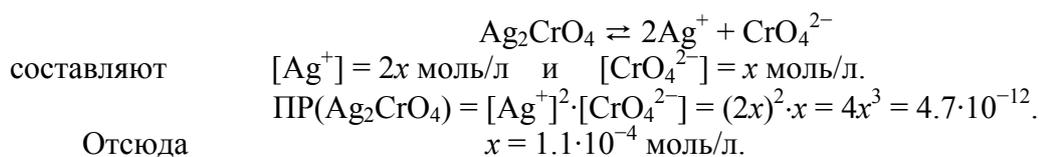
$$\text{Тогда } (2y)^2 \cdot 0.1 = 1.2 \cdot 10^{-5}$$

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

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

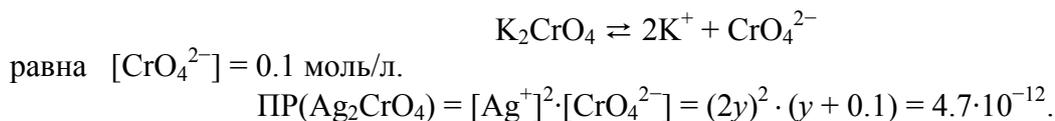
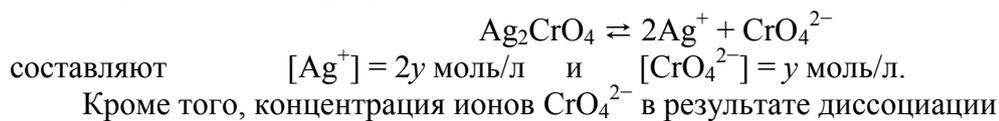
**4.4.** Произведение растворимости  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  при  $25^\circ\text{C}$  равно  $4.7 \cdot 10^{-12}$ . Рассчитайте растворимость (в моль/л)  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  а) в чистой воде; б) в 0.1 М растворе  $\text{K}_2\text{CrO}_4$ . (8 баллов)

*Решение.* а) Пусть растворимость  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  в чистой воде равна  $x$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



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

б) Пусть растворимость  $\text{Ag}_2\text{CrO}_4$  в 0.1 М растворе  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  равна  $y$  моль/л. Тогда концентрации ионов в результате диссоциации



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

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

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

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

## Задание 5

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

*Решение.* Масса смеси:

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

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

Из второго уравнения выражаем количество хлорпропана через количество хлорэтана:

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

и подставляем в первое уравнение:

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

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

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

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

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

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

*Ответ:* 0.2 моль  $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$ , 0.3 моль  $\text{C}_3\text{H}_7\text{Cl}$ ; 13.7 л.

**5.2.** Смесь монооксида азота и диоксида азота общей массой 53 г содержит  $9.03 \cdot 10^{23}$  атомов азота. Определите количества каждого из газов. Как изменится плотность смеси газов при добавлении к ней  $\text{CO}_2$  (при неизменных температуре и давлении)? Ответ аргументируйте. (10 баллов)

*Решение.* Масса смеси газов:

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

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

Мы получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

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

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

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

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

К смеси газов добавляется более тяжелый компонент:

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

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

*Ответ:* 1 моль  $\text{NO}$ , 0.5 моль  $\text{NO}_2$ ; плотность смеси возрастет.

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

*Решение.* Масса смеси:

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

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

Мы получили систему из двух уравнений с двумя неизвестными:

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

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

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

$$M(\text{смеси}) = (v(\text{C}_4\text{H}_{10}) \cdot M(\text{C}_4\text{H}_{10}) + v(\text{C}_2\text{H}_6) \cdot M(\text{C}_2\text{H}_6)) / v(\text{смеси}) =$$

$$= (0.5 \cdot 58 + 2 \cdot 30) / 2.5 = 28.64 \text{ г/моль.}$$

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

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

*Ответ:* 0.5 моль  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ , 2 моль  $\text{C}_2\text{H}_6$ ; 1.06 г/л.

**5.4.** В смеси  $\text{SO}_2$  и  $\text{SO}_3$  масса серы в 1.35 раза меньше массы кислорода. Рассчитайте массовые и мольные доли компонентов смеси. **(10 баллов)**

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

$$m(\text{O}) / m(\text{S}) = \nu(\text{O}) \cdot M(\text{O}) / (\nu(\text{S}) \cdot M(\text{S})) =$$

$$= (16 \cdot (2\nu(\text{SO}_2) + 3\nu(\text{SO}_3))) / (32 \cdot (\nu(\text{SO}_2) + \nu(\text{SO}_3))) = 1.35,$$

$$2\nu(\text{SO}_2) + 3\nu(\text{SO}_3) = 2.7\nu(\text{SO}_2) + 2.7\nu(\text{SO}_3),$$

$$0.3\nu(\text{SO}_3) = 0.7\nu(\text{SO}_2),$$

$$\nu(\text{SO}_3) = 2.33\nu(\text{SO}_2).$$

Мольные доли компонентов смеси:

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

$$x(\text{SO}_2) = 0.3 \text{ (30\%)}.$$

Массовые доли:

$$\omega(\text{SO}_3) = m(\text{SO}_3) / m(\text{смеси}) = \nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) / (\nu(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) + \nu(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2)) =$$

$$= x(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) / (x(\text{SO}_3) \cdot M(\text{SO}_3) + x(\text{SO}_2) \cdot M(\text{SO}_2)) =$$

$$0.7 \cdot 80 / (0.7 \cdot 80 + 0.3 \cdot 64) = 0.745 \text{ (или 74.5\%)},$$

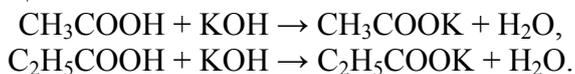
$$\omega(\text{SO}_2) = 0.255 \text{ (25.5\%)}.$$

*Ответ:* по молям 30%  $\text{SO}_2$ , 70%  $\text{SO}_3$ ; по массе 25.5%  $\text{SO}_2$ , 74.5%  $\text{SO}_3$ .

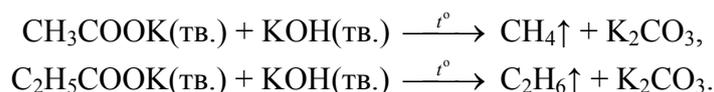
## Задание 6

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

*Решение.* Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



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

$$x + y = 0.4.$$

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

Тогда

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

Объёмные доли газов в смеси:

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

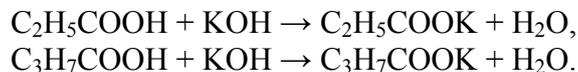
Масса смеси кислот:

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

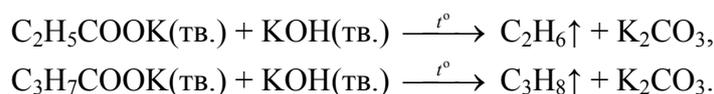
*Ответ:*  $\varphi(\text{CH}_4)$  25%,  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$  75%,  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH})$  21.3%,  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$  78.7%.

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

*Решение.* Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



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

$$x + y = 0.45.$$

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

тогда

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

отсюда

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

Объёмные доли газов в смеси:

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

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

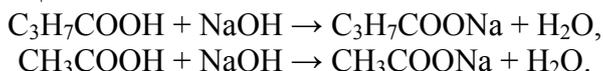
Масса смеси кислот:

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

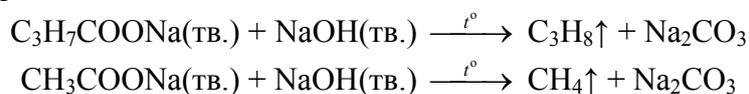
*Ответ:*  $\varphi(\text{C}_2\text{H}_6)$  33.3%.  $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8)$  66.7%.  $\omega(\text{CH}_3\text{COOH})$  29.6%,  $\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH})$  70.4%.

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

*Решение.* Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



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

$$x + y = 0.2.$$

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

тогда

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

отсюда

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

Объёмные доли газов в смеси:

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

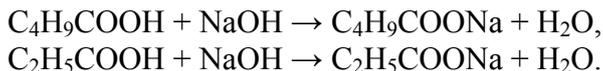
Масса смеси кислот:

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

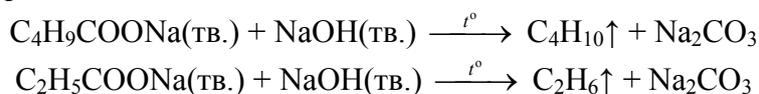
*Ответ:*  $\varphi(\text{C}_3\text{H}_8)$  25%,  $\varphi(\text{CH}_4)$  75%,  $\omega(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH})$  32.8%,  $\omega$  67.2%.

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

*Решение.* Нейтрализация смеси кислот:



Декарбоксилирование:



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

$$x + y = 0.2.$$

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

тогда

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

Отсюда

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

Объёмные доли газов в смеси:

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

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

Масса смеси кислот:

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

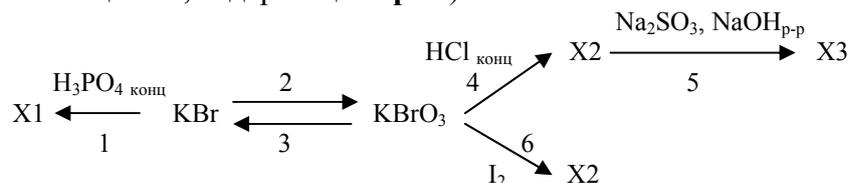
$$\omega(\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}) = 10.2 / 39.8 = 0.256 \text{ (или 25.6\%)},$$

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

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

### Задание 7

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

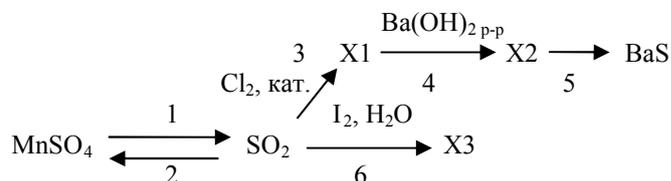


(12 баллов)

Решение.

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

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

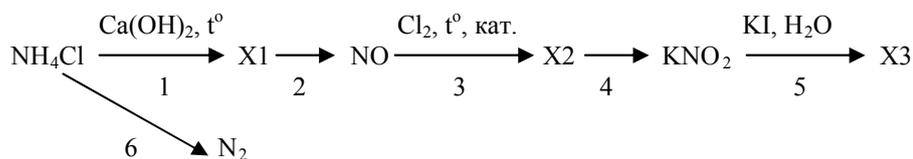


(12 баллов)

Решение.

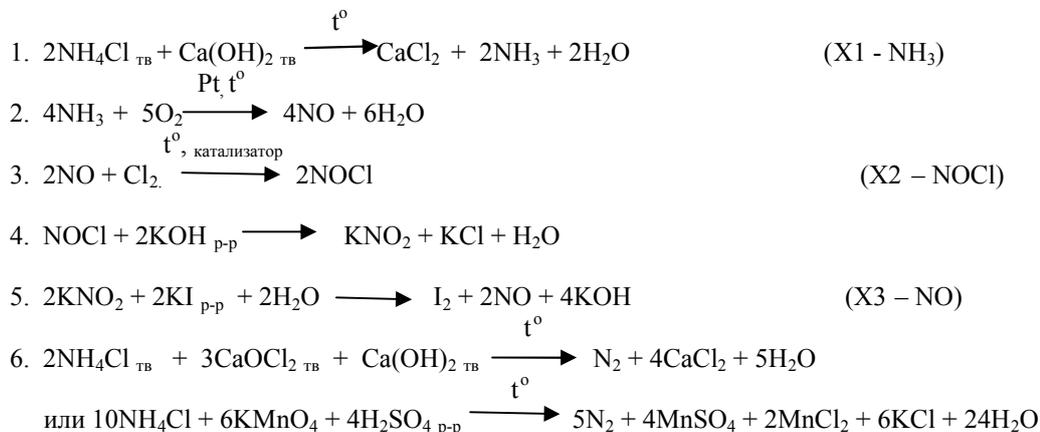
- $\text{MnSO}_4 \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{MnO}_2 + \text{SO}_2$   
или  $3\text{MnSO}_4 \xrightarrow[\text{t}^\circ]{} \text{Mn}_3\text{O}_4 + 3\text{SO}_2 + \text{O}_2$
- $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{MnSO}_4 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$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

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

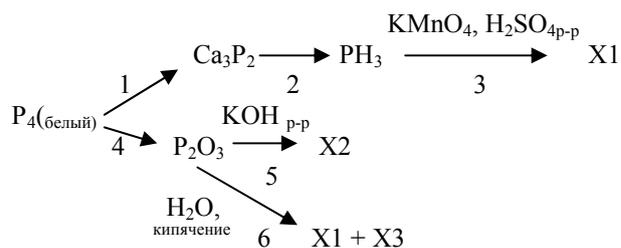


(12 баллов)

Решение.

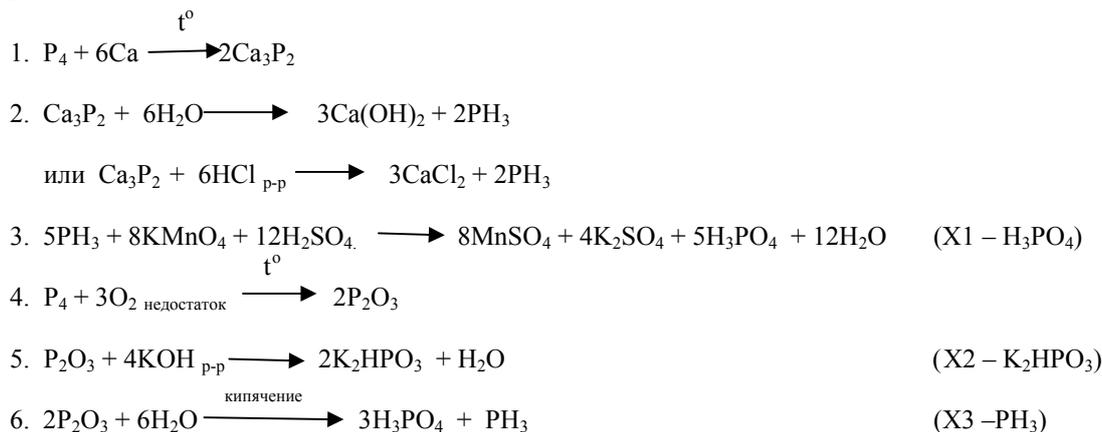


7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все X – вещества, содержащие **фосфор**):



(12 баллов)

Решение.



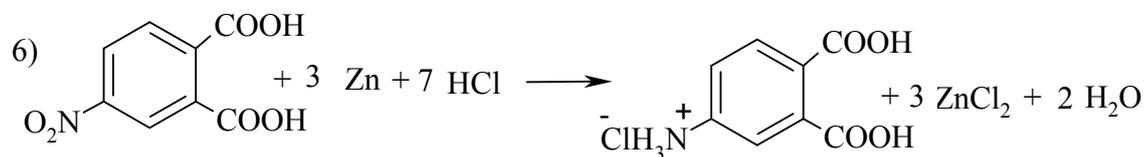
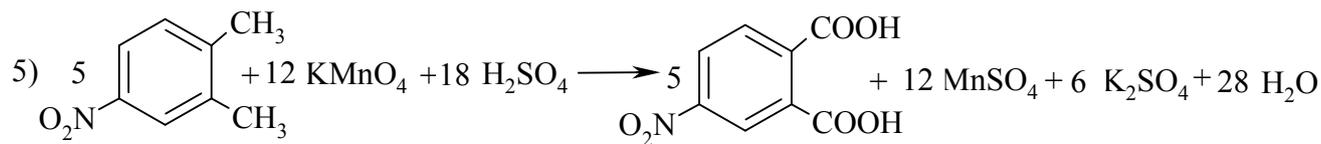
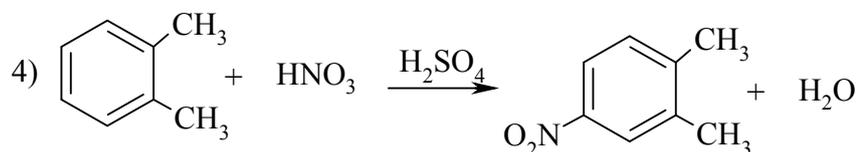
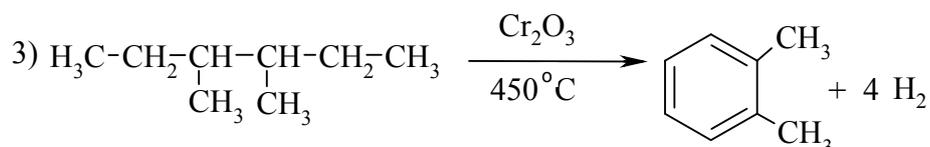
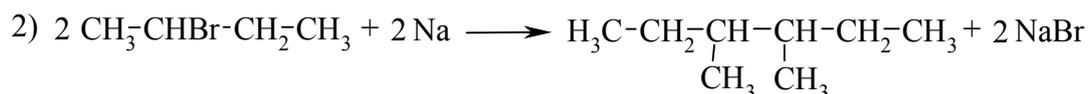
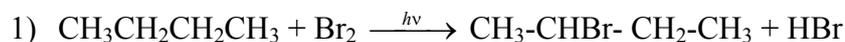
### Задание 8

**8.1.** Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:

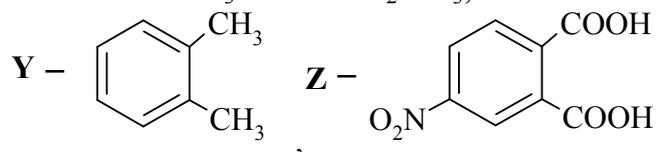


Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

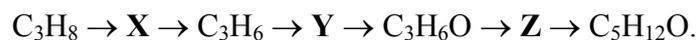
*Решение:*



*Ответ:* **X** –  $CH_3-CHBr-CH_2-CH_3$ ,

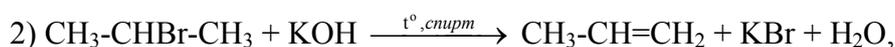
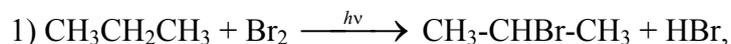


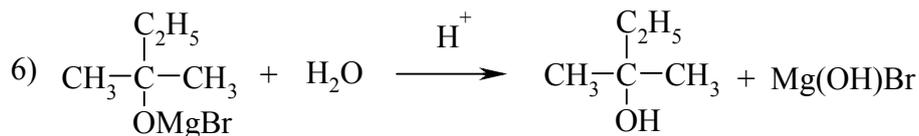
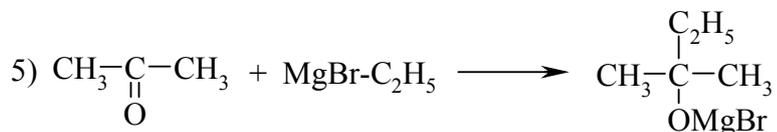
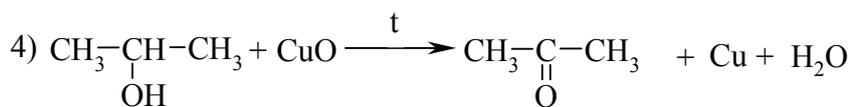
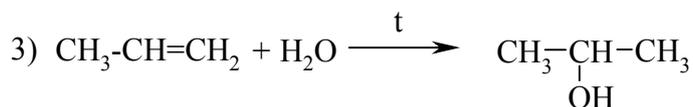
**8.2.** Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



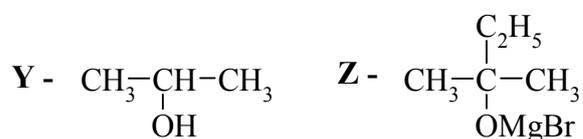
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. **(12 баллов)**

*Решение:*

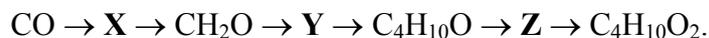




Ответ: X – CH<sub>3</sub>-CHBr-CH<sub>3</sub>,

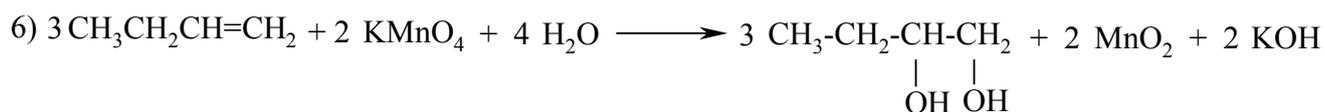
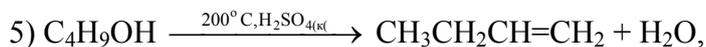
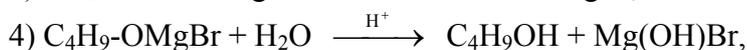
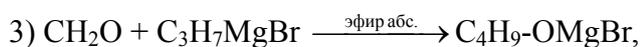
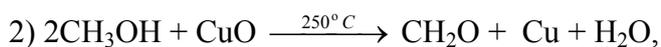
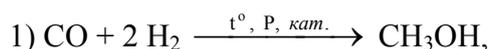


**8.3.** Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



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

Решение:



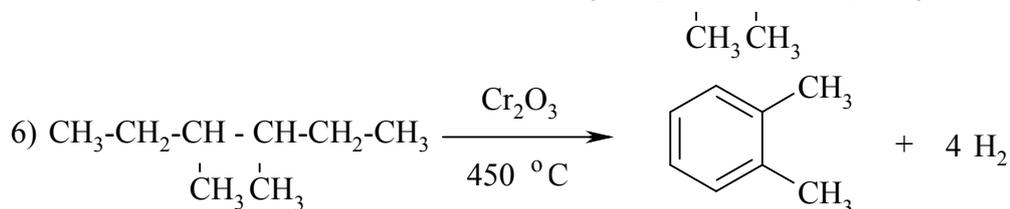
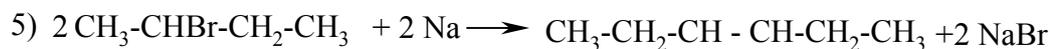
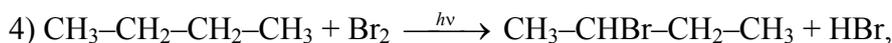
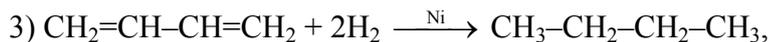
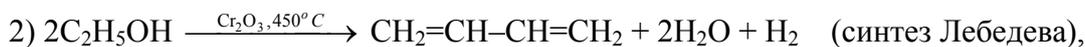
Ответ: X – CH<sub>3</sub>OH, Y – C<sub>4</sub>H<sub>9</sub>-OMgBr, Z – CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>CH=CH<sub>2</sub>.

8.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



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

Решение:



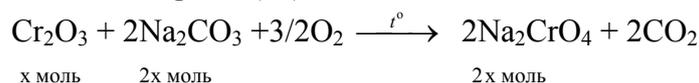
Ответ: **X** –  $C_2H_5OH$ , **Y** –  $CH_3-CH_2-CH_2-CH_3$ ,  
**Z** –  $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-CH(CH_3)-CH_2-CH_3$ .

## Задание 9

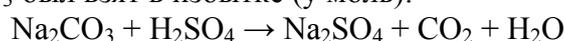
**9.1.** При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 129.0 г и выделился газ. Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7.34 л того же газа (25°C, 1 атм) и образованию оранжевого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

*Решение:*

Пусть было взято  $x$  моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  был взят в избытке ( $y$  моль):



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

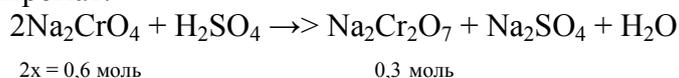
Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  и избытка  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) равна 129 г, значит,  $2x \cdot 162 + 0,3 \cdot 106 = 129$ ,  $x = 0,3$  моль.

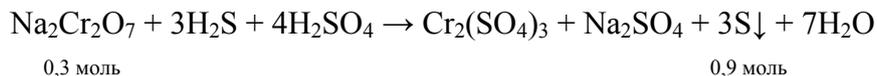
Таким образом, в исходной смеси было 0,3 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $(2x + 0,3) = 0,9$  моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

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

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



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



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

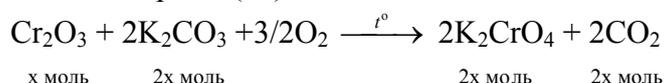
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

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

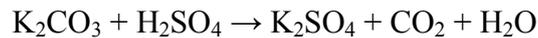
**9.2.** При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната калия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 182.8 г и выделилось 19.56 л газа (25°C, 1 атм). Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию оранжевого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

*Решение:*

Пусть было взято  $x$  моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что  $\text{K}_2\text{CO}_3$  был взят в избытке ( $y$  моль):



Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

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

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

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  и избытка  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) равна 182,2 г, значит,  $2x \cdot 194 + 138y = 182,2$ ;  $y = 0,2$  моль.

Таким образом, в исходной смеси было 0,4 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $(2 \cdot 0,4 + 0,2) = 1$  моль  $\text{K}_2\text{CO}_3$ .

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

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



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



Максимальное количество осадка аморфной серы выпадет, если взять бихромат калия и сульфид калия в стехиометрическом соотношении 1:3, т.е. раствор сульфида калия должен содержать 1,2 моль  $\text{K}_2\text{S}$ . Значит, потребуется взять  $1,2$  (моль)/1(моль/л) = 1,2 л раствора сульфида калия.

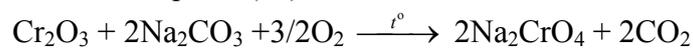
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

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

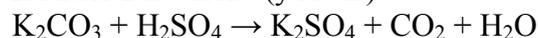
**9.3.** При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната натрия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 107.2 г и выделилось 9.78 л газа ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм). Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению того же газа и образованию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

*Решение:*

Пусть было взято  $x$  моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что  $\text{K}_2\text{CO}_3$  был взят в избытке ( $y$  моль):



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

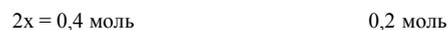
$(101,325 \cdot 9,78)/(8,314 \cdot 298) = 0,4$  моль;  $x = 0,2$  моль.

Масса твердого остатка (смеси образовавшегося  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$  и избытка  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) равна 107,2 г, значит,  $2 \cdot 0,2 \cdot 162 + 106y = 107,2$ ;  $y = 0,4$  моль.

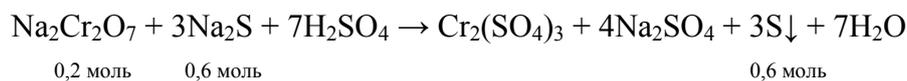
Таким образом, в исходной смеси было 0,2 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $(2 \cdot 0,2 + 0,4) = 0,8$  моль  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ .

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

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



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



Максимальное количество осадка аморфной серы выпадет, если взять бихромат натрия и сульфид натрия в стехиометрическом соотношении 1:3, т.е. раствор сульфида натрия должен содержать 0,6 моль  $\text{Na}_2\text{S}$ . Значит, потребуется взять  $0,6 \text{ (моль)}/1,5 \text{ (моль/л)} = 0,4 \text{ л}$  раствора сульфида натрия.

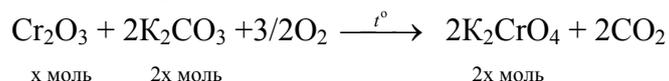
Раствор после выпадения осадка серы имеет зеленый цвет ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

*Ответ:*  $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1/4$ ,  $V = 0,4 \text{ л}$ , раствор имеет зеленый цвет ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

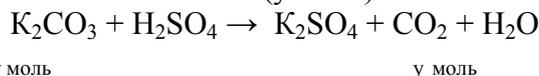
**9.4.** При сплавлении оксида хрома (III) и карбоната калия в атмосфере кислорода образовался твердый остаток массой 80,2 г и выделился газ. Полное растворение полученного твердого остатка в разбавленной серной кислоте привело к выделению 7,34 л того же газа ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм) и образованию оранжевого раствора. В каком мольном соотношении были взяты для сплавления исходные твердые вещества? Какая масса осадка может быть получена при пропускании через этот раствор газообразного сероводорода? Какой цвет приобретает раствор после выпадения осадка? **(14 баллов)**

*Решение:*

Пусть было взято  $x$  моль оксида хрома (III):



Так как при обработке твердого остатка кислотой выделился углекислый газ, можно предположить, что  $\text{K}_2\text{CO}_3$  был взят в избытке ( $y$  моль):



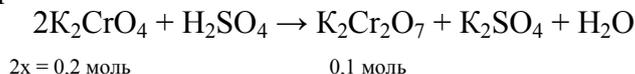
$y = pV/RT = (101,325 \cdot 7,34)/(8,314 \cdot 298) = 0,3 \text{ моль}$  (избыток карбоната калия в исходной смеси).

Оксид хрома (III) вступил в реакцию полностью.

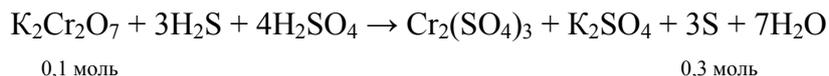
Масса твердого остатка (смеси образовавшегося  $\text{K}_2\text{CrO}_4$  и избытка  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ) равна 80,2 г, значит,  $2x \cdot 194 + 0,3 \cdot 138 = 80,2$ ,  $x = 0,1 \text{ моль}$ .

Таким образом, в исходной смеси было 0,1 моль  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  и  $(2x + 0,3) = 0,5 \text{ моль}$   $\text{K}_2\text{CO}_3$ . Мольное соотношение исходных реагентов  $0,1/0,5 = 1/5$ .

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



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



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

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

*Ответ:*  $n(\text{Cr}_2\text{O}_3)/n(\text{K}_2\text{CO}_3) = 1/5$ ,  $m = 9,6 \text{ г}$ , раствор имеет зеленый цвет ( $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ ).

### Задание 10

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

*Решение.* Рассчитаем объем и количество вышедшего из горелки метана:

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

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

Тогда количество теплоты, выделившееся при сгорании метана, равно

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

Количество теплоты, необходимое для нагревания  $m$  г воды до  $100^{\circ}\text{C}$ , равно

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

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

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

Масса воды

$$m = 74422 / 75 = 992.3 \text{ г}.$$

Чтобы найти конечную температуру  $T$ , составим уравнение теплового баланса:

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

*Ответ:*  $70^{\circ}\text{C}$ .

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

*Решение.* Рассчитаем объем и количество вышедшего из горелки метана:

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

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

Тогда количество теплоты, выделившееся при сгорании метана, равно

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

Количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть воду массой  $m$  г до  $100^{\circ}\text{C}$ :

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

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

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

Масса воды

$$m = 149000 / 75 = 1987 \text{ г}.$$

Чтобы найти массу льда  $m_2$ , составим уравнение теплового баланса:

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

*Ответ:* 500 г.

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

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

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

Тогда количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть всю воду до  $100^{\circ}\text{C}$ :

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

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

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

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

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

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

*Ответ:* 6 мин.

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

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

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

Тогда количество теплоты, необходимое, чтобы нагреть всю воду до  $100^{\circ}\text{C}$ :

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

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

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

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

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

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

*Ответ:* 30.4 мин.