

Олимпиада «Ломоносов» по химии 2025/26 учебный год
Решение заданий для 11 класса

Задача 1 (4 балла)

1.1. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 10 электронов. В одном из ионов – 8 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

Решение. Восемь протонов содержит атом кислорода, на три протона меньше или больше в атомах бора и натрия соответственно. Десять электронов включают ионы O^{2-} , F^- , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} . Подходят ионы O^{2-} и Na^+ . Вещество, образованное этими ионами – Na_2O .

Ответ: Na_2O .

1.2. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 18 электронов. В одном из ионов – 17 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

Решение. Семнадцать протонов содержит атом хлора, на три протона меньше или больше в атомах кремния и кальция соответственно. Восемнадцать электронов включают ионы S^{2-} , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} . Подходят ионы Ca^{2+} и Cl^- . Вещество, образованное этими ионами – $CaCl_2$.

Ответ: $CaCl_2$.

1.3. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 10 электронов. В одном из ионов – 12 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

Решение. Двенадцать протонов содержит атом магния, на три протона меньше или больше в атомах фтора и фосфора соответственно. Десять электронов включают ионы O^{2-} , F^- , Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} . Подходят ионы Mg^{2+} и F^- . Вещество, образованное этими ионами – MgF_2 .

Ответ: MgF_2 .

1.4. Два иона, образованные разными элементами, содержат по 18 электронов. В одном из ионов – 19 протонов, в другом ионе число протонов отличается на 3. Приведите формулу вещества, образованного этими ионами.

Решение. Девятнадцать протонов содержит атом калия, на три протона меньше или больше в атомах серы и титана соответственно. Десять электронов включают ионы S^{2-} , Cl^- , K^+ , Ca^{2+} . Подходят ионы S^{2-} и K^+ . Вещество, образованное этими ионами – K_2S .

Ответ: K_2S .

Система оценивания единая для всех вариантов:

По 1 баллу за катион и анион, 2 балла за соединение. Всего $1 + 1 + 2 = 4$ балла.

Задача 2 (10 баллов)

2.1. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

* 1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная $1.86 \text{ К} \cdot \text{кг}/\text{моль}$, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 33 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 10 г белка, имеет осмотическое давление $14.22 \cdot 10^{-3} \text{ атм}$ при 25°C . Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

Решение. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. При расчете необходимо учесть, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:



и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\begin{aligned} v(\text{NaCl}) &= 33 / 58.5 = 0.564 \text{ моль}, \\ m &= 2 \cdot 0.564 / 1 = 1.128 \text{ моль}/\text{кг}. \end{aligned}$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.128 = 2.098,$$

температура океанической воды -2.1°C .

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{14.22 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 0.5815 \text{ моль}/\text{м}^3 = 0.5815 \cdot 10^{-3} \text{ моль}/\text{л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / v = \frac{10}{0.5815 \cdot 10^{-3}} = 17.2 \cdot 10^3 \text{ г}/\text{моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 17.2 кДа, она характерна для белка II типа (Type II AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: -2.1°C , 17.2 кДа (Type II AFP), водородные связи.

2.2. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

* 1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная $1.86 \text{ К} \cdot \text{кг}/\text{моль}$, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды

определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 33 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 20 г белка, имеет осмотическое давление $75.11 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой белок-антифриз был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

Решение. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:



и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\begin{aligned} \nu(\text{NaCl}) &= 33 / 58.5 = 0.564 \text{ моль,} \\ m &= 2 \cdot 0.564 / 1 = 1.128 \text{ моль/кг.} \end{aligned}$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.128 = 2.098,$$

температура океанической воды –2.1°С.

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{75.11 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 3.0718 \text{ моль/м}^3 = 3.0718 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{20}{3.0718 \cdot 10^{-3}} = 6.51 \cdot 10^3 \text{ г/моль.}$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 6.51 кДа, она характерна для белка III типа (Type III AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: –2.1°С, 6.51 кДа (Type III AFP), водородные связи.

2.3. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Тип I AFP	Тип II AFP	Тип III AFP	Тип IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

* 1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 32 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого

содержит 15 г белка, имеет осмотическое давление $30.33 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

Решение. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:



и реальная концентрация частиц в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\begin{aligned} \nu(\text{NaCl}) &= 32 / 58.5 = 0.547 \text{ моль,} \\ m &= 2 \cdot 0.547 / 1 = 1.094 \text{ моль/кг.} \end{aligned}$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.094 = 2.035,$$

температура океанической воды -2.04°C .

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{30.33 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 1.2404 \text{ моль/м}^3 = 1.2404 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л.}$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{15}{1.2404 \cdot 10^{-3}} = 12.09 \cdot 10^3 \text{ г/моль.}$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 12.09 кДа, она характерна для белка II типа (Type II AFP) или IV типа (Type IV AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: -2.04°C , 12.09 кДа (Type II AFP или Type IV AFP), водородные связи.

2.4. Некоторые виды рыб, обитающих в полярных широтах, имеют в крови белки-антифризы, которые позволяют выживать в суровых условиях. Считается, что белки связываются с формирующимися кристаллами льда и останавливают их рост. Известны четыре типа белков-антифризов, отличающихся строением и массой молекул.

Белок	Type I AFP	Type II AFP	Type III AFP	Type IV AFP
Молекулярная масса, кДа*	3.3-4.5	11-24	6.5	12

* 1 кДа = 1000 Дальтон

1) Оцените температуру океанической воды, в которой обитают рыбы. Понижение температуры замерзания воды можно рассчитать по формуле $\Delta T = K \cdot m$, где K – криоскопическая постоянная воды, равная 1.86 К·кг/моль, m – моляльная концентрация частиц в растворе (число моль в килограмме растворителя). Примите, что соленость воды определяется только хлоридом натрия, а средняя соленость воды в полярных широтах – 32 г соли в 1 кг воды.

2) Молярную массу белка-антифриза определяли с помощью измерения осмотического давления его раствора. Осмотическое давление π может быть рассчитано по формуле $\pi = cRT$, где c – молярная концентрация раствора. Было установлено, что водный раствор, 1 л которого содержит 10 г белка, имеет осмотическое давление $67.50 \cdot 10^{-3}$ атм при 25 °С. Какой из белков-антифризов был исследован?

3) Предположите, за счет каких взаимодействий может происходить связывание белка с растущим кристаллом льда.

Решение. 1) Понижение температуры замерзания раствора по сравнению с чистым растворителем – одно из коллигативных свойств, которые зависят только от числа частиц растворенного вещества (молекул и ионов), но не от их природы. Необходимо учесть при расчете, что в растворе NaCl полностью диссоциирует на ионы:



и реальная концентрация частиц оказывается в два раза больше концентрации соли. Определим моляльную концентрацию:

$$\begin{aligned} \nu(\text{NaCl}) &= 32 / 58.5 = 0.547 \text{ моль}, \\ m &= 2 \cdot 0.547 / 1 = 1.094 \text{ моль/кг}. \end{aligned}$$

Понижение температуры замерзания:

$$\Delta T = K \cdot m = 1.86 \cdot 1.094 = 2.035,$$

температура океанической воды -2.04°C .

2) Из формулы $\pi = cRT$ выразим и определим молярную концентрацию раствора белка:

$$c = \pi / RT = \frac{67.50 \cdot 10^{-3} \cdot 101325}{8.314 \cdot 298} = 2.7605 \text{ моль/м}^3 = 2.7605 \cdot 10^{-3} \text{ моль/л}.$$

Молярная масса исследуемого белка:

$$M = m / \nu = \frac{10}{2.7605 \cdot 10^{-3}} = 3.62 \cdot 10^3 \text{ г/моль}.$$

Этому значению соответствует молекулярная масса 3.62 кДа, она характерна для белка I типа (Type I AFP).

3) Белки-антифризы связываются с поверхностью кристалла за счет водородных связей между аминокислотными остатками и молекулами воды.

Ответ: -2.04°C , 3.62 кДа (Type I AFP), водородные связи.

Система оценивания единая для всех вариантов:

Вопрос 1) 4 балла (если не учтено удвоенное число частиц из-за диссоциации соли, то 2 балла).

Вопрос 2) 4 балла.

Вопрос 3) 2 балла, если не указано, между какими атомами реализуются водородные связи – 1 балл. Всего $4 + 4 + 2 = 10$ баллов.

За арифметическую ошибку или неверную размерность минус 1 балл.

Задача 3 (10 баллов)

3.1. Рассчитайте pH 0.0010 М соляной кислоты при 25°C . Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 100 раз; б) в 10^4 раз?

Решение. Поскольку соляная – сильная минеральная кислота, то

$$[\text{H}^+] = c(\text{HCl})$$

$$\text{и} \quad \text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg 0.001 = 3.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 100 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(\text{HCl}) = 0.001 / 100 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М}.$$

$$\text{pH} = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^4 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7} \text{ М}$.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5} \text{ М}$), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HCl имеем:

$$[\text{H}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{OH}^-],$$

где $[\text{H}^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [Cl^-]) = [H^+]([H^+] - c(HCl)) = 10^{-14}$$

$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$[H^+]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$[H^+]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

Ответ: 3; а) 5; б) 6.79.

3.2. Рассчитайте pH $1.0 \cdot 10^{-4}$ М бромоводородной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 10 раз; б) в 10^3 раз?

Решение. Поскольку бромоводородная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HBr)$$

и $pH = -\lg[H^+] = -\lg(1.0 \cdot 10^{-4}) = 4.$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 10 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(HBr) = 1.0 \cdot 10^{-4} / 10 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М.}$$

$$pH = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^3 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7}$ М.

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5}$ М), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HBr имеем:

$$[H^+] = [Br^-] + [OH^-],$$

где $[H^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [H^+][OH^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [H^+]([H^+] - [Br^-]) = [H^+]([H^+] - c(HBr)) = 10^{-14}$$

$$[H^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$[H^+]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$[H^+]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

3.3. Рассчитайте pH 0.010 М иодоводородной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 1000 раз; б) в 10^5 раз?

Решение. Поскольку иодоводородная – сильная минеральная кислота, то

$$[H^+] = c(HI)$$

и $pH = -\lg[H^+] = -\lg(0.01) = 2.$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 1000 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(\text{HI}) = 0.01 / 1000 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М.}$$

$$\text{pH} = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^5 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7} \text{ М.}$

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5} \text{ М}$), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HBr имеем:

$$[\text{H}^+] = [\text{Br}^-] + [\text{OH}^-],$$

где $[\text{H}^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [\text{H}^+]([\text{H}^+] - [\text{I}^-]) = [\text{H}^+]([\text{H}^+] - c(\text{HI})) = 10^{-14}$$

$$[\text{H}^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$[\text{H}^+]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$[\text{H}^+]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$\begin{aligned} [\text{H}^+] &= 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,} \\ \text{pH} &= -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79. \end{aligned}$$

Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

3.4. Рассчитайте pH 0.00010 М соляной кислоты при 25°C. Какова будет величина pH этого раствора при его разбавлении а) в 10 раз; б) в 10^3 раз?

Решение. Поскольку соляная – сильная минеральная кислота, то

$$[\text{H}^+] = c(\text{HCl})$$

и
$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(1.0 \cdot 10^{-4}) = 4.$$

Рассчитаем pH раствора после его разбавления.

а) Раствор разбавили в 10 раз, молярная концентрация кислоты стала равна

$$c(\text{HCl}) = 1.0 \cdot 10^{-4} / 10 = 1.0 \cdot 10^{-5} \text{ М.}$$

$$\text{pH} = -\lg 10^{-5} = 5.$$

б) Раствор разбавили в 10^3 раз. Молярная концентрация кислоты стала равна $1.0 \cdot 10^{-7} \text{ М.}$

Так как концентрация раствора мала ($c < 10^{-5} \text{ М}$), необходимо учесть диссоциацию воды, так как при этом образуются протоны. Это можно сделать, введя условие электронейтральности – в единице объема суммарный положительный заряд равен суммарному отрицательному заряду. В случае HCl имеем:

$$[\text{H}^+] = [\text{Cl}^-] + [\text{OH}^-],$$

где $[\text{H}^+]$ – суммарная концентрация протонов, образующихся при диссоциации кислоты и при диссоциации воды.

Ионное произведение воды $K_w = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = 10^{-14}$. Используя уравнение электронейтральности, преобразуем это уравнение:

$$K_w = [\text{H}^+]([\text{H}^+] - [\text{Cl}^-]) = [\text{H}^+]([\text{H}^+] - c(\text{HCl})) = 10^{-14}$$

$$[\text{H}^+]^2 - 1.0 \cdot 10^{-7} - 10^{-14} = 0$$

Корни уравнения:

$$[\text{H}^+]_1 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} + \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} = 1.62 \cdot 10^{-7}$$

$$\left[H^+ \right]_2 = \frac{1.0 \cdot 10^{-7} - \sqrt{1.0 \cdot 10^{-14} + 4 \cdot 1.0 \cdot 10^{-14}}}{2} < 0$$

Второй корень соответствует физически некорректному результату. Таким образом,

$$[H^+] = 1.62 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$$pH = -\lg(1.62 \cdot 10^{-7}) = 6.79.$$

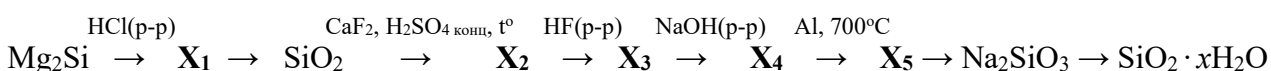
Ответ: 4; а) 5; б) 6.79.

Система оценивания единая для всех вариантов:

Правильное значение pH раствора до разбавления – 2 балла, пункт а) 2 балла, пункт б) 6 баллов (значение pH = 7 оценивалось в 2 балла). Всего 2 + 2 + 6 = 10 баллов.

Задача 4 (16 баллов)

4.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат кремний.

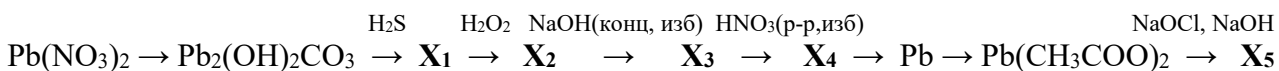


Решение. Уравнения возможных реакций:

- 1) $\text{Mg}_2\text{Si} + 4\text{HCl} \rightarrow \text{SiH}_4\uparrow + 2\text{MgCl}_2$
- 2) $\text{SiH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{SiO}_2 + 2\text{CaF}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{SiF}_4\uparrow + 2\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{SiF}_4 + 2\text{HF(p-p)} \rightarrow \text{H}_2\text{SiF}_6$
- 5) $\text{H}_2\text{SiF}_6 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiF}_6 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 6) $3\text{Na}_2\text{SiF}_6 + 4\text{Al} \xrightarrow{700^\circ\text{C}} 3\text{Si} + 2\text{Na}_3\text{AlF}_6 + 2\text{AlF}_3$
- 7) $\text{Si} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\uparrow$
- 8) $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{HCl(p-p)} + (x-1)\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}\downarrow + 2\text{NaCl}$

Ответ: **X**₁ – SiH₄, **X**₂ – SiF₄, **X**₃ – H₂SiF₆, **X**₄ – Na₂SiF₆, **X**₅ – Si.

4.2. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества **X** содержат свинец.

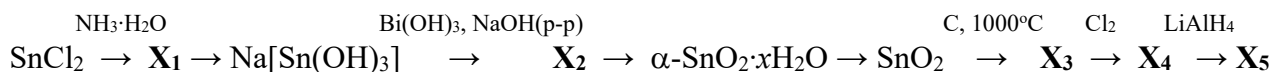


Решение. Уравнения возможных реакций:

- 1) $2\text{Pb(NO}_3)_2 + 3(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{NH}_4\text{HCO}_3 + 4\text{NH}_4\text{NO}_3$
- 2) $\text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 2\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{PbS} + \text{CO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{PbS} + 4\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{PbSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{PbSO}_4 + 4\text{NaOH(конц, изб)} \rightarrow \text{Na}_2[\text{Pb(OH)}_4] + \text{Na}_2\text{SO}_4$
- 5) $\text{Na}_2[\text{Pb(OH)}_4] + 4\text{HNO}_3(\text{изб}) \rightarrow \text{Pb(NO}_3)_2 + 2\text{NaNO}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{Pb(NO}_3)_2(\text{p-p}) + \text{Zn} \rightarrow \text{Zn(NO}_3)_2(\text{p-p}) + \text{Pb}$
- 7) $\text{Pb} + 2\text{CH}_3\text{COOH} + 0.5\text{O}_2 \rightarrow \text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 8) $\text{Pb(CH}_3\text{COO)}_2 + \text{NaOCl} + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{PbO}_2\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COONa} + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$

Ответ: $X_1 - \text{PbS}$, $X_2 - \text{PbSO}_4$, $X_3 - \text{Na}_2[\text{Pb}(\text{OH})_4]$, $X_4 - \text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $X_5 - \text{PbO}_2$.

4.3. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества X содержат олово.

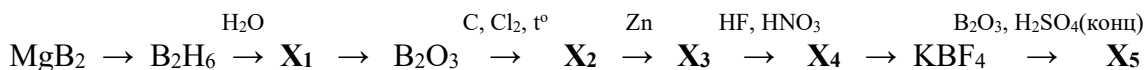


Решение. Уравнения возможных реакций:

- 1) $\text{SnCl}_2 + 2\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Sn}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl}$ (или $\text{Sn}_6\text{O}_4(\text{OH})_4$)
- 2) $\text{Sn}(\text{OH})_2 + \text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{Na}[\text{Sn}(\text{OH})_3]$
- 3) $3\text{Na}[\text{Sn}(\text{OH})_3] + 2\text{Bi}(\text{OH})_3 + 3\text{NaOH} \rightarrow 2\text{Bi} + 3\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$
- 4) $\text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6] + \text{CO}_2 + (x-3)\text{H}_2\text{O} \rightarrow \alpha\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{CO}_3$
- 5) $\alpha\text{-SnO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t} \text{SnO}_2 + x\text{H}_2\text{O}$
- 6) $\text{SnO}_2 + 2\text{C} \xrightarrow{1000^\circ\text{C}} \text{Sn} + 2\text{CO}$
- 7) $\text{Sn} + 2\text{Cl}_2 \rightarrow \text{SnCl}_4$
- 8) $\text{SnCl}_4 + \text{LiAlH}_4 \rightarrow \text{SnH}_4 + \text{LiCl} + \text{AlCl}_3$

Ответ: $X_1 - \text{Sn}(\text{OH})_2$, $X_2 - \text{Na}_2[\text{Sn}(\text{OH})_6]$, $X_3 - \text{Sn}$, $X_4 - \text{SnCl}_4$, $X_5 - \text{SnH}_4$.

4.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, укажите условия их проведения. Все вещества X содержат бор.



Решение. Уравнения возможных реакций:

- 1) $\text{MgB}_2 + 2\text{Mg} + 6\text{HCl} \rightarrow \text{B}_2\text{H}_6\uparrow + 3\text{MgCl}_2$
- 2) $\text{B}_2\text{H}_6 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{BO}_3 + 6\text{H}_2$
- 3) $2\text{H}_3\text{BO}_3 \xrightarrow{t} \text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{B}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{t} 2\text{BCl}_3 + 3\text{CO}$
- 5) $2\text{BCl}_3 + 3\text{Zn} \rightarrow 2\text{B} + 3\text{ZnCl}_2$
- 6) $\text{B} + \text{HNO}_3 + 4\text{HF} \rightarrow \text{HBF}_4 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 7) $\text{HBF}_4 + \text{KOH} \rightarrow \text{KBF}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 8) $6\text{KBF}_4 + \text{B}_2\text{O}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) \rightarrow 8\text{BF}_3 + 6\text{KHSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$

Ответ: $X_1 - \text{H}_3\text{BO}_3$, $X_2 - \text{BCl}_3$, $X_3 - \text{B}$, $X_4 - \text{HBF}_4$, $X_5 - \text{BF}_3$.

Система оценивания единая для всех вариантов:

8 реакций по 2 балла за каждую (всего $8 \cdot 2 = 16$ баллов)

Задача 5 (15 баллов)

5.1. В реактор поместили 3 моль газа **A** и 1 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции $A + B = 2C$ образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 2 моль газа **B** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **B**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

Решение. Пусть в реакции $A + B = 2C$ образовалось x моль газа **C**, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов **A** и **B**. Следовательно, равновесные количества газов **A** и **B** равны $(3 - 0.5x)$ и $(1 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(3 - 0.5x) \cdot (1 - 0.5x)}.$$

После добавления газа **B** количество газа **C** стало равно $2x$, а равновесные количества газов **A** и **B** стали равны $(3 - x)$ и $(3 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(3 - x) \cdot (3 - x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(3 - 0.5x) \cdot (1 - 0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(3 - x) \cdot (3 - x)}.$$

Отсюда $x = 1.5$. Следовательно, количество образовавшегося газа **C** равно 1.5 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(3 - x) \cdot (3 - x)} = \frac{3^2}{(3 - 1.5) \cdot (3 - 1.5)} = 4.$$

Ответ: $x = 1.5$ моль, $K_P = 4$.

5.2. В реактор поместили 2 моль газа **A** и 5 моль газа **B**. После установления равновесия в реакции $A + B = 2C$ образовалось некоторое количество газа **C**. После добавления к смеси ещё 3 моль газа **A** при постоянной температуре равновесное количество газа **C** увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа **C** (до добавления газа **A**) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

Решение. Пусть в реакции $A + B = 2C$ образовалось x моль газа **C**, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов **A** и **B**. Следовательно, равновесные количества газов **A** и **B** равны $(2 - 0.5x)$ и $(5 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(2 - 0.5x) \cdot (5 - 0.5x)}.$$

После добавления газа **A** количество газа **C** стало равно $2x$, а равновесные количества газов **A** и **B** стали равны $(5 - x)$ и $(5 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (5 - x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(2 - 0.5x) \cdot (5 - 0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (5 - x)}.$$

Отсюда $x = 3.75$. Следовательно, количество образовавшегося газа С равно 3.75 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (5 - x)} = \frac{7.5^2}{(5 - 3.75) \cdot (5 - 3.75)} = 36.$$

Ответ: $x = 3.75$ моль, $K_P = 36$.

5.3. В реактор поместили 5 моль газа А и 1 моль газа В. После установления равновесия в реакции $A + B = 2C$ образовалось некоторое количество газа С. После добавления к смеси ещё 2 моль газа В при постоянной температуре равновесное количество газа С увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа С (до добавления газа В) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

Решение. Пусть в реакции $A + B = 2C$ образовалось x моль газа С, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов А и В. Следовательно, равновесные количества газов А и В равны $(5 - 0.5x)$ и $(1 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(5 - 0.5x) \cdot (1 - 0.5x)}.$$

После добавления газа А количество газа С стало равно $2x$, а равновесные количества газов А и В стали равны $(5 - x)$ и $(3 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (3 - x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(5 - 0.5x) \cdot (1 - 0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (3 - x)}.$$

Отсюда $x = 1.25$. Следовательно, количество образовавшегося газа С равно 1.25 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_P = \frac{(2x)^2}{(5 - x) \cdot (3 - x)} = \frac{2.5^2}{(5 - 1.25) \cdot (3 - 1.25)} = 0.95.$$

Ответ: $x = 1.25$ моль, $K_P = 0.95$.

5.4. В реактор поместили 1 моль газа А и 4 моль газа В. После установления равновесия в реакции $A + B = 2C$ образовалось некоторое количество газа С. После добавления к смеси ещё 2 моль газа А при постоянной температуре равновесное количество газа С увеличилось в 2 раза. Рассчитайте количество образовавшегося газа С (до добавления газа А) и константу равновесия реакции K_P (выраженную через парциальные давления).

Решение. Пусть в реакции $A + B = 2C$ образовалось x моль газа С, тогда прореагировало по $0.5x$ моль газов А и В. Следовательно, равновесные количества газов А и В равны $(1 - 0.5x)$ и $(4 - 0.5x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_P = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{x^2}{(1 - 0.5x) \cdot (4 - 0.5x)}.$$

После добавления газа А количество газа С стало равно $2x$, а равновесные количества газов А и В стали равны $(3 - x)$ и $(4 - x)$ моль. Константа равновесия реакции, выраженная через парциальные давления газов, равна

$$K_p = \frac{P_C^2}{P_A \cdot P_B} = \frac{n_C^2}{n_A \cdot n_B} = \frac{(2x)^2}{(3-x) \cdot (4-x)}.$$

Поскольку температура оставалась постоянной, константа равновесия не изменилась. Тогда

$$\frac{x^2}{(1-0.5x) \cdot (4-0.5x)} = \frac{(2x)^2}{(3-x) \cdot (4-x)}.$$

Отсюда $x = 1.33$. Следовательно, количество образовавшегося газа С равно 1.33 моль. Константа равновесия реакции равна

$$K_p = \frac{(2x)^2}{(3-x) \cdot (4-x)} = \frac{2.67^2}{(3-1.33) \cdot (3-1.33)} = 1.6.$$

Ответ: $x = 1.33$ моль, $K_p = 1.6$.

Система оценивания единая для всех вариантов:

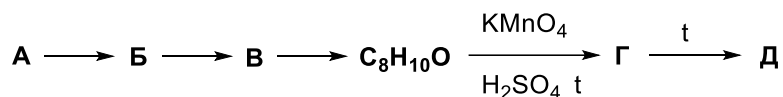
Верная запись выражения для константы равновесия в общем виде с подставленными равновесными значениями – 5 баллов (если записаны только равновесные количества/концентрации/давления участников реакции – 2 балла).

По 5 баллов за правильные значения количества вещества или константы равновесия.

Итого $5 + 5 + 5 = 15$ баллов.

Задача 6 (14 баллов)

6.1. Неизвестный углеводород А, содержащий 11.76% водорода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили углеводород В, содержащий 9.1% водорода по массе. Углеводород В может прореагировать с акролеином, образуя продукт состава $C_8H_{10}O$, который реагирует с избытком подкисленного раствора перманганата калия при нагревании. Рассчитайте потерю массы веществом Г при нагревании до $200^\circ C$. Предложите строение соединений А – Д и напишите уравнения всех протекающих реакций.

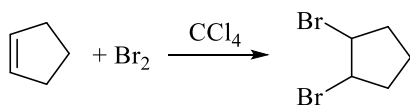


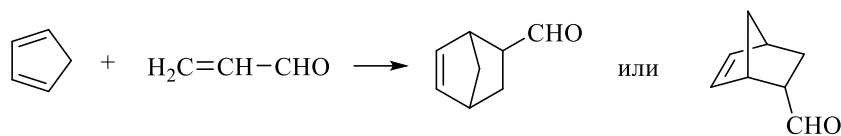
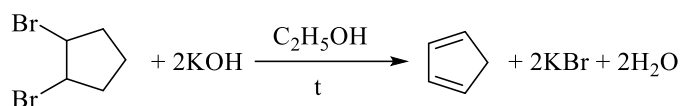
Решение. Определим углеводород А:

$$C_xH_y, \quad x : y = \frac{88.24}{12} : \frac{11.76}{1} = 7.353 : 11.76 = 5 : 8$$

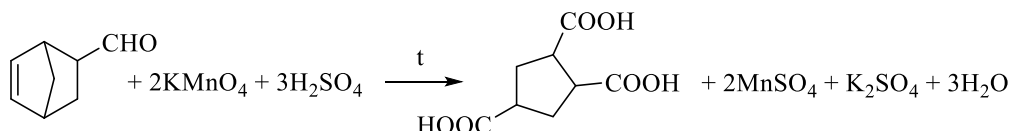
Углеводород А – C_5H_8 , что соответствует алкину, диену или циклоалкenu. Поскольку углеводород В вступает в реакцию с акролеином с образованием продукта состава $C_8H_{10}O$, то можно предположить, что углеводород В имеет состав C_5H_6 , что является сопряжённым диеном – цикlopentadiеном. Проверим состав В:

$$C_xH_y, \quad x : y = \frac{90.9}{12} : \frac{9.1}{1} = 7.575 : 9.1 = 5 : 6$$

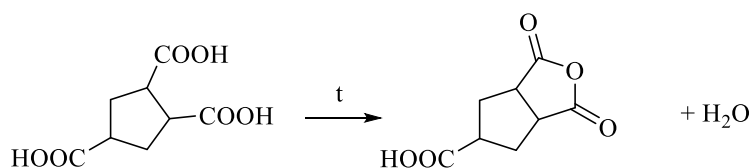




Окисление продукта $\text{C}_8\text{H}_{10}\text{O}$:

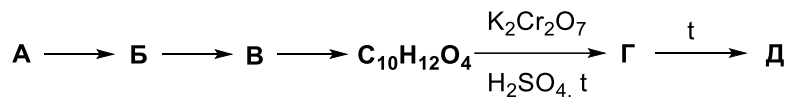


Нагревание вещества Г:



Потеря массы при нагревании составляет $18 / 202 = 0.0891$ (8.91%).

6.2. Неизвестный углеводород **A**, содержащий 87.8% углерода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили углеводород **B**, содержащий 90.0% углерода по массе. Углеводород **B** может прореагировать с малеиновой кислотой, образуя продукт состава $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$, который реагирует с избытком подкисленного раствора дихромата калия при нагревании. Рассчитайте потерю массы веществом **Г** при нагревании до 200 °С. Предложите строение соединений **A** – **Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.

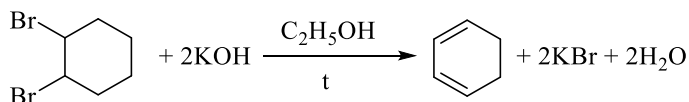
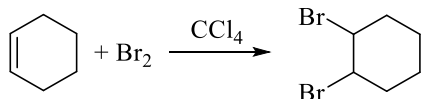


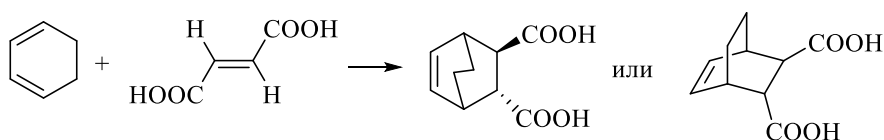
Решение. Определим углеводород **A**:

$$\text{C}_x\text{H}_y, \quad x : y = \frac{87.8}{12} : \frac{12.2}{1} = 7.3167 : 12.2 = 3 : 5 = 6 : 10$$

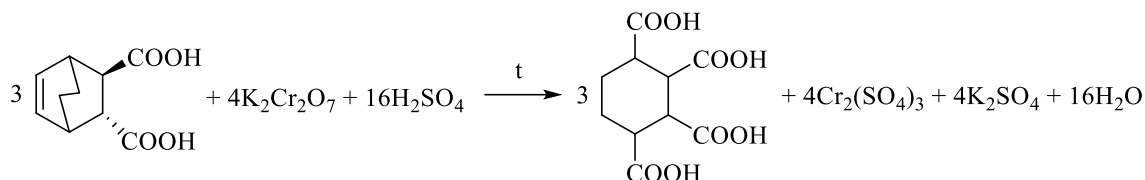
Углеводород **A** – C_6H_{10} , что соответствует алкину, диену или циклоалкену. Поскольку углеводород **B** вступает в реакцию с малеиновой кислотой с образованием продукта состава $\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{O}_4$, то можно предположить, что углеводород **B** имеет состав C_6H_8 , что является сопряжённым диеном – циклогексадиеном. Проверим состав **B**:

$$\text{C}_x\text{H}_y, \quad x : y = \frac{90.0}{12} : \frac{10.0}{1} = 7.5 : 10.0 = 3 : 4 = 6 : 8$$

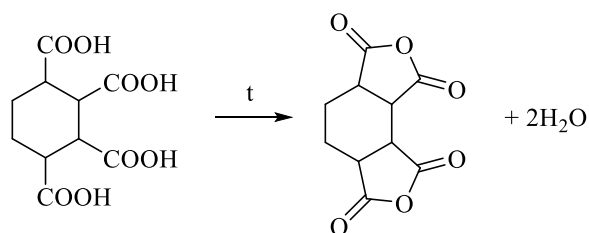




Окисление продукта C₁₀H₁₂O₄:



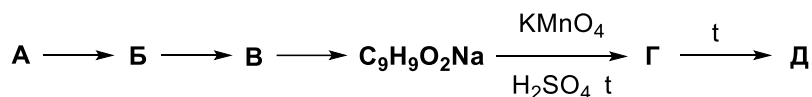
Нагревание вещества Г:



Потеря массы веществом Г при нагревании составляет $18 \cdot 2 / 260 = 0.1385$ (13.85%).

6.3. Неизвестный углеводород **А**, содержащий 15.79% водорода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили кетон **В**, который обработали избытком брома в щёлочи и получили натриевую соль 2,5-диметилбензойной кислоты. Нагревание соли с избытком подкисленного раствора перманганата калия приводит к соединению Г. Рассчитайте потерю массы веществом Г при нагревании до 200 °С. Предложите строение соединений

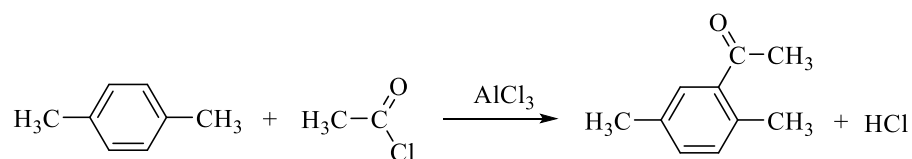
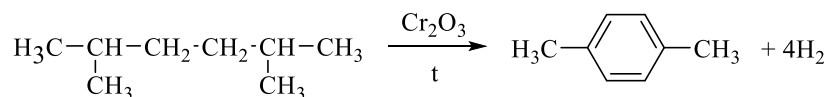
А – Д и напишите уравнения всех протекающих реакций.

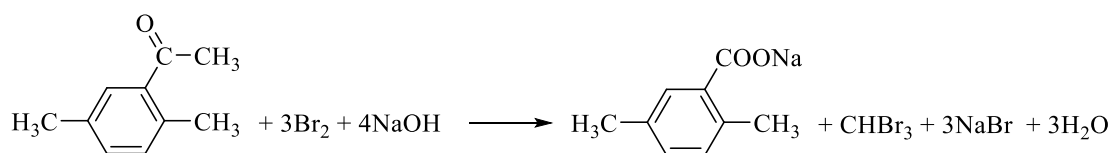


Решение. Определим углеводород **А**:

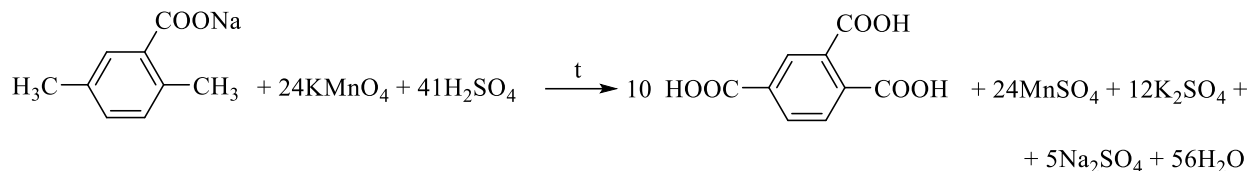
$$\text{C}_x\text{H}_y, \quad x : y = \frac{84.21}{12} : \frac{15.79}{1} = 7.0175 : 15.79 = 4 : 9 = 8 : 18$$

Неизвестный углеводород **А** – это C₈H₁₈. Поскольку из кетона **В** была получена натриевая соль 2,5-диметилбензойной кислоты, то **А** – 2,5-диметилгексан:

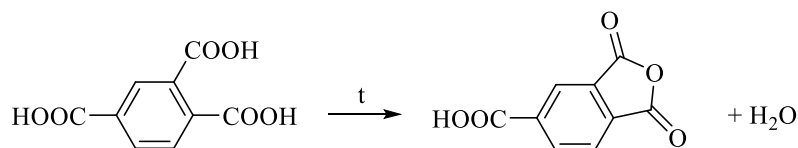




Окисление соли 2,5-диметилбензойной кислоты:

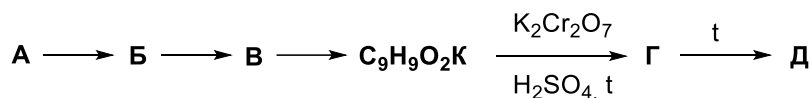


Нагревание вещества Г:



Потеря массы веществом Г при нагревании составляет $18 / 210 = 0.0857$ (8.57%).

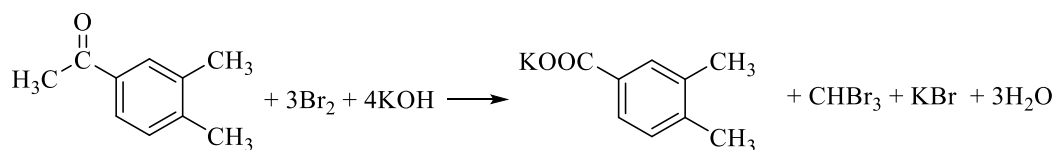
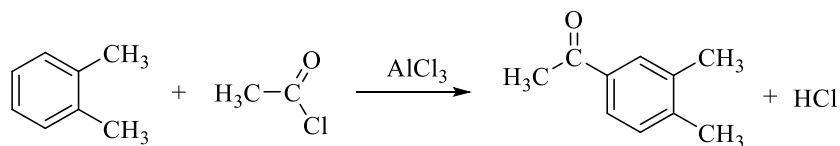
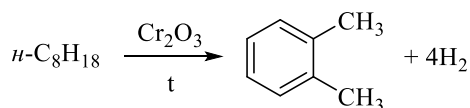
6.4. Неизвестный углеводород **А**, содержащий 84.21% углерода по массе, ввели в следующую последовательность превращений и получили кетон **В**, который обработали избытком брома в щёлочи и получили калиевую соль 3,4-диметилбензойной кислоты. Нагревание соли с избытком подкисленного раствора дихромата калия приводит к соединению Г. Рассчитайте потерю массы веществом Г при нагревании до 200 °С. Предложите строение соединений **А – Д** и напишите уравнения всех протекающих реакций.



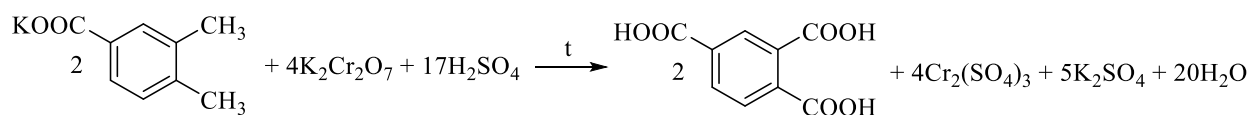
Решение. Определим углеводород **А**:

$$\text{C}_x\text{H}_y, \quad x : y = \frac{84.21}{12} : \frac{15.79}{1} = 7.0175 : 15.79 = 4 : 9 = 8 : 18$$

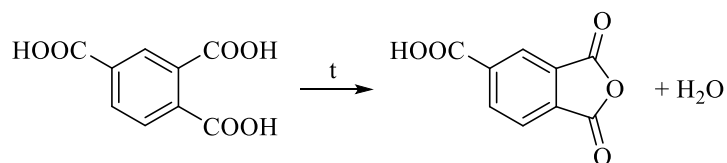
Углеводород **А** – это C_8H_{18} . Поскольку из кетона **В** была получена калиевая соль 3,4-диметилбензойной кислоты, то **А** – *n*-октан или 3,4-диметилгексан:



Окисление соли 3,4-диметилбензойной кислоты:



Нагревание вещества Г:



Потеря массы веществом Г при нагревании составляет $18 / 210 = 0.0857$ (8.57%).

Система оценивания единая для всех вариантов:

5 реакций по 2 балла, расчет и установление вещества А – 2 балла, расчет для вещества В – 1 балл, расчет потери массы веществом Г – 1 балл.

Всего $5 \cdot 2 + 2 + 1 + 1 = 15$ баллов.

Задача 7 (15 баллов)

7.1. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.03 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 8.2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.12 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

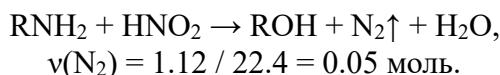
Решение. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

$$\text{трипептид А: } v(\text{NaOH}) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04 \text{ моль,}$$

$$\text{тетрапептид В: } v(\text{NaOH}) = \frac{8.2 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.05 \text{ моль.}$$

Из соотношения количеств щелочи (4 : 5) можно предположить, что каждый из пептидов содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:



Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать два остатка лизина, а тетрапептид – один остаток лизина.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

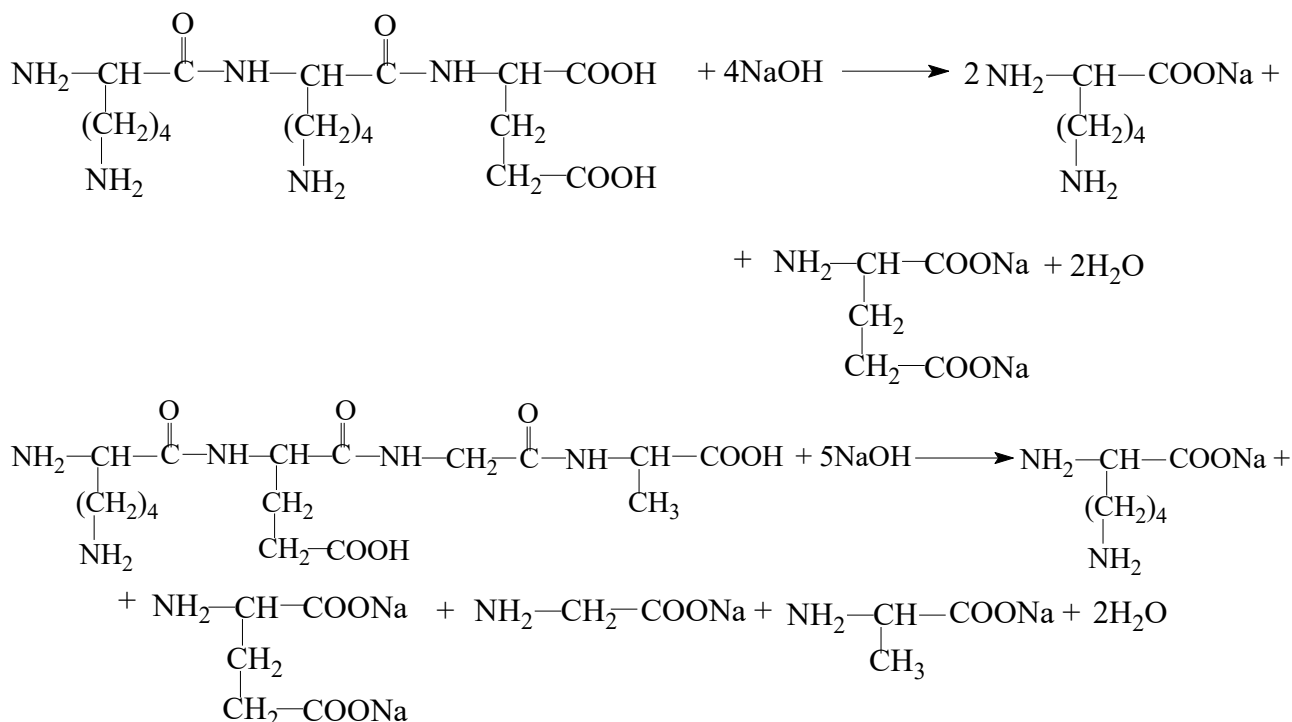
$$M = 4.03 / 0.01 = 403 \text{ г/моль.}$$

Для **А** подходит вариант лизин-лизин-глутаминовая кислота:

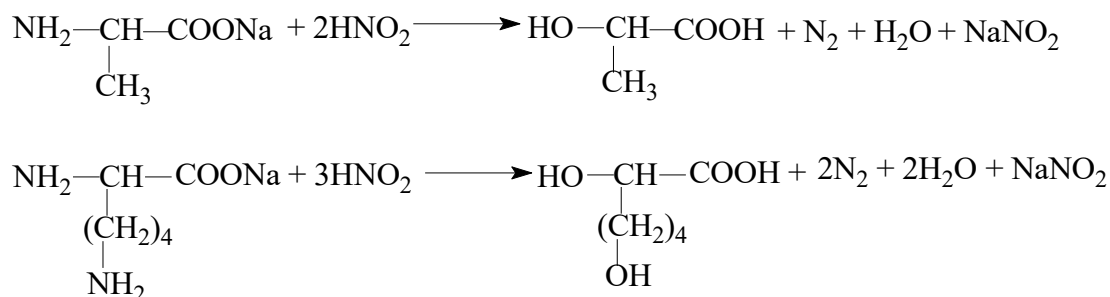
$$146 + 146 + 147 - 18 \cdot 2 = 403 \text{ г/моль.}$$

В содержит остаток лизина и остаток глутаминовой кислоты (или тирозина). Суммарная масса четырех аминокислот составляет $403 + 18 \cdot 3 = 457 \text{ г/моль}$. За вычетом лизина и глутаминовой кислоты остается $457 - 146 - 147 = 164 \text{ г/моль}$, это суммарная масса двух легких аминокислот. Подходят глицин и аланин ($75 + 89 = 164$). Отсюда **В** – это лизин-глутаминовая кислота-глицин-аланин.

Гидролиз пептидов:



Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:



Ответ: **А** – лизин-лизин-глутаминовая кислота, **В** – лизин-глутаминовая кислота-глицин-аланин.

7.2. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.56 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 8.2 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (0.896 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

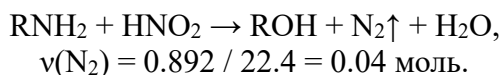
Решение. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

$$\text{трипептид А: } v(\text{NaOH}) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04 \text{ моль,}$$

$$\text{тетрапептид В: } v(\text{NaOH}) = \frac{8.2 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.05 \text{ моль.}$$

Из соотношения количеств щелочи (4 : 5) можно предположить, что каждый из пептидов содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:



Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать один остаток лизина, а тетрапептид его не содержит.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

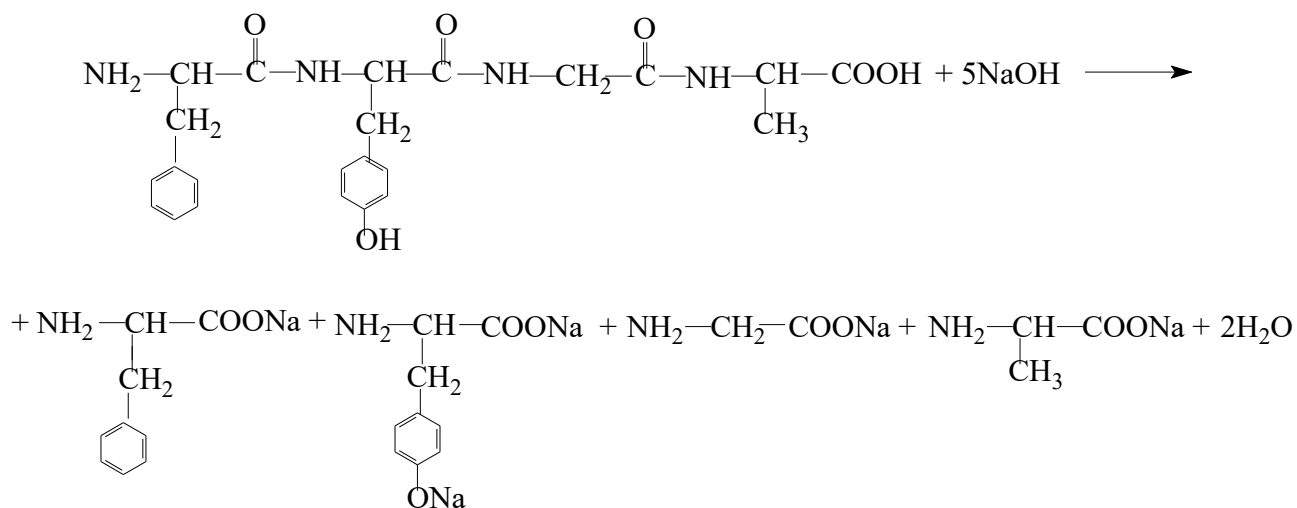
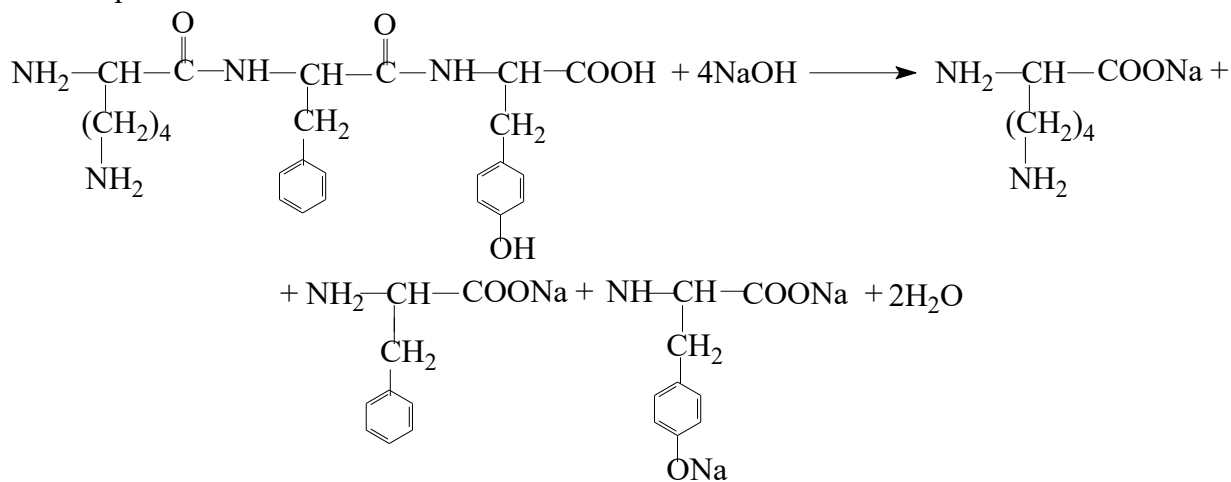
$$M = 4.56 / 0.01 = 456 \text{ г/моль}.$$

Для **A** подходит вариант лизин-фенилаланин-тирозин:

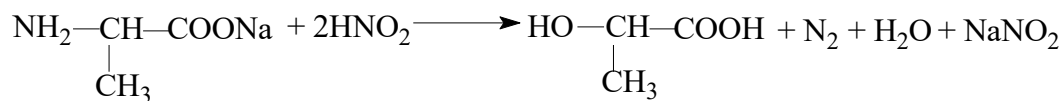
$$146 + 165 + 181 - 18 \cdot 2 = 456 \text{ г/моль}.$$

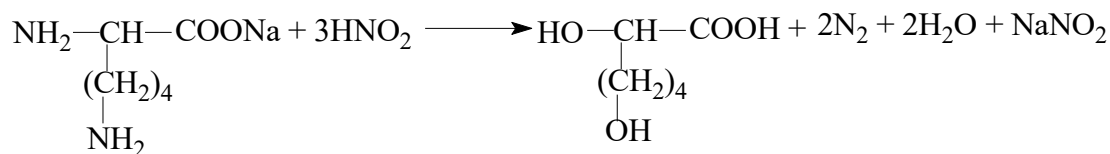
B содержит остаток глутаминовой кислоты (или тирозина) и не содержит лизин. Суммарная масса четырех аминокислот составляет $456 + 18 \cdot 3 = 510 \text{ г/моль}$. **B** – фенилаланин-тирозин-глицин-аланин.

Гидролиз пептидов:



Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:





Ответ: **А** – лизин-фенилаланин-тирозин, **В** – фенилаланин-тирозин-глицин-аланин.

7.3. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 8.8 г пептида **А** потребовалось 9.84 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), а гидролиз образца пептида **В** такой же массы потребовал 13.12 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.792 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

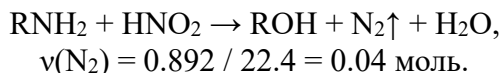
Решение. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

$$\text{трипептид А: } v(\text{NaOH}) = \frac{9.84 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.06 \text{ моль,}$$

$$\text{тетрапептид В: } v(\text{NaOH}) = \frac{13.12 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.08 \text{ моль.}$$

Из соотношения количеств щелочи (3 : 4) можно заключить, что пептиды не содержат аминокислот с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:



Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать один остаток лизина, а тетрапептид его не содержит.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

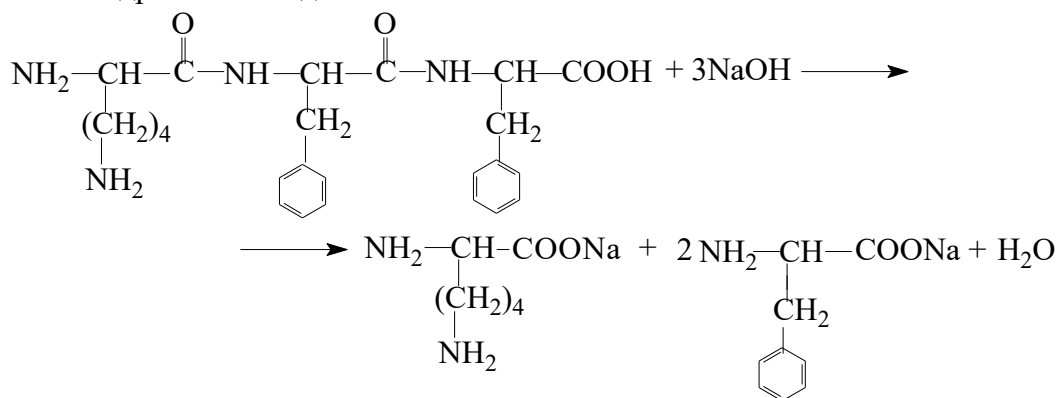
$$M = 8.8 / 0.02 = 440 \text{ г/моль.}$$

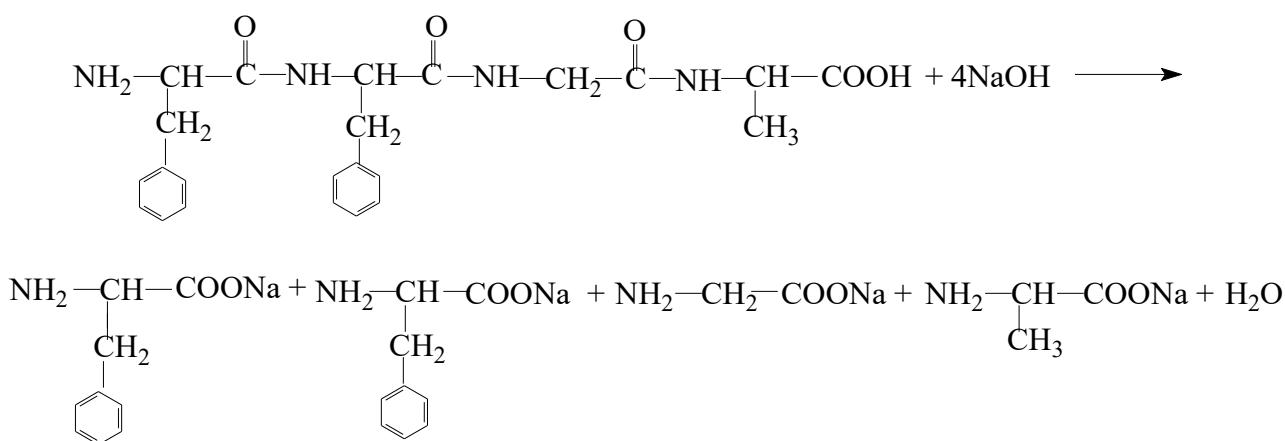
Для **А** подходит вариант лизин-фенилаланин-фенилаланин:

$$146 + 165 + 165 - 18 \cdot 2 = 440 \text{ г/моль.}$$

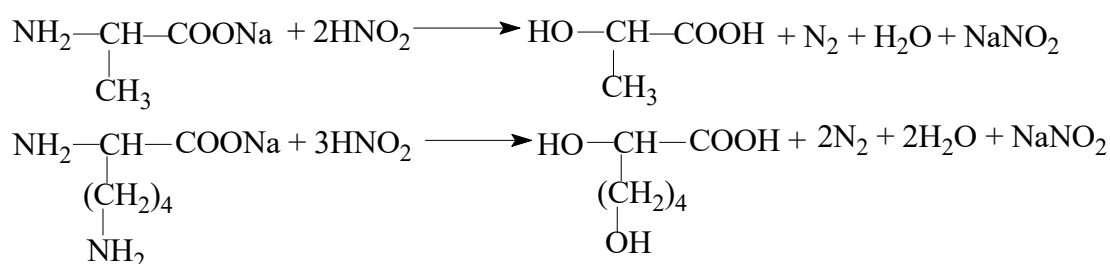
В не содержит остаток глутаминовой кислоты (или тирозина) и лизина. Суммарная масса четырех аминокислот составляет $440 + 18 \cdot 3 = 494 \text{ г/моль}$. **В** – фенилаланин-фенилаланин-глицин-аланин.

Гидролиз пептидов:





Реакция с азотистой кислотой приведена для солей аланина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции аланина:



Ответ: **А** – лизин-фенилаланин-фенилаланин, **В** – фенилаланин-фенилаланин-глицин-аланин.

7.4. Трипептид **А** и тетрапептид **В**, образованные природными аминокислотами, имеют одинаковую молярную массу. Для гидролиза 4.37 г пептида **А** потребовалось 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл), гидролиз образца пептида **В** такой же массы также потребовал 6.56 мл 20%-го раствора гидроксида натрия (плотность 1.22 г/мл). При обработке продуктов гидролиза **А** и **В** избытком азотистой кислоты выделился одинаковый объём газа (1.12 л при н. у.). Установите аминокислотный состав **А** и **В**, напишите уравнения протекающих реакций.

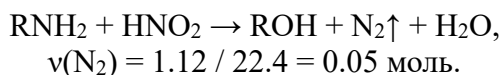
Решение. Определим количества щелочи, затраченной на гидролиз каждого из пептидов:

$$\text{трипептид А: } v(\text{NaOH}) = \frac{6.56 \cdot 1.22 \cdot 0.2}{40} = 0.04 \text{ моль,}$$

$$\text{тетрапептид В: } v(\text{NaOH}) = 0.04 \text{ моль.}$$

Из соотношения количеств щелочи (4 : 4) можно предположить, что трипептид содержит одну аминокислоту с дополнительной кислотной группой (например, глутаминовую кислоту или тирозин).

Реакция продуктов гидролиза с азотистой кислотой показывает количество аминогрупп в аминокислотах:



Сопоставление с количествами щелочи, затраченной на гидролиз, показывает, что трипептид должен содержать два остатка лизина, а тетрапептид – один остаток лизина.

Молярная масса, одинаковая для пептидов, составляет

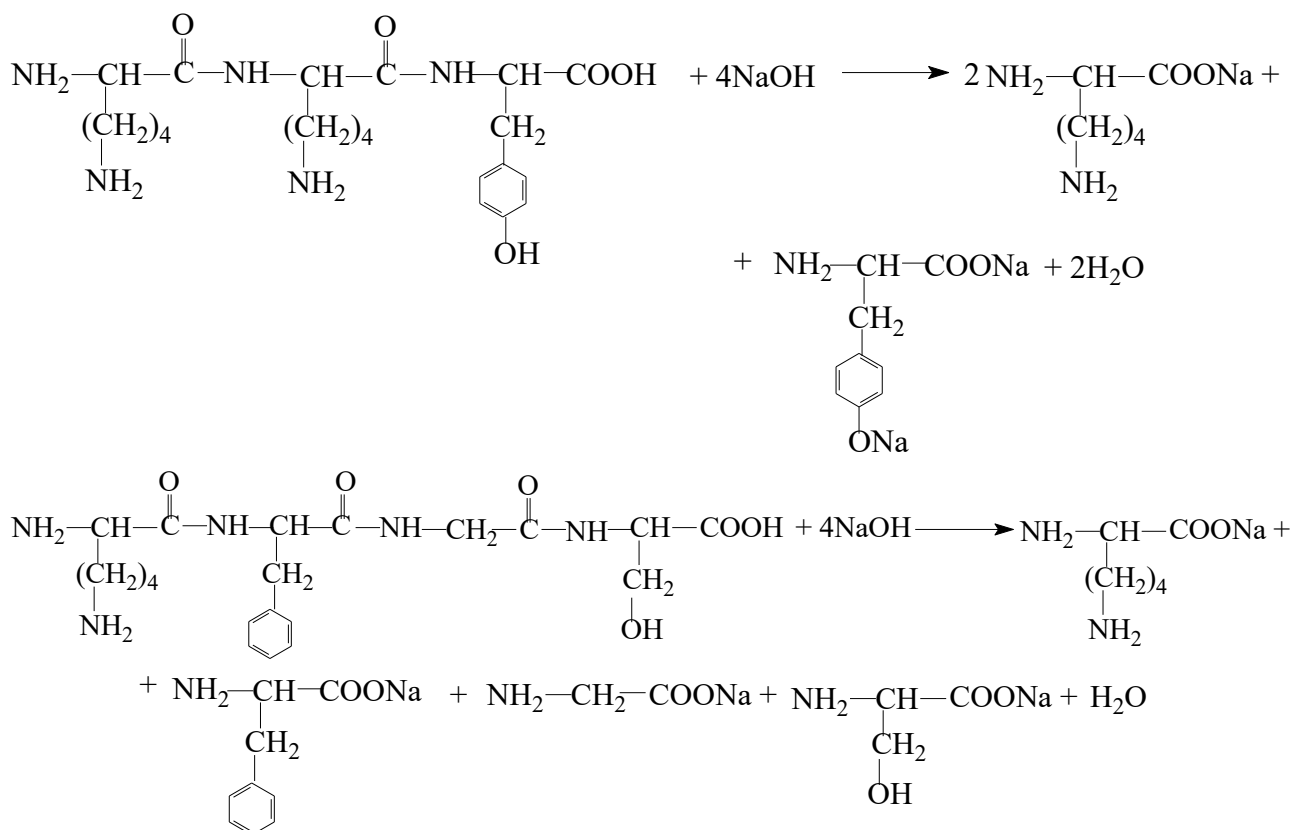
$$M = 4.37 / 0.01 = 437 \text{ г/моль.}$$

Для **А** подходит вариант лизин-лизин-тирозин:

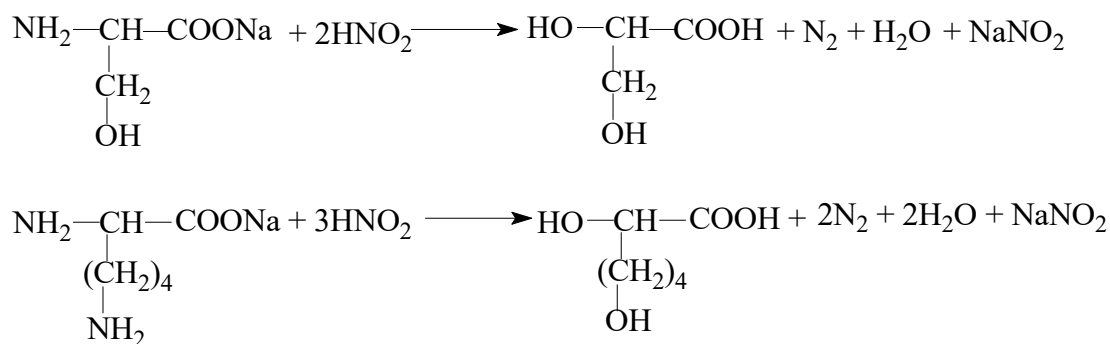
$$146 + 146 + 181 - 18 \cdot 2 = 437 \text{ г/моль.}$$

В содержит остаток лизина и не содержит остатков глутаминовой кислоты или тирозина. Суммарная масса четырех аминокислот составляет $437 + 18 \cdot 3 = 491$ г/моль. За вычетом лизина $491 - 146 = 345$ г/моль, это суммарная масса трех аминокислот. Подходят фенилаланин, глицин и серин. Отсюда **В** – это лизин-фенилаланин-глицин-серин.

Гидролиз пептидов:



Реакция с азотистой кислотой приведена для солей серина и лизина. Для солей других аминокислот реакция протекает аналогично реакции серина:



Ответ: **А** – лизин-лизин-тирозин, **В** – лизин-фенилаланин-глицин-серин.

Система оценивания единая для всех вариантов:

Количества щелочи для гидролиза А и В – по 1 баллу.

Вывод о наличии/отсутствии дополнительных кислотных групп у пептидов – 2 балла.

Расчет количества выделившегося азота – 2 балла.

Молярная масса А и В – 1 балл.

Аминокислотные составы А и В – по 2 балла.

Реакции гидролиза А и В – по 1 баллу.

Реакции с азотистой кислотой лизина – 1 балл, прочих аминокислот – в сумме 1 балл.

Всего $1 + 1 + 2 + 2 + 1 + 2 \cdot 2 + 2 \cdot 1 + 1 + 1 = 15$ баллов.

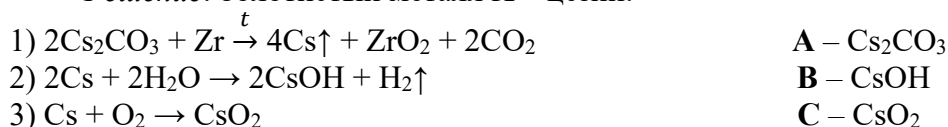
Задача 8 (16 баллов)

8.1. Металл золотистого цвета **X** получен прокаливанием в вакууме белых кристаллов соли **A** с цирконием. Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **C**, содержащего 19.4 масс% кислорода. Вещество **C** при действии углекислого газа снова превращается в **A**.

Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием розового раствора соли **D**. Добавление к этому раствору разбавленного раствора вещества **B** приводит к образованию розового осадка **E**. При охлаждении раствора соли **D** образуется ее кристаллогидрат **D'**, содержащий 9.6 масс% азота. Прокаливание кристаллогидрата **D'** дает черное вещество **F** (массовая доля металла **Y** в **F** – 73.4%). При действии на **F** избытка концентрированной соляной кислоты выделяется газ и образуется синий раствор комплексного соединения **G**. Разбавление раствора **G** водой и последующее его охлаждение приводит к выпадению красных кристаллов гексагидрата соли **H**. Нагреванием гексагидрата соли **H** с хлористым тионилем SOCl_2 можно получить безводную соль **H**, имеющую голубую окраску.

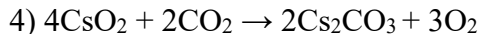
Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **H**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение. Золотистый металл **X** – цезий.

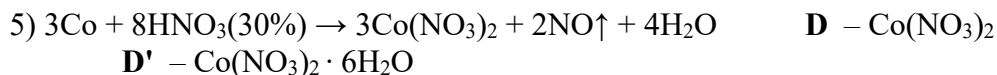


Содержание кислорода в надпероксиде CsO_2 соответствует условию:

$$\omega(\text{O}) = 32 / 165 = 0.194 \text{ (19.4\%).}$$



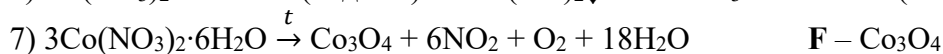
Металл **Y** – кобальт.



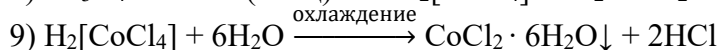
Массовая доля азота в $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$ по условию:

$$\omega(\text{N}) = 14 \cdot 2 / (183 + 18x) = 0.096,$$

отсюда $x = 6$.



$$\omega(\text{Co в } \text{Co}_3\text{O}_4) = 177 / 241 = 0.734 \text{ (73.4\%).}$$



Ответ: **X** – цезий, **Y** – кобальт; **A** – Cs_2CO_3 , **B** – CsOH , **C** – CsO_2 , **D** – $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$, **D'** – $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, **E** – $\text{Co}(\text{OH})_2$, **F** – Co_3O_4 , **G** – $\text{H}_2[\text{CoCl}_4]$, **H** – CoCl_2 .

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (O, N, Co) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.

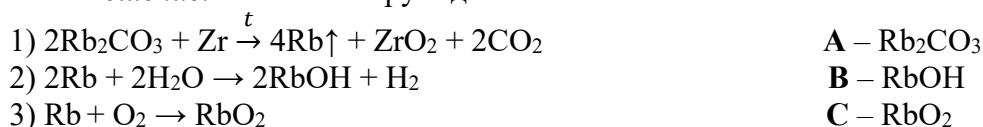
Всего $3 \cdot 1 + 7 \cdot 1 + 3 \cdot 2 = 16$ баллов.

8.2. Металл серебристого цвета **X** получен прокаливанием в вакууме белых кристаллов соли **A** с цирконием. Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя желтые кристаллы вещества **C**, содержащего 72.6 масс% металла **X**. Вещество **C** при действии углекислого газа снова превращается в **A**.

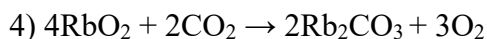
Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием бледно-желтого раствора соли **D**. При взаимодействии растворов солей **A** и **D** выпадает бурый осадок **E**. При охлаждении раствора соли **D** образуется ее кристаллогидрат **D'**, содержащий 10.4 масс% азота. При прокаливании **D'** получается красно-коричневое вещество **F** (массовая доля металла **Y** в **F** – 70.0%). Сплавление **F** с солью **A** приводит к образованию соединения **G**, взаимодействие которого с хлором в присутствии раствора соединения **B** приводит к образованию красно-малинового раствора вещества **H**. При добавлении азотной кислоты к раствору вещества **H** снова образуется соль **D**.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A** – **H**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение. Металл **X** – рубидий.



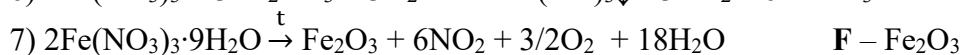
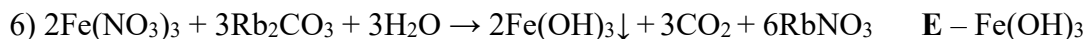
$$\omega(\text{Rb в RbO}_2) = 85 / 117 = 0.726 \text{ (72.6\%).}$$



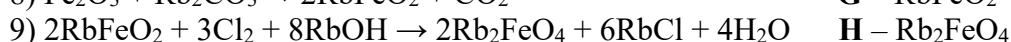
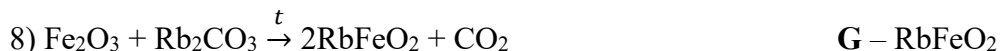
Металл **Y** – железо.



$$\omega(\text{N в Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 14 \cdot 3 / (242 + 18x) = 0.104, x = 9$$



$$\omega(\text{Fe в Fe}_2\text{O}_3) = 56 \cdot 2 / 160 = 0.70 \text{ (70.0\%)}$$



Ответ: **X** – рубидий, **Y** – железо, **A** – Rb_2CO_3 , **B** – RbOH , **C** – RbO_2 , **D** – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$, **D'** – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, **E** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, **F** – Fe_2O_3 , **G** – RbFeO_2 , **H** – Rb_2FeO_4 .

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (**Rb**, **N**, **Fe**) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла. Всего $3 \cdot 1 + 7 \cdot 1 + 3 \cdot 2 = 16$ баллов.

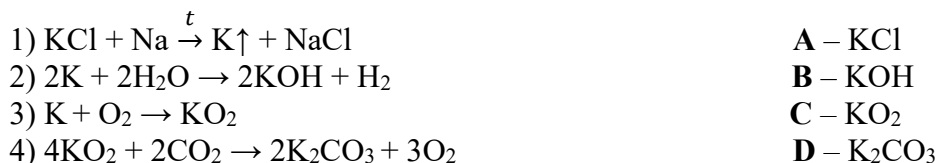
8.3. Металл серебристо-белого цвета **X** получен действием паров натрия на белые кристаллы соли **A** (в инертной атмосфере). Металл **X** взаимодействует с водой с образованием соединения **B**, а также легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **C**. Вещество **C** при действии углекислого газа превращается в соль **D**, содержащую 8.7 масс% углерода. При растворении в соляной кислоте соли **D** снова образуется соль **A**.

Металл **Y** растворяется в 30%-ной азотной кислоте с образованием неокрашенного раствора соли **E**. При охлаждении раствора соли **E** выпадает ее кристаллогидрат **E'**, имеющий слабо-розовую окраску и содержащий 19.2 масс% металла **Y**. При нагревании

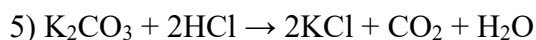
кристаллогидрата **Е'** до 200°C образуется черно-коричневое вещество **Г** (массовая доля металла **У** в **Г** – 63.2%). Сплавление **Г** с соединением **В** в присутствии кислорода приводит к образованию соединения **Г**, имеющего темно-зеленую окраску. Взаимодействие **Г** с раствором хлорида аммония приводит к образованию осадка и яркоокрашенного раствора соли **Н**. При нагревании раствора соли **Н** с концентрированным раствором **В** снова образуется соединение **Г**.

Определите металлы **Х** и **У**. Установите состав соединений **А** – **Н**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

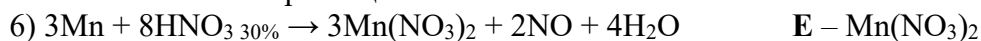
Решение. Металл **Х** – калий.



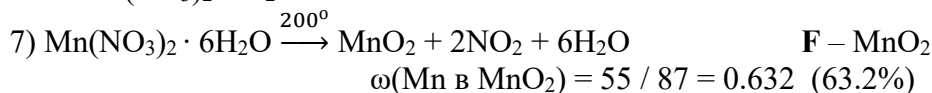
$$\omega(\text{C в K}_2\text{CO}_3) = 12 / 138 = 0.087 \quad (8.7\%)$$



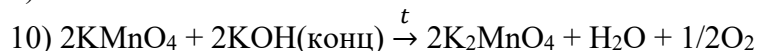
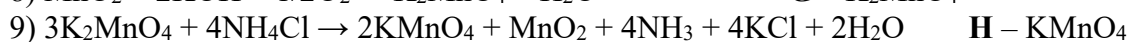
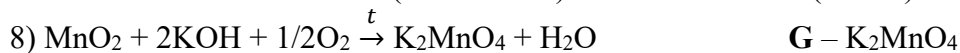
Металл **У** – марганец.



$$\omega(\text{Mn в Mn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 55 / (179 + 18x) = 0.192, x = 6$$



$$\omega(\text{Mn в MnO}_2) = 55 / 87 = 0.632 \quad (63.2\%)$$



Ответ: **Х** – калий, **У** – марганец; **А** – KCl, **В** – KOH, **С** – KO₂, **Д** – K₂CO₃, **Е** – Mn(NO₃)₂, **Е'** – Mn(NO₃)₂ · 6H₂O, **Г** – MnO₂, **Г** – K₂MnO₄, **Н** – KMnO₄.

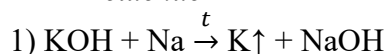
Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (**С**, **Мн**, **Мн**) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла. Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.

8.4. Металл серебристо-белого цвета **Х** получен действием паров натрия на вещество **А** (в инертной атмосфере). Металл **Х** легко окисляется кислородом воздуха, образуя оранжево-желтые кристаллы вещества **В**, содержащего 45.1 масс% кислорода. Вещество **В** при действии углекислого газа превращается в соль **С**, а при добавлении воды к **В** снова образуется соединение **А**. Добавление к **А** иодоводородной кислоты приводит к образованию соединения **Д**.

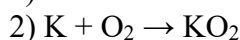
Металл **У** растворяется в разбавленной серной кислоте с образованием зеленого раствора соли **Е**. После добавления сульфата аммония к раствору **Е** и охлаждения его до 0 °С образуются светло-зеленые кристаллы гексагидрата **Г**, содержащие 14.9 масс% металла **У**. Добавление к раствору соли **Е** вещества **А** приводит к выпадению зеленого осадка **Г**, а добавление к раствору соли **Е** аммиака – к образованию сине-фиолетового раствора комплексного соединения **Н** (массовая доля азота в комплексном ионе соединения **Н** – 52.2%). При взаимодействии раствора **Н** с веществом **Д** образуется светло-фиолетовый осадок **И**.

Определите металлы **X** и **Y**. Установите состав соединений **A – I**, подтвердите состав расчетом (для указанных соединений). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

Решение. Металл **X** – калий.

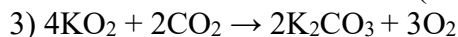


A – KOH

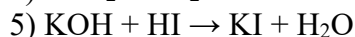
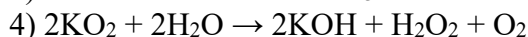


B – KO₂

$$\omega(\text{O в KO}_2) = 32 / 71 = 0.451 \text{ (45.1\%)}$$

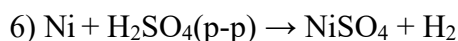


C – K₂CO₃

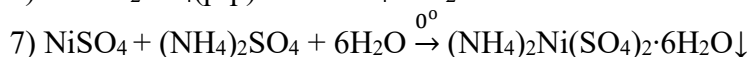


D – KI

Металл **Y** – никель.

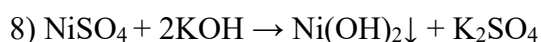


E – NiSO₄

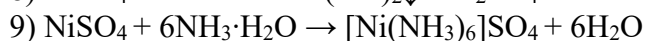


F – (NH₄)₂Ni(SO₄)₂·6H₂O

$$\omega(\text{Ni в } (\text{NH}_4)_2\text{Ni}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}) = 59 / 395 = 0.149 \text{ (14.9\%)}$$

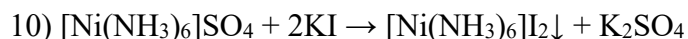


G – Ni(OH)₂



H – [Ni(NH₃)₆]SO₄

$$\omega(\text{N в } [\text{Ni}(\text{NH}_3)_6]^{2+}) = 14 \cdot 6 / 161 = 0.522 \text{ (52.2\%)}$$



I – [Ni(NH₃)₆]I₂

Ответ: **X** – калий, **Y** – никель. **A** – KOH, **B** – KO₂, **C** – K₂CO₃, **D** – KI, **E** – NiSO₄, **F** – (NH₄)₂Ni(SO₄)₂·6H₂O, **G** – Ni(OH)₂, **H** – [Ni(NH₃)₆]SO₄, **I** – [Ni(NH₃)₆]I₂.

Система оценивания: три расчета массовых долей элементов (O, Ni, N) – по 1 баллу. Из десяти реакций семь – по 1 баллу, реакции 7, 9 и 10 – по 2 балла.

Всего 3 · 1 + 7 · 1 + 3 · 2 = 16 баллов.