

## Олимпиада «Ломоносов» по химии. 11 класс, заключительный тур

### Задача 1 (6 баллов)

1.1. При инвентаризации реактивов в лаборатории обнаружили, что этикетки от трех банок с аминокислотами открепились и лежат на полке отдельно. Чтобы установить содержимое банок, приготовили разбавленные растворы этих аминокислот и определили значение pH каждого из них. Результаты измерений представлены в таблице. Определите содержимое каждой банки, если известно, что в них были глутаминовая кислота, лизин и аланин.

Банка	1	2	3
pH раствора	5.7	2.9	9.6

1.2. При инвентаризации реактивов в лаборатории обнаружили, что этикетки от трех банок с аминокислотами открепились и лежат на полке отдельно. Чтобы установить содержимое банок, приготовили разбавленные растворы этих аминокислот и определили значение pH каждого из них. Результаты измерений представлены в таблице. Определите содержимое каждой банки, если известно, что в них были лизин, глицин и глутаминовая кислота.

Банка	1	2	3
pH раствора	5.5	3.2	9.6

### Задача 2 (10 баллов)

2.1. Смесь CO и CO<sub>2</sub> с плотностью по водороду 21.2 пропустили над раскаленным углем, объем смеси при этом увеличился в 1.5 раза (объемы измерены в одинаковых условиях). Определите плотность по водороду конечной газовой смеси.

2.2. Смесь CO и CO<sub>2</sub> с плотностью по гелию 9.4 пропустили над раскаленным углем, объем смеси при этом увеличился в 1.3 раза (объемы измерены в одинаковых условиях). Определите плотность по гелию конечной газовой смеси.

### Задача 3 (12 баллов)

3.1. Сложный эфир А массой 47 г подвергли щелочному гидролизу и получили 44 г натриевой соли карбоновой кислоты неразветвленного строения и 23 г предельного спирта (выход реакции 100%). Определите строение А. Рассчитайте, сколько процентов по массе потеряет кислота, входящая в состав А, при нагревании ее до 180°C. Напишите уравнения протекающих реакций.

3.2. Сложный эфир А массой 30.3 г подвергли щелочному гидролизу и получили 24.3 г натриевой соли карбоновой кислоты неразветвленного строения и 18 г вторичного предельного спирта (выход реакции 100%). Определите строение А. Рассчитайте, сколько процентов по массе потеряет кислота, входящая в состав А, при нагревании ее до 180°C. Напишите уравнения протекающих реакций.

### Задача 4 (12 баллов)

4.1. Рассчитайте максимальную температуру газовой смеси, полученной в результате полного сгорания 1 моля пропена в 30 молях кислорода. Начальная температура равна 25 °C. Теплоты образования при 298 К и теплоемкости газов приведены в таблице.

Газ	$Q_{\text{обр}}$ , кДж/моль	$C$ , Дж/(моль·К)	Газ	$Q_{\text{обр}}$ , кДж/моль	$C$ , Дж/(моль·К)
C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	-20.4	142.7	CO <sub>2</sub>	393.5	53.5
O <sub>2</sub>	0	34.7	H <sub>2</sub> O	241.8	43.0

**4.2.** Рассчитайте максимальную температуру газовой смеси, полученной в результате полного сгорания 1 моля пропана в 31 моле кислорода. Начальная температура равна 25 °С. Теплоты образования при 298 К и теплоёмкости газов приведены в таблице.

Газ	$Q_{\text{обр}}, \text{кДж/моль}$	$C, \text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$
$\text{C}_3\text{H}_8$	103.8	172.9
$\text{O}_2$	0	34.7

Газ	$Q_{\text{обр}}, \text{кДж/моль}$	$C, \text{Дж/(моль}\cdot\text{К)}$
$\text{CO}_2$	393.5	53.5
$\text{H}_2\text{O}$	241.8	43.0

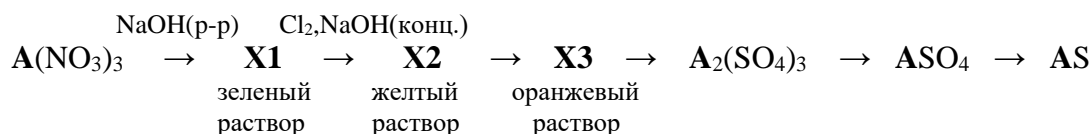
### Задача 5 (14 баллов)

**5.1.** Произведение растворимости  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  при 25°C составляет  $7.1 \cdot 10^{-12}$ . Вычислите растворимость (в моль/л) гидроксида магния в чистой воде и определите pH раствора над осадком  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Дайте количественную оценку растворимости  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в растворе с pH = 12.5.

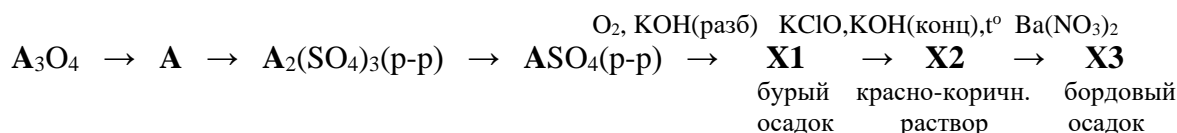
**5.2.** Произведение растворимости  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  при 25°C составляет  $2.0 \cdot 10^{-15}$ . Вычислите растворимость (в моль/л) гидроксида никеля(II) в чистой воде и определите pH раствора над осадком  $\text{Ni}(\text{OH})_2$ . Дайте количественную оценку растворимости  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в растворе с pH = 12.5.

### Задача 6 (12 баллов)

**6.1.** Определите металл **A** и состав соединений **X1** – **X3**. Напишите уравнения протекающих реакций, укажите условия их проведения. Укажите окраску соединения **AS** и водного раствора **ASO<sub>4</sub>**.

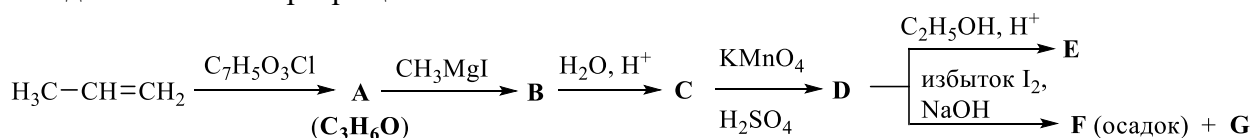


**6.2.** Определите металл **A** и состав соединений **X1** – **X3**. Напишите уравнения протекающих реакций, укажите условия их проведения. Укажите окраску водных растворов **A<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>** и **ASO<sub>4</sub>**.



### Задача 7 (16 баллов)

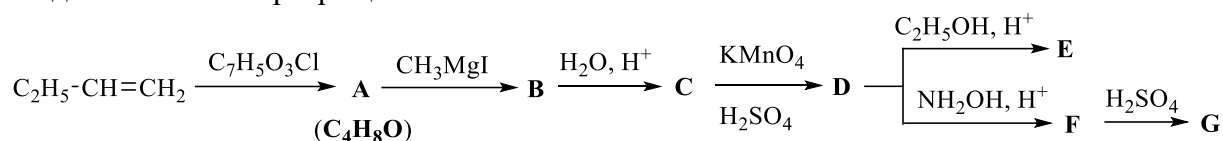
**7.1.** *мета*-Хлорнадбензойная кислота  $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Cl}$  содержит непрочную связь O–O, которая легко подвергается атаке нуклеофильных реагентов с последующим переносом к ним атома кислорода. Такими реагентами являются алкены, некоторые ароматические соединения, сульфиды, селениды, амины и азотистые гетероциклы. Расшифруйте следующую последовательность превращений:



Определите неизвестные соединения и напишите уравнения всех протекающих реакций. Примите во внимание, что соединение **D** не реагирует с гидрокарбонатом калия. Рассчитайте массу соединения **F**, полученного из 10.8 г **D** с выходом 75%.

**7.2** *мета*-Хлорнадбензойная кислота  $\text{C}_7\text{H}_5\text{O}_3\text{Cl}$  содержит непрочную связь O–O, которая легко подвергается атаке нуклеофильных реагентов с последующим переносом к ним атома

кислорода. Такими реагентами являются алкены, некоторые ароматические соединения, сульфиды, селениды, амины и азотистые гетероциклы. Расшифруйте следующую последовательность превращений:



Определите неизвестные соединения и напишите уравнения всех протекающих реакций. Примите во внимание, что соединение **D** не реагирует с гидрокарбонатом калия. Рассчитайте массу соединения **G**, полученного из 12.9 г **D** с выходом 80% на каждой стадии.

### Задача 8 (18 баллов)

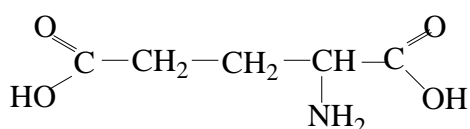
**8.1.** 53.8 г смеси безводного сульфата меди  $\text{CuSO}_4$  и хлорида калия полностью растворили в 0.45 л воды и подвергли полученный раствор электролизу с инертными электродами, разделенными диафрагмой. Электролиз проводили до тех пор, пока отношение объемов выделившихся на аноде и катоде газов не стало равным 2 : 3 (объемы измерены при одинаковых условиях), масса полученной меди при этом составила 9.6 г. Рассчитайте массовые доли веществ, оставшихся в растворе после окончания электролиза. Определите состав и массу осадка, который образуется, если в исходный раствор пропустить ток сернистого газа. Запишите уравнения всех реакций.

**8.2.** 121.8 г смеси пентагидрата сульфата меди  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  и хлорида натрия полностью растворили в 0.6 л воды и подвергли полученный раствор электролизу с инертными электродами, разделенными диафрагмой. Электролиз проводили до тех пор, пока отношение объемов выделившихся на аноде и катоде газов не стало равным 1.2 (объемы измерены при одинаковых условиях), масса полученной меди при этом составила 19.2 г. Рассчитайте массовые доли веществ, оставшихся в растворе после окончания электролиза. Определите состав и массу осадка, который образуется, если в исходный раствор пропустить ток сернистого газа. Запишите уравнения всех реакций.

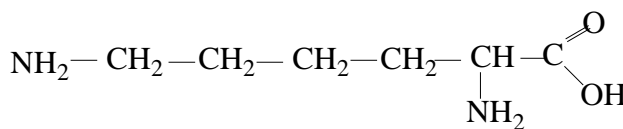
## Решения заданий олимпиады «Ломоносов», 11 класс. Заключительный тур

### Задача 1 (6 баллов)

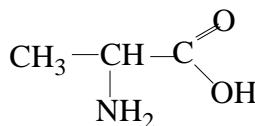
**1.1.** Аминокислоты:



Глутаминовая кислота



Лизин

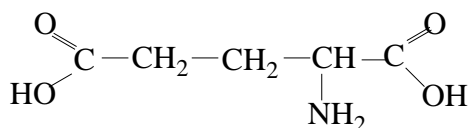


Аланин

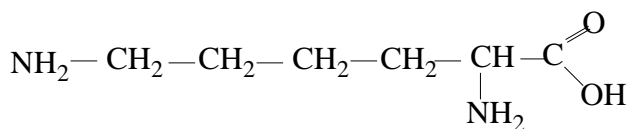
Из этих трех аминокислот аланин – единственная, в которой совпадает число аминогрупп и кислотных групп, поэтому ее раствор будет иметь значение pH, близкое к нейтральному (банка 1). В молекуле глутаминовой кислоты на одну аминогруппу приходятся две карбоксильные, следовательно, среда ее раствора более кислотная (банка 2). В молекуле лизина, наоборот, на одну карбоксильную группу приходятся две аминогруппы, следовательно, среда раствора будет щелочной (банка 3).

Ответ: 1 – аланин, 2 – глутаминовая кислота, 3 – лизин.

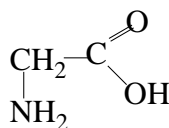
## 1.2. Аминокислоты:



Глутаминовая кислота



Лизин



Глицин

Из этих трех аминокислот глицин – единственная, в которой совпадает число аминогрупп и кислотных групп, поэтому ее раствор будет иметь значение pH, близкое к нейтральному (банка 1). В молекуле глутаминовой кислоты на одну аминогруппу приходится две карбоксильные, следовательно, среда ее раствора более кислотная (банка 2). В молекуле лизина, наоборот, на одну карбоксильную группу приходится две аминогруппы, следовательно, среда раствора будет щелочной (банка 3).

Ответ: 1 – глицин, 2 – глутаминовая кислота, 3 – лизин.

## Задача 2 (10 баллов)

2.1. Пусть 1 моль исходной смеси содержит  $x$  моль CO и  $(1 - x)$  моль CO<sub>2</sub>. Средняя молярная масса смеси составляет

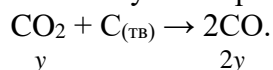
$$M(\text{см. 1}) = D_{\text{H}_2} \cdot M(\text{H}_2) = 21.2 \cdot 2 = 42.4 \text{ г/моль},$$

$$M(\text{см. 1}) = 28x + 44(1 - x) = 42.4,$$

$$x = 0.1 \text{ моль},$$

$$1 - x = 0.9 \text{ моль}.$$

При пропускании CO<sub>2</sub> над раскаленным углем протекает реакция:



Количества газов в полученной смеси составили

$$v(\text{CO}) = 0.1 + 2y$$

$$v(\text{CO}_2) = 0.9 - y$$

Суммарные количества вещества газовых смесей до и после реакции составляют

$$v_1 = 1 \text{ моль},$$

$$v_2 = 1 + 2y - y = (1 + y) \text{ моль}.$$

При одинаковых условиях ( $p$  и  $T$ ) объемы смесей до и после реакции относятся так же, как суммарные количества веществ в них:

$$V_2 / V_1 = v_2 / v_1,$$

$$(1 + y) / 1 = 1.5,$$

$$y = 0.5.$$

После реакции смесь содержит

$$v(\text{CO}) = 0.1 + 2 \cdot 0.5 = 1.1 \text{ моль},$$

$$v(\text{CO}_2) = 0.9 - 0.5 = 0.4 \text{ моль}.$$

$$M(\text{см 2}) = (28 \cdot 1.1 + 44 \cdot 0.4) / 1.5 = 32.3 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{H}_2}(\text{см 2}) = 32.3 / 2 = 16.15.$$

Ответ: 16.15.

2.2. Пусть 1 моль исходной смеси содержит  $x$  моль CO и  $(1 - x)$  моль CO<sub>2</sub>. Средняя молярная масса смеси составляет

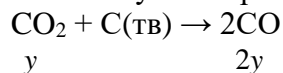
$$M(\text{см. 1}) = D_{\text{He}} \cdot M(\text{He}) = 9.4 \cdot 4 = 37.6 \text{ (г/моль)},$$

$$M(\text{см. 1}) = 28x + 44(1 - x) = 37.6,$$

$$x = 0.4 \text{ моль,}$$

$$1 - x = 0.6 \text{ моль.}$$

При пропускании  $\text{CO}_2$  над раскаленным углем протекает реакция:



Количества газов в полученной смеси составили

$$v(\text{CO}) = 0.4 + 2y,$$

$$v(\text{CO}_2) = 0.6 - y.$$

Суммарные количества вещества газовых смесей до и после реакции:

$$v_1 = 1 \text{ (моль),}$$

$$v_2 = 1 + 2y - y = 1 + y \text{ (моль).}$$

При одинаковых условиях ( $p$  и  $T$ ) объемы смесей до и после реакции относятся так же, как суммарные количества веществ в них:

$$V_2 / V_1 = v_2 / v_1,$$

$$(1 + y) / 1 = 1.0,$$

$$y = 0.3.$$

После окончания реакции смесь содержит

$$v(\text{CO}) = 0.4 + 2 \cdot 0.3 = 1.0 \text{ моль,}$$

$$v(\text{CO}_2) = 0.6 - 0.3 = 0.3 \text{ моль.}$$

$$M(\text{см.2}) = (28 \cdot 1.0 + 44 \cdot 0.3) / 1.3 = 31.7 \text{ г/моль,}$$

$$D_{\text{He}}(\text{см. 2}) = 31.7 / 4 = 7.93.$$

Ответ: 7.93.

### Задача 3 (12 баллов)

3.1. Масса щёлочи, использованной при гидролизе сложного эфира, равна

$$m(\text{NaOH}) = 44 + 23 - 47 = 20 \text{ г.}$$

$$v(\text{A}) = v(\text{NaOH}) = 20 / 40 = 0.5 \text{ моль,}$$

откуда молярная масса сложного эфира А

$$M(\text{A}) = 47 / 0.5 = 94 \text{ г/моль.}$$

Молярная масса спирта равна

$$M(\text{спирта}) = 23 / 0.5 = 46 \text{ г/моль,}$$

что соответствует этанолу. Молярная масса кислотного остатка равна

$$94 - 29 = 65 \text{ г/моль,}$$

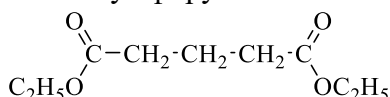
а масса углеводородного радикала составляет 21 г/моль. Такой кислоты нет, значит, неизвестная карбоновая кислота, входящая в состав сложного эфира, двухосновная.

$$M(\text{A}) = 47 / 0.25 = 188 \text{ г/моль.}$$

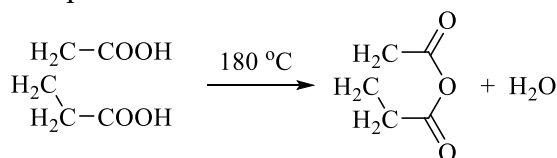
Молярная масса кислотного остатка двухосновной кислоты равна

$$188 - 58 = 130 \text{ г/моль,}$$

что соответствует следующему сложному эфиру А



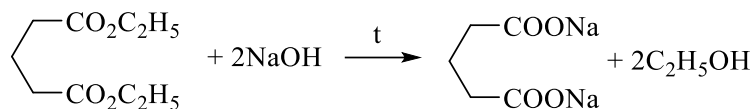
При нагревании глутаровой кислоты происходит отщепление молекулы воды и образование глутарового ангидрида:



Потеря массы при нагревании составит

$$M(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{C}_5\text{H}_8\text{O}_4) = 18 / 132 = 0.1364 \text{ (или 13.64\%).}$$

Уравнение щелочного гидролиза сложного эфира А:



Ответ: диэтиловый эфир глутаровой кислоты; 13.64%.

3.2. Масса щёлочи, использованной при гидролизе сложного эфира, равна

$$m(\text{NaOH}) = 24.3 + 18 - 30.3 = 12 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{A}) = \nu(\text{NaOH}) = 12 / 40 = 0.3 \text{ моль,}$$

откуда молярная масса сложного эфира А составляет

$$M(\text{A}) = 30.3 / 0.3 = 101 \text{ г/моль.}$$

Сложный эфир, состоящий только из атомов углерода, водорода и кислорода, не может иметь нечётную массу. Из этого можно сделать вывод, что сложный эфир А состоит из двухосновной кислоты и насыщенного спирта.

$$M(\text{A}) = 30.3 / 0.15 = 202 \text{ г/моль,}$$

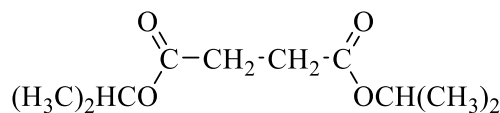
а молярная масса спирта равна

$$M(\text{спирта}) = 18 / 0.3 = 60 \text{ г/моль,}$$

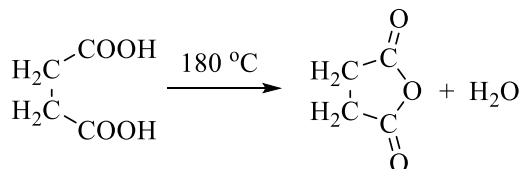
что соответствует пропанолу-2 (по условию, спирт – вторичный). Молярная масса кислотного остатка равна

$$202 - 43 \cdot 2 = 116 \text{ г/моль.}$$

Поскольку кислота – двухосновная, потеря массы при нагревании может быть обусловлена отщеплением молекулы воды. Таким образом, структура сложного эфира А следующая:



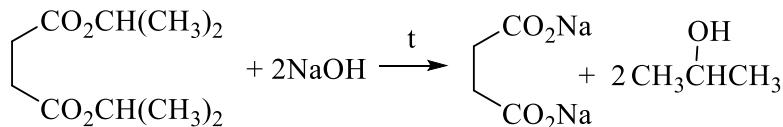
При нагревании янтарной кислоты происходит отщепление молекулы воды и образование янтарного ангидрида:



Потеря массы за счет отщепления воды при нагревании янтарной кислоты составит

$$M(\text{H}_2\text{O}) / M(\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4) = 18 / 118 = 0.1525 \text{ (или 15.25\%).}$$

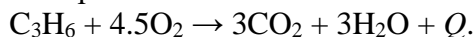
Уравнение щелочного гидролиза эфира А:



Ответ: диизопропиловый эфир янтарной кислоты; 15.25%.

#### Задача 4 (12 баллов)

4.1. Уравнение реакции сгорания пропена:



$$Q = 3 \cdot 393.5 + 3 \cdot 241.8 - (-20.4) = 1926.3 \text{ кДж.}$$

Полученная теплота расходуется на нагревание 3 моль  $\text{CO}_2$ , 3 моль  $\text{H}_2\text{O}$  и 25.5 моль  $\text{O}_2$ , общая теплоёмкость которых равна

$$C = 3C(\text{CO}_2) + 3C(\text{H}_2\text{O}) + 25.5C(\text{O}_2) = 3 \cdot 53.5 + 3 \cdot 43.0 + 25.5 \cdot 34.7 = 1174.35 \text{ Дж/К}.$$

Тогда

$$Q = C \cdot \Delta T,$$

или

$$1926300 = 1174.35 \cdot \Delta T,$$

откуда  $\Delta T = 1640 \text{ К}$ .

Следовательно, температура смеси равна

$$T = 298 + 1640 = 1938 \text{ К}.$$

*Ответ:* 1938 К.

**4.2.** Уравнение реакции сгорания пропана:



$$Q = 3 \cdot 393.5 + 4 \cdot 241.8 - 103.8 = 2043.9 \text{ (кДж)}.$$

Полученная теплота расходуется на нагревание 3 моль  $\text{CO}_2$ , 4 моль  $\text{H}_2\text{O}$  и 26 моль  $\text{O}_2$ , общая теплоёмкость которых равна

$$C = 3C(\text{CO}_2) + 4C(\text{H}_2\text{O}) + 26C(\text{O}_2) = 3 \cdot 53.5 + 4 \cdot 43.0 + 26 \cdot 34.7 = 1234.7 \text{ (Дж/К)}.$$

Тогда

$$Q = C \cdot \Delta T,$$

или

$$2043900 = 1234.7 \cdot \Delta T,$$

откуда  $\Delta T = 1655 \text{ К}$ .

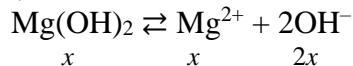
Следовательно, температура смеси равна

$$T = 298 + 1655 = 1953 \text{ К}.$$

*Ответ:* 1953 К.

## Задача 5 (14 баллов)

**5.1.** Найдём растворимость  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  в чистой воде:



$$\begin{aligned} \text{ПР} &= [\text{Mg}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 4x^3, \\ x &= \sqrt[3]{\text{ПР}/4} = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

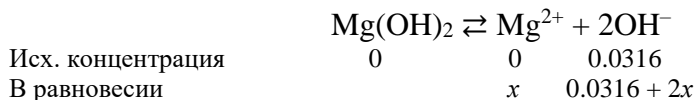
Рассчитаем pH полученного насыщенного раствора:

$$\begin{aligned} [\text{OH}^-] &= 2x = 2.42 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}. \\ \text{pOH} &= -\lg [\text{OH}^-] = -\lg(2.42 \cdot 10^{-4}) = 3.62, \\ \text{pH} &= 14 - \text{pOH} = 10.38. \end{aligned}$$

Если значение pH исходного раствора, в котором предполагается растворять гидроксид магния, составляет 12.5, то концентрация ионов  $\text{OH}^-$  равна

$$\begin{aligned} \text{pOH} &= 14 - \text{pH} = 1.5, \\ [\text{OH}^-] &= 10^{-1.5} = 0.0316 = 3.16 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

До начала диссоциации основания в растворе уже имеется значительная концентрация ионов  $\text{OH}^-$ :



Тогда произведение растворимости  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  имеет вид:

$$\text{ПР} = x \cdot (0.0316 + 2x)^2.$$

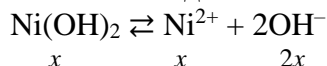
Даже в случае растворения основания в чистой воде значение  $x$  оказалось на два порядка меньше  $3.16 \cdot 10^{-2}$  моль/л. В щелочном растворе  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  будет растворяться хуже, чем в чистой воде, и значение  $x$  окажется еще меньше. Поэтому для оценки растворимости мы можем пренебречь слагаемым  $2x$ :

$$\text{ПР} = x \cdot 0.0316^2,$$

$$x = 7.1 \cdot 10^{-12} / 0.0316^2 = 7.1 \cdot 10^{-12} / 10^{-3} = 7.1 \cdot 10^{-9} \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $1.21 \cdot 10^{-4}$  моль/л; 10.38;  $7.1 \cdot 10^{-9}$  моль/л.

**5.2.** Найдем растворимость  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  в чистой воде:



$$\text{ПР} = [\text{Ni}^{2+}][\text{OH}^-]^2 = 4x^3,$$

$$x = \sqrt[3]{\text{ПР}/4} = 7.94 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

Рассчитаем pH полученного насыщенного раствора:

$$[\text{OH}^-] = 2x = 1.53 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л.}$$

$$\text{pOH} = -\lg [\text{OH}^-] = -\lg(1.53 \cdot 10^{-5}) = 4.8,$$

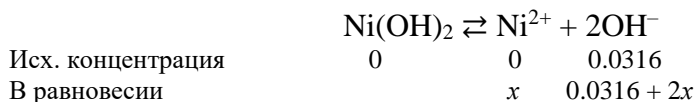
$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 9.2.$$

Если значение pH исходного раствора, в котором предполагается растворять гидроксид никеля, составляет 12.5, то концентрация ионов  $\text{OH}^-$  равна

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 1.5,$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-1.5} = 0.0316 = 3.16 \cdot 10^{-2} \text{ моль/л.}$$

До начала диссоциации основания в растворе уже имеется значительная концентрация ионов  $\text{OH}^-$ :



Тогда произведение растворимости  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  имеет вид:

$$\text{ПР} = x \cdot (0.0316 + 2x)^2.$$

Даже в случае растворения основания в чистой воде значение  $x$  оказалось на четыре порядка меньше величины  $3.16 \cdot 10^{-2}$  моль/л. В щелочном растворе  $\text{Ni}(\text{OH})_2$  будет растворяться хуже, чем в чистой воде, и значение  $x$  окажется еще меньше. Поэтому для оценки растворимости мы можем пренебречь слагаемым  $2x$ :

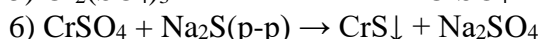
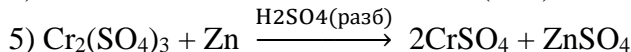
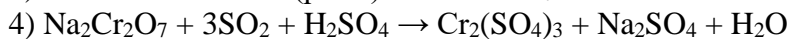
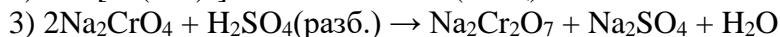
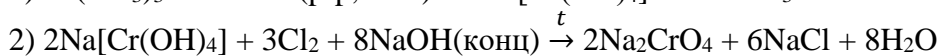
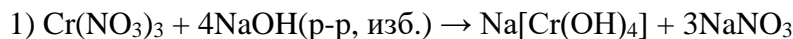
$$\text{ПР} = x \cdot 0.0316^2,$$

$$x = 2.0 \cdot 10^{-15} / 0.0316^2 = 2.0 \cdot 10^{-15} / 10^{-3} = 2.0 \cdot 10^{-12} \text{ моль/л.}$$

Ответ:  $7.94 \cdot 10^{-6}$  моль/л; 9.2;  $2.0 \cdot 10^{-12}$  моль/л.

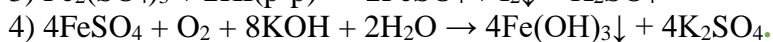
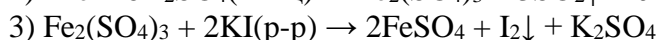
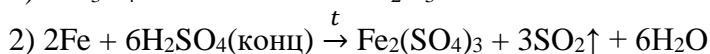
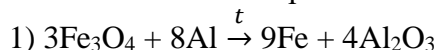
## Задача 6 (12 баллов)

**6.1.** Металл А – хром. Уравнения возможных реакций:

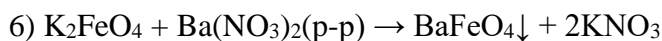


Ответ: А – хром; **X1** –  $\text{Na}[\text{Cr}(\text{OH})_4]$ , **X2** –  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ , **X3** –  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ;  $\text{CrSO}_4$  – голубой раствор,  $\text{CrS}$  – черный.

**6.2.** Металл А – железо. Уравнения возможных реакций:



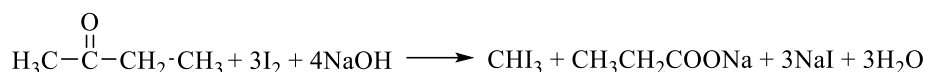
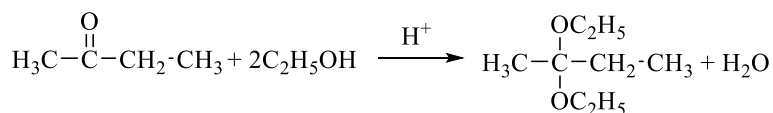
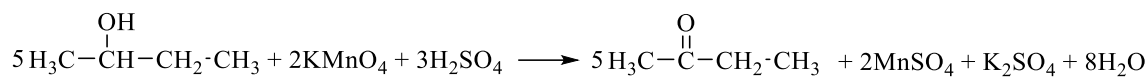
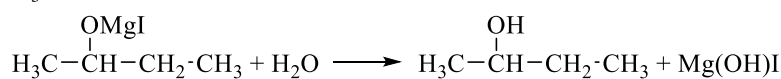
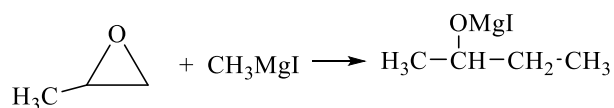
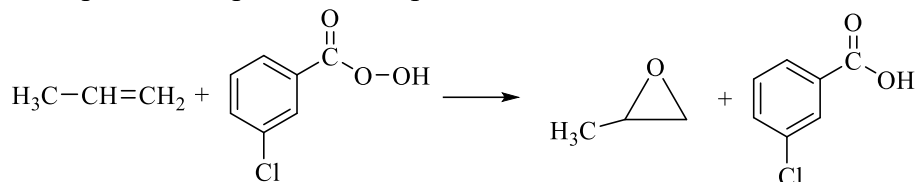




Ответ: А – железо; X1 – Fe(OH)<sub>3</sub>, X2 – K<sub>2</sub>FeO<sub>4</sub>, X3 – BaFeO<sub>4</sub>; Fe<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> – желтый раствор, FeSO<sub>4</sub> – бледно-голубой, практически бесцветный раствор.

### Задача 7 (16 баллов)

#### 7.1. Уравнения протекающих реакций:

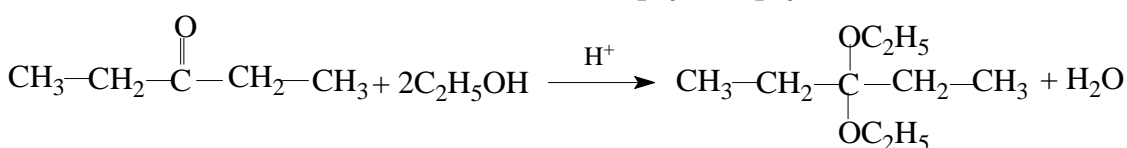
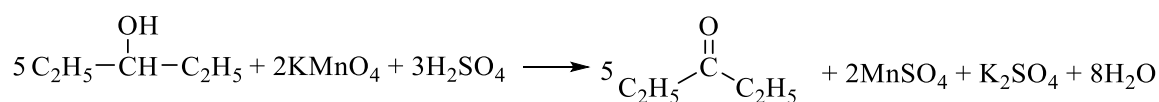
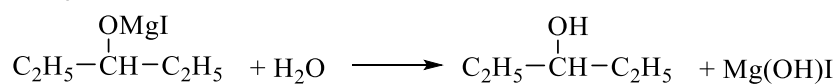
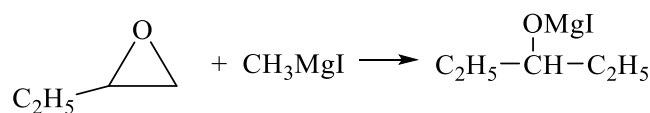
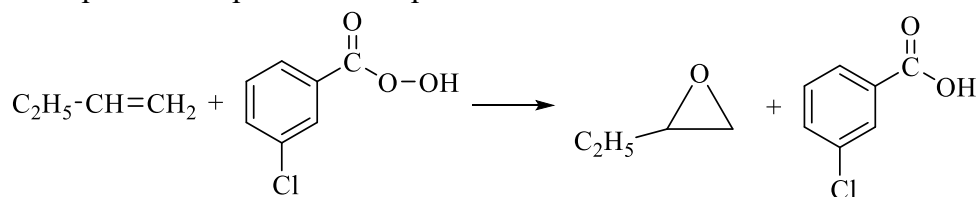


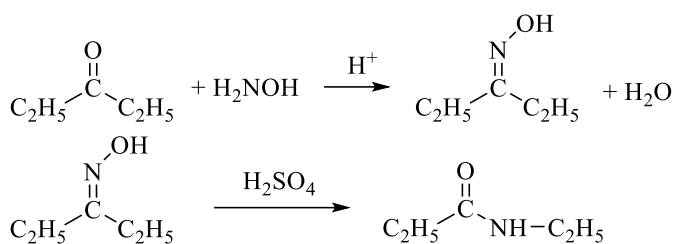
Осадок F в последней реакции – это иодоформ CHI<sub>3</sub>. Определим его количество и массу:

$$\begin{aligned} v(\text{D}) &= 10.8 / 72 = 0.15 \text{ моль,} \\ v(\text{CHI}_3) &= 0.75v(\text{D}) = 0.1125 \text{ моль,} \\ m(\text{F}) &= 0.1125 \cdot 394 = 44.33 \text{ г.} \end{aligned}$$

Ответ: 44.33 г иодоформа.

#### 7.2. Уравнения протекающих реакций





Соединение **G** в последней реакции – это N-этиламид пропионовой кислоты.

$$v(\text{D}) = 12.9 / 86 = 0.15 \text{ моль},$$

$$v(\text{G}) = 0.8 \cdot 0.8 \cdot v(\text{D}) = 0.096 \text{ моль},$$

$$m(\text{G}) = 0.096 \cdot 101 = 9.70 \text{ г.}$$

Ответ: 9.70 г.

## Задача 8 (18 баллов)

**8.1.** При электролизе полученного раствора сначала на катоде идет выделение меди, на аноде – хлора. Из условия задачи следует, что затем на катоде выделяется газ ( $\text{H}_2$ ), значит, сульфат меди до этого подвергается полному электролитическому разложению. Тогда можно рассчитать количество и массу  $\text{CuSO}_4$  в исходной смеси по массе полученной меди:

$$v(\text{Cu}) = v(\text{CuSO}_4) = 9.6 / 64 = 0.15 \text{ моль},$$

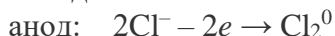
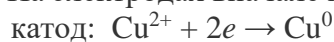
$$m(\text{CuSO}_4) = 160 \cdot 0.15 = 24 \text{ г.}$$

Тогда

$$m(\text{KCl}) = 53.8 - 24 = 29.8 \text{ г},$$

$$v(\text{KCl}) = v(\text{Cl}^-) = 29.8 / 74.5 = 0.4 \text{ моль}.$$

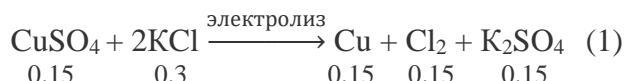
1) На электродах вначале протекают следующие процессы:



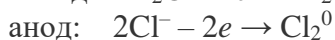
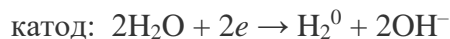
Ионы меди, очевидно, находятся в недостатке по отношению к ионам хлора, и после завершения восстановления меди в растворе останется некоторое количество ионов  $\text{Cl}^-$ :

$$v(\text{Cl}^-) = 0.4 - 0.3 = 0.1 \text{ моль}.$$

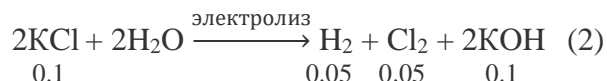
В молекулярном виде уравнение первого этапа электролиза можно записать следующим образом:



2) Далее на электродах до завершения выделения хлора протекают следующие процессы:



В молекулярном виде уравнение второго этапа электролиза может быть записано следующим образом:

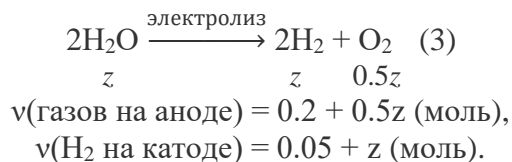


3) После завершения двух этапов электролиза на электродах выделилось

$$v(\text{Cl}_2 \text{ на аноде}) = 0.15 + 0.05 = 0.2 \text{ моль},$$

$$v(\text{H}_2 \text{ на катоде}) = 0.05 \text{ моль}.$$

К данному моменту соотношение количеств газов на аноде и катоде  $0.2 / 0.05 = 4$ , что не удовлетворяет условию задачи. Значит, далее происходит разложение воды:



По условию задачи

$$(0.2 + 0.5z) / (0.05 + z) = 2 / 3,$$

отсюда  $z = 1$  моль.

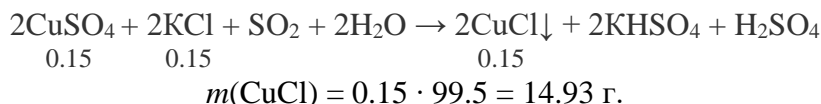
Масса раствора после окончания электролиза:

$$m = m(\text{солей}) + m(\text{H}_2\text{O на растворение}) - m(\text{Cu}) - m(\text{Cl}_2) - m(\text{H}_2) - m(\text{H}_2\text{O}) = \\ = 53.8 + 450 - 9.6 - 0.2 \cdot 71 - 0.05 \cdot 2 - 1 \cdot 18 = 461.9 \text{ г.}$$

Массовые доли веществ в растворе после завершения электролиза:

$$\omega(\text{K}_2\text{SO}_4) = 0.15 \cdot 174 / 461.9 = 0.0565 (5.65\%), \\ \omega(\text{KOH}) = 0.1 \cdot 56 / 461.9 = 0.0121 (1.21\%).$$

Если в исходный раствор пропустить сернистый газ, образуется осадок  $\text{CuCl}$ :



*Ответ:* 5.65%  $\text{K}_2\text{SO}_4$ , 1.12%,  $\text{KOH}$ ; 14.93 г  $\text{CuCl}$ .

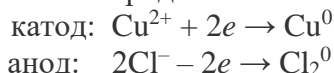
**8.2.** При электролизе полученного раствора сначала на катоде идет выделение меди, на аноде – хлора. Из условия задачи следует, что затем на катоде выделяется газ ( $\text{H}_2$ ), значит, сульфат меди до этого подвергается полному электролитическому разложению. Тогда можно рассчитать количество  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  в исходной смеси по массе полученной меди:

$$v(\text{Cu}) = v(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 19.2 / 64 = 0.3 \text{ моль,} \\ m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 250 \cdot 0.3 = 75 \text{ г.}$$

Тогда

$$m(\text{NaCl}) = 121.8 - 75 = 46.8 \text{ г,} \\ v(\text{NaCl}) = v(\text{Cl}^-) = 46.8 / 58.5 = 0.8 \text{ моль.}$$

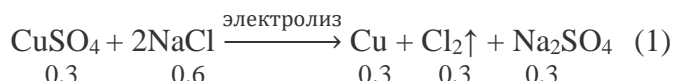
1) На электродах вначале протекают следующие процессы:



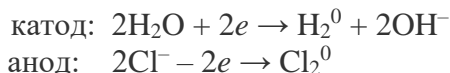
Ионы меди, очевидно, находятся в недостатке по отношению к ионам хлора, и после завершения восстановления меди в растворе останется некоторое количество ионов  $\text{Cl}^-$ :

$$v(\text{Cl}^-) = 0.8 - 0.6 = 0.2 \text{ моль.}$$

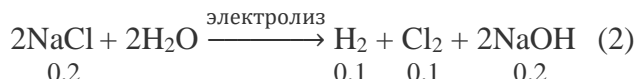
В молекулярном виде уравнение первого этапа электролиза можно записать следующим образом:



2) Далее на электродах до завершения выделения хлора протекают следующие процессы:



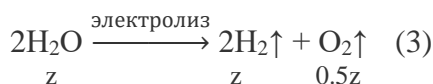
В молекулярном виде уравнение второго этапа электролиза может быть записано следующим образом:



3) После завершения двух этапов электролиза на электродах выделилось

$$v(\text{Cl}_2 \text{ на аноде}) = 0.3 + 0.1 = 0.4 \text{ моль,} \\ v(\text{H}_2 \text{ на катоде}) = 0.1 \text{ моль.}$$

К данному моменту соотношение количеств газов на аноде и катоде  $0.4 / 0.1 = 4$ , что не удовлетворяет условию задачи. Значит, далее происходит разложение  $z$  моль воды:



$$\nu(\text{газов на аноде}) = 0.4 + 0.5z \text{ (моль)},$$

$$\nu(\text{H}_2 \text{ на катоде}) = 0.1 + z \text{ (моль)}.$$

По условию задачи

$$(0.4 + 0.5z) / (0.1 + z) = 1.2,$$

тогда  $z = 0.4$  моль.

Масса раствора после завершения электролиза:

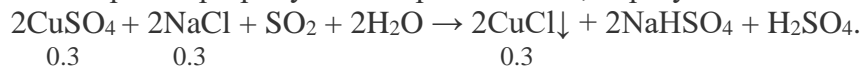
$$\begin{aligned} m &= m(\text{солей}) + m(\text{H}_2\text{O на растворение}) - m(\text{Cu}) - m(\text{Cl}_2) - m(\text{H}_2) - m(\text{H}_2\text{O}) = \\ &= 121.8 + 600 - 19.2 - 0.4 \cdot 71 - 0.1 \cdot 2 - 0.4 \cdot 18 = 666.8 \text{ г.} \end{aligned}$$

Массовые доли веществ в конечном растворе:

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.3 \cdot 142 / 666.8 = 0.0639 \text{ (6.39\%)},$$

$$\omega(\text{NaOH}) = 0.2 \cdot 40 / 666.8 = 0.0120 \text{ (1.20\%)}. \quad \omega(\text{CuCl}) = 0.3 \cdot 99.5 / 666.8 = 0.0452 \text{ (4.52\%)}$$

Если в исходный раствор пропустить сернистый газ, образуется осадок CuCl:



Его масса:

$$m(\text{CuCl}) = 0.3 \cdot 99.5 = 29.85 \text{ г.}$$

*Ответ:* 6.39% Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1.20% NaOH; 29.85 г CuCl.