

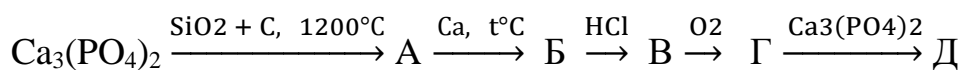
**Муниципальный этап Всероссийской олимпиады  
школьников по химии в 2023/2024 учебном году**

**Теоретический тур (решения)**

**11 КЛАСС**

**Задача 1.**

Напишите уравнения химических реакций, соответствующих следующей цепочке (для обменных реакций напишите ионные уравнения, для окислительно-восстановительных реакций напишите уравнения электронного баланса).



При превращении вещества Г в Д  $\nu(\text{Г}) : \nu(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 4 : 1$ .

Рассчитайте массу вещества А, которую можно получить из 1 тонны фосфоритового концентрата, если содержание ортофосфата кальция в концентрате составляет 37,5%, а выход продукта равен 85% (Обязательно должны быть приведены формулы для расчета всех величин).

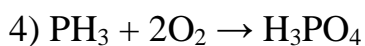
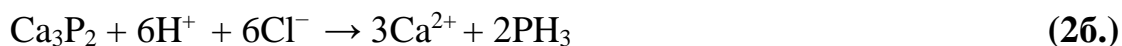
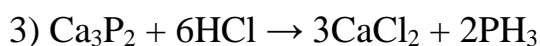
Аналогом какого соединения является вещество В? Что Вы можете сказать о его кислотно-основных свойствах в сравнении со свойствами аналога. Ответ поясните. Напишите уравнение реакции вещества В с хлороводородной кислотой. Напишите название полученного соединения.

Основным компонентом какого удобрения является вещество Д.

**20 баллов**

**Решение.**





б) Расчётное задание

Рассчитаем массу чистого ортофосфата кальция и его количество

$$m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = m \cdot \omega(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 1000 \cdot 0,375 = 375 \text{ кг}$$

$$v(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = m(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) / M(\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2) = 375 / 310 = 1,21 \text{ кмоль}$$

Рассчитаем теоретическое количество и массу фосфора

$$v(\text{P})_{\text{теор}} = 2 \cdot 1,21 = 2,42 \text{ кмоль}$$

$$m(\text{P})_{\text{теор}} = M(\text{P}) \cdot v(\text{P})_{\text{теор}} = 31 \cdot 2,42 = 75,02 \text{ кг}$$

С учётом выхода рассчитаем практическую массу фосфора

$$m(\text{P})_{\text{практ}} = m(\text{P})_{\text{теор}} \cdot \eta(\text{P}) = 75,02 \cdot 0,85 = 63,77 \text{ кг} \approx 64 \text{ кг}. \quad (66.)$$

7)  $\text{PH}_3$  – фосфин, аналог аммиака. Является основанием, но гораздо более слабым, чем аммиак. Это объясняется тем, что связи Н–Р поляризованы слабо и активность неподелённой пары электронов у фосфора ( $3s^2$ ) ниже, чем у азота ( $2s^2$ ) в аммиаке.



8)  $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$  – дигидроортофосфат кальция – основной компонент двойного суперфосфата. (16.)

**20 баллов**

### **Задача 2.**

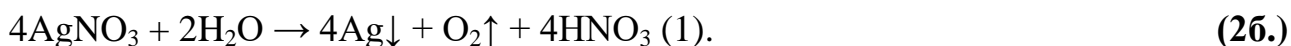
Для проведения электролиза с графитовыми электродами использовали 425г 20%-ного раствора нитрата серебра. Процесс прекратили после того, как концентрация соли в растворе уменьшилась до 12,7%. К оставшемуся раствору добавили 372,5г 10,0%-ного раствора хлорида калия. Определите массовые доли солей в полученном растворе. В ответе запишите уравнения реакций, которые

указаны в условии задачи, и приведите все необходимые вычисления с указанием единиц измерения искомых величин.

**20 баллов**

***Решение.***

1) Электролиз раствора нитрата серебра:



2) Количество нитрата серебра:

$$m(\text{AgNO}_3) = m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{AgNO}_3) = 425 \cdot 0,20 = 85 \text{ г};$$

$$\nu(\text{AgNO}_3) = m(\text{AgNO}_3) / M(\text{AgNO}_3) = 85 / 170 = 0,5 \text{ моль}. \quad (16.)$$

3) Массовая доля нитрата серебра в растворе после электролиза:

$$\omega_2(\text{AgNO}_3) = m(\text{AgNO}_3)_{\text{ост}} / (m_{\text{р-ра}} - m(\text{Ag}) - m(\text{O}_2)) \quad (26.)$$

4) Количество оставшегося в растворе нитрата серебра после электролиза найдем с помощью уравнения (1).

Пусть количество выделившегося кислорода равно  $x$ , тогда

$$m(\text{O}_2) = M(\text{O}_2) \cdot \nu(\text{O}_2) = 32x \text{ г};$$

$$\nu(\text{Ag}) = 4 \nu(\text{O}_2) = 4x \text{ моль};$$

$$m(\text{Ag}) = M(\text{Ag}) \cdot 4 \nu(\text{O}_2) = 4x \cdot 108 \text{ г};$$

$$\nu(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг.}} = 4 \nu(\text{O}_2) = 4x \text{ моль};$$

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг.}} = M(\text{AgNO}_3) \cdot 4x = 4x \cdot 170 \text{ г};$$

Из  $\omega_2(\text{AgNO}_3)$  найдем  $x$

$$(85 - 4x \cdot 170) / (425 - 4x \cdot 108 - 32x) = 0,127$$

$$x \approx 0,05 \text{ моль}. \quad (46.)$$

5) Найдем массу и количество оставшегося нитрата серебра

$$m(\text{O}_2) = 32x = 32 \cdot 0,05 = 1,6 \text{ г};$$

$$m(\text{Ag}) = 4x \cdot 108 \text{ г} = 4 \cdot 0,05 \cdot 108 = 21,6 \text{ г};$$

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{прореаг.}} = 4x \cdot 170 = 4 \cdot 0,05 \cdot 170 = 34 \text{ г};$$

$$m(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}} = 85 - 34 = 51 \text{ г};$$

$$\nu(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}} = m(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}} / M(\text{AgNO}_3) = 51 / 170 = 0,3 \text{ моль}. \quad (36.)$$

6) Добавленный хлорид калия взаимодействует с оставшимся после электролиза нитратом серебра по уравнению:



7) Найдем количество и массу оставшегося хлорида калия

$$m(\text{KCl}) = m_{\text{р-ра}} \cdot \omega(\text{KCl}) = 372,5 \cdot 0,10 = 37,25 \text{ г};$$

$$v(\text{KCl}) = m(\text{KCl}) / M(\text{KCl}) = 37,25 / 74,5 = 0,5 \text{ моль}.$$

Согласно уравнению (2)  $v(\text{KCl})_{\text{прореагир}} = v(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}} = 0,3 \text{ моль}.$

$$v(\text{KCl})_{\text{ост}} = 0,5 - 0,3 = 0,2 \text{ моль};$$

$$m(\text{KCl})_{\text{ост}} = M(\text{KCl}) \cdot v(\text{KCl}) = 74,5 \cdot 0,2 = 14,9; \quad (26.)$$

$$v(\text{AgCl}) = v(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}};$$

$$m(\text{AgCl}) = M(\text{AgCl}) \cdot v(\text{AgCl}) = 143 \cdot 0,3 = 43,05 \text{ г}.$$

$$v(\text{KNO}_3) = v(\text{AgNO}_3)_{\text{ост.}};$$

$$m(\text{KNO}_3) = M(\text{KNO}_3) \cdot v(\text{KNO}_3) = 101 \cdot 0,3 = 30,3 \text{ г}. \quad (16.)$$

8) Найдем массовые доли веществ в растворе после добавления KCl.

$$m_{\text{р-ра конеч.}} = m_{\text{р-ра1}} - m(\text{Ag}) - m(\text{O}_2) + m_{\text{р-ра}}(\text{KCl}) - m(\text{AgCl}) =$$

$$425 - 21,6 - 1,6 + 372,5 - 43,05 = 731,25 \text{ г} \quad (36.)$$

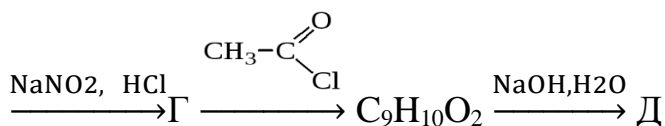
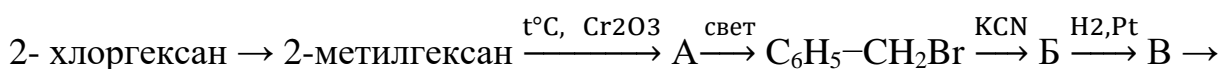
$$\omega(\text{KCl}) = m(\text{KCl})_{\text{ост}} / m_{\text{р-ра конеч.}} = 14,9 / 731,25 = 0,0203 \text{ (2,04\%)};$$

$$\omega(\text{KNO}_3) = m(\text{KNO}_3) / m_{\text{р-ра конеч.}} = 30,3 / 731,25 = 0,0414 \text{ (4,14\%)}. \quad (16.)$$

**20 баллов**

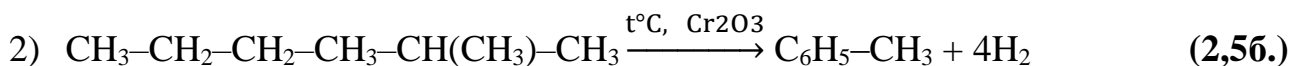
### Задача 3.

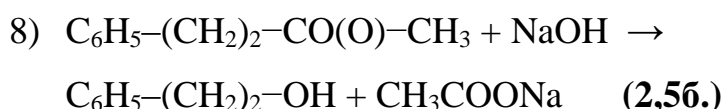
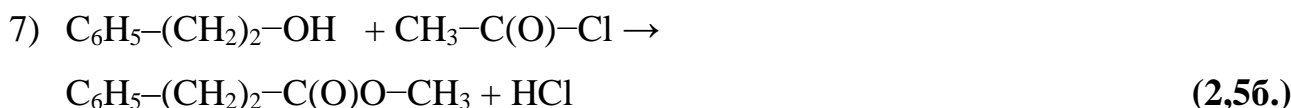
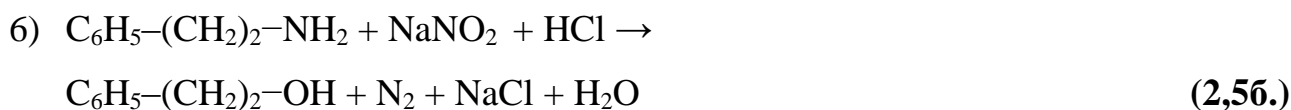
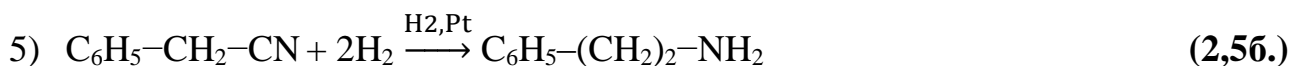
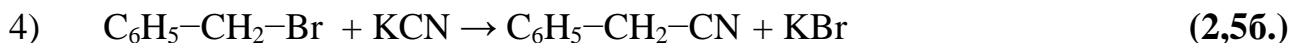
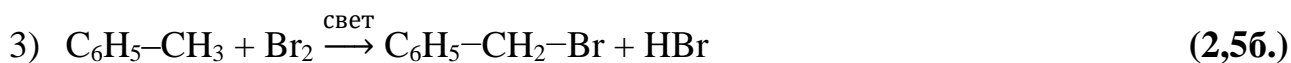
Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить следующие превращения. При написании уравнений реакций используйте структурные формулы органических веществ.



**20 баллов**

### Решение.

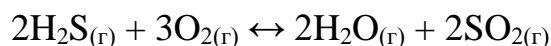




**20 баллов**

#### **Задача 4.**

В реактор постоянного объема поместили некоторое количество сероводорода и кислорода. В результате протекания обратимой реакции:



в реакционной системе установилось химическое равновесие. Используя данные, приведенные в таблице, определите исходные концентрации всех реагирующих веществ, а также равновесные концентрации воды и оксида серы (IV), если к моменту наступления равновесия прореагировало 25% сероводорода.

| Вещества                         | H <sub>2</sub> S | O <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | SO <sub>2</sub> |
|----------------------------------|------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Исходная концентрация, моль/л    |                  |                |                  |                 |
| Равновесная концентрация, моль/л | 2,4              | 2,4            |                  |                 |

**20 баллов**

#### **Решение.**

Для любого вещества, принимающего участия в реакции, определяют три вида концентраций:

- исходная концентрация – C<sub>0</sub>, моль/л
- изменение концентрации – ΔC, моль/л
- равновесная концентрация – C<sub>равн.</sub>, моль/л

Между этими концентрациями существует связь:

– для реагентов:  $C_0 = C_{\text{равн.}} + \Delta C$

– для продуктов:  $C_0 = C_{\text{равн.}} - \Delta C$

1) Определим начальную концентрацию сероводорода и изменение его концентрации  $\Delta C(\text{H}_2\text{S})$

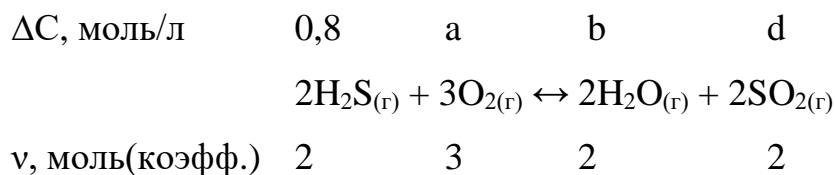
Прореагировало 25% сероводорода, поэтому в равновесной системе осталось 75% сероводорода (2,4 моль/л).

Тогда  $C_0(\text{H}_2\text{S}) = 2,4/0,75 = 3,2$  моль/л.

$\Delta C(\text{H}_2\text{S}) = 3,2 \cdot 0,25 = 0,8$  моль/л. (56.)

2) Определим изменение концентраций кислорода, воды, оксида серы(IV).

При постоянном объеме изменение концентраций веществ  $\Delta C$  в уравнении реакции относятся друг к другу как количества веществ (коэффициенты)



$\Delta C(\text{O}_2) = 3/2 \cdot \Delta C(\text{H}_2\text{S}) = 3/2 \cdot 0,8 = 1,2$  моль/л;

$\Delta C(\text{H}_2\text{O}) = \Delta C(\text{H}_2\text{S}) = 0,8$  моль/л;

$\Delta C(\text{SO}_2) = \Delta C(\text{H}_2\text{S}) = 0,8$  моль/л. (86.)

3) Определим исходную концентрацию кислорода  $C_0(\text{O}_2)$

$C_0(\text{O}_2) = C_{\text{равн.}}(\text{O}_2) + \Delta C(\text{O}_2) = 2,4 + 1,2 = 3,6$  моль/л. (26.)

4) Определим исходные концентрации  $C_0$  и равновесные концентрации  $C_{\text{равн.}}$  воды и оксида серы(IV)

Исходные концентрации продуктов, если про них ничего не говорится в условии задачи, равны 0.

$C_0(\text{H}_2\text{O}) = 0$  моль/л;  $C_0(\text{SO}_2) = 0$  моль/л;

$C_{\text{равн.}}(\text{H}_2\text{O}) = C_0(\text{H}_2\text{O}) + \Delta C(\text{H}_2\text{O}) = 0 + 0,8 = 0,8$  моль/л;

$C_{\text{равн.}}(\text{SO}_2) = C_0(\text{SO}_2) + \Delta C(\text{SO}_2) = 0 + 0,8 = 0,8$  моль/л. (56.)

| Вещества                                       | H <sub>2</sub> S | O <sub>2</sub> | H <sub>2</sub> O | SO <sub>2</sub> |
|--|------------------|----------------|------------------|-----------------|
| Исходная концентрация, C <sub>0</sub> , моль/л | 3,2              | 3,6            | 0                | 0               |
| Изменение концентрации, ΔC, моль/л             | 0,8              | 1,2            | 0,8              | 0,8             |

|   |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|
| Равновесная концентрация, $C_{\text{равн.}}$ , моль/л | 2,4 | 2,4 | 0,8 | 0,8 |
|---|-----|-----|-----|-----|

**20 баллов**

**Задача 5.**

Органическое вещество А может быть получено при взаимодействии карбоновой кислоты В с хлороводородом. При сжигании вещества А массой 4,34 г образовалось 5,28 г углекислого газа и 1,44 г воды. Если продукты сгорания такого же по массе образца вещества А пропустить через избыток раствора нитрата серебра, то выпадет 5,74 г осадка. На основании данных задачи:

1. Проведите необходимые вычисления (формулы, применяемые для вычислений, должны быть приведены). Указывайте единицы измерения искомых физических величин.

2. Составьте структурную формулу вещества А, которая однозначно отражает порядок связи атомов в его молекуле.

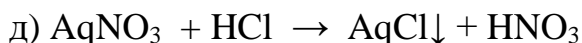
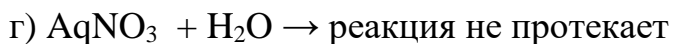
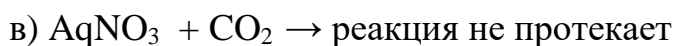
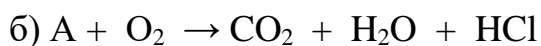
3. Напишите уравнение реакции получения вещества А из карбоновой кислоты В и хлороводорода, используя структурные формулы органических веществ.

4. Приведите название карбоновой кислоты В.

**20 баллов**

**Решение.**

1) В состав вещества А входит хлор



**(26)**

2) По уравнению (д) определяем количество моль и массу атомов хлора и части атомов водорода

$$v(Cl) = v(AqCl) = m(AqCl)/M(AqCl) = 5,74/143,5 = 0,04 \text{ моль}$$

$$m(Cl) = v(Cl) \cdot M(Cl) = 0,04 \cdot 35,5 = 1,42 \text{ г}$$

$$v_1(\text{H}) = v(\text{Cl}) = 0,04 \text{ моль}$$

$$m_1(\text{H}) = v_1(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,04 \cdot 1 = 0,04 \text{ г} \quad (36)$$

3) По уравнению (б) определяем количество моль и массу атомов углерода и атомов водорода

$$v(\text{C}) = v(\text{CO}_2) = m(\text{CO}_2)/M(\text{CO}_2) = 5,28/44 = 0,12 \text{ моль}$$

$$m(\text{C}) = v(\text{C})M(\text{C}) = 0,12 \cdot 12 = 1,44 \text{ г}$$

$$v_2(\text{H}) = 2 \cdot v(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot m(\text{H}_2\text{O})/M(\text{H}_2\text{O}) = 2 \cdot 1,44/18 = 0,16 \text{ моль}$$

$$m_2(\text{H}) = v_2(\text{H}) \cdot M(\text{H}) = 0,16 \cdot 1 = 0,16 \text{ г}$$

$$m_{\text{общая}} = m_1 + m_2 = 0,04 + 0,16 = 0,2 \text{ г} \quad (36)$$

4) По массе вещества А определяем массу и количество моль атомов кислорода

$$m(\text{O}) = m(\text{A}) - m(\text{C}) - m(\text{H}) - m(\text{Cl}) = 4,34 - 1,44 - 0,2 - 1,42 = 1,28 \text{ г}$$

$$v(\text{O}) = m(\text{O})/M(\text{O}) = 1,28/16 = 0,08 \text{ моль} \quad (36)$$

5) Находим молекулярную формулу вещества А:  $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}_z\text{O}_f$

$$x : y : z : f = v(\text{C}) : v(\text{H}) : v(\text{Cl}) : v(\text{O}) = 0,12 : 0,2 : 0,04 : 0,08 = 3 : 5 : 1 : 2$$

Молекулярная формула –  $\text{C}_3\text{H}_5\text{ClO}_2$  (36)

6) Структурная формула вещества А:  $\text{CH}_2(\text{Cl})\text{—CH}_2\text{—COOH}$  (26)

7) Уравнение реакции:  $\text{CH}_2=\text{CH—COOH} + \text{HCl} \rightarrow \text{CH}_2(\text{Cl})\text{—CH}_2\text{—COOH}$

(присоединение  $\text{HCl}$  происходит против правила Марковникова, поскольку  $\text{—COOH}$  оттягивает электронную плотность на себя).

$\text{CH}_2=\text{CH—COOH}$  – пропеновая или акриловая кислота (46)

**20 баллов**