

**Задания заключительного этапа Олимпиады школьников СПбГУ по химии 2019/2020 учебного года**

8 класс

**Задача №1. «Согрей себя сам» 25 баллов**

**Вариант 1**

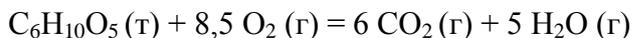
Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом 40 м<sup>3</sup> до 25 °С, если начальная температура комнаты -15 °С, теплоёмкость воздуха 1005 Дж/кг·°С, плотность воздуха 1,21 кг/м<sup>3</sup> а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )г	CO <sub>2</sub> , г	H <sub>2</sub> O, г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

*Решение:*

Древесина в основном состоит из целлюлозы (C<sub>6</sub>H<sub>10</sub>O<sub>5</sub>). Запишем её реакцию горения:



Теперь рассчитаем энтальпию реакции горения из  $\Delta_f H^\circ$

$$\Delta_c H^\circ = 5 * \Delta_f H^\circ (H_2O) + 6 * \Delta_f H^\circ (CO_2) - \Delta_f H^\circ (C_6H_{10}O_5) = 5 * (-241,8) + 6 * (-393,5) - (-988,6) = -2581,4 \text{ кДж/моль.}$$

Таким образом, при сжигании 1 моля целлюлозы выделяется 2581,4 кДж теплоты.

Теперь рассчитаем то количество теплоты, которое необходимо сообщить воздуху в комнате чтобы нагреть его от -15 до 25°С:

$$Q = 40 \text{ м}^3 * 1,21 \text{ кг/м}^3 * 1005 \text{ Дж/кг} \cdot \text{°С} * 40 \text{ °С} = 1945,68 \text{ кДж теплоты.}$$

Таким образом, для обогрева комнаты потребуется сжечь всего 0,75 моль целлюлозы или 121,5 г дров.

**Ответ:** 121,5 г дров=0,121 кг дров

В реальности требуется гораздо большее количество дров так как:

- 1) Древесина сгорает не полностью, большое количество целлюлозы разлагается до простого угля (и улетает в виде сажи) с поглощением теплоты
- 2) В дровах обычно бывает до 30% воды и таким образом некоторая часть энергии тратится на её нагрев
- 3) Воздух также может быть влажным и его теплоёмкость сильно повысится.

### Вариант 2

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть дом объёмом  $200 \text{ м}^3$  до  $20 \text{ °C}$ , если начальная температура комнаты  $-10 \text{ °C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )г	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 458,3 г дров = 0,458 кг дров

### Вариант 3

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом  $30 \text{ м}^3$  до  $25 \text{ °C}$ , если начальная температура комнаты  $-5 \text{ °C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )г	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 68,8г дров = 0,068 кг дров

### Вариант 4

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Однако оказалось, что на даче есть только сахар. Определите сколько сахара в граммах необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом  $40 \text{ м}^3$  до  $25 \text{ °C}$ , если начальная температура комнаты  $-15 \text{ °C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Сахароза $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-2222,1	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. Горит ли сахар при обычных условиях? Что нужно изменить, чтобы реакция начала протекать? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 129,1 г сахара

### Вариант 5

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Однако оказалось, что на даче есть только сахар. Определите сколько сахара в граммах необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть дом объёмом  $200 \text{ м}^3$  до  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , если начальная температура комнаты  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Сахароза	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-2222,1 $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$	-393,5	-241,8

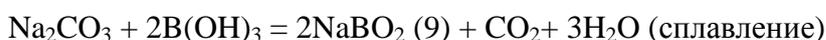
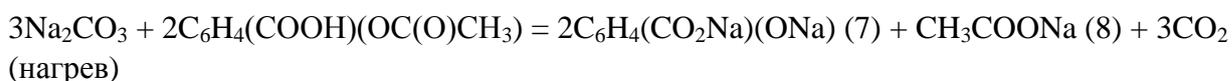
Оцените полученное решение. Горит ли сахар при обычных условиях? Что нужно изменить, чтобы реакция начала протекать? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 484,0 г сахара

### Задача №2. Химический синтез в домашних условиях. 25 баллов

**Вариант 1.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только** тех, которые входят в состав *домашней аптечки*. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

*Решение (один из возможных вариантов):*



**Вариант 2.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только пищевых продуктов**. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

**Вариант 3.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только средств бытовой химии**. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

**Вариант 4.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только товаров для садоводов**. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

### Задача 3. Соседи. 25 баллов

**Вариант 1.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Каждый элемент при определённых условиях реагирует с молекулярным водородом с образованием твердого соединения. Массовая доля водорода в них составляет 12.7 % для Э1 и 7.7 % для Э2. Полученные твердые соединения разлагаются водой с образованием бесцветного газа без вкуса и запаха. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Напишите уравнения реакций сгорания простых веществ Э1 и Э2 на воздухе. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

#### Решение

В общем виде формула водородного соединения может быть записана как ЭН<sub>x</sub>, где x – степень окисления элемента.

Зная массовые доли водорода в водородных соединениях, можно определить неизвестные элементы.

Для первого элемента:

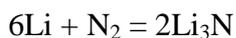
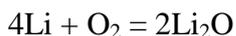
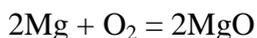
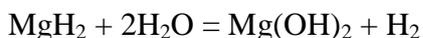
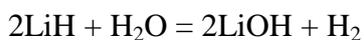
$$\omega(\text{H}) = \frac{M(\text{H}) \cdot x}{M(\text{H}) \cdot x + M(\text{Э1})}$$

$$0,127 = \frac{1 \cdot x}{x + M(\text{Э})}$$

$$M(\text{Э}) = \frac{0,873x}{0,127} = 6.9x$$

При x = 1 получаем Li. Аналогично для второго элемента при x = 2 получаем Mg.

Уравнения реакций:



Схожесть в свойствах может быть проиллюстрирована, например, термическим разложением нитратов с образованием оксидов:



Ответ: Li, Mg.

**Вариант 2.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Известно соединение Э1 с углеродом (массовая доля углерода составляет 72.7 %), при обработке которого соляной кислотой выделяется газ, имеющий плотность по водороду 13. Э2 с углеродом образует соединение, массовая доля углерода в котором составляет 25 %, а при обработке полученного соединения соляной кислотой выделяется газ, имеющий плотность по водороду 8. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. В состав какого минерала входят оба этих элемента? Напишите уравнения реакций взаимодействия Э1 и Э2 со щёлочью. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

Ответ: Be, Al.

**Вариант 3.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Простые вещества при определённых условиях активно взаимодействуют с водородом, образуя продукты, массовая доля водорода в которых составляет 11.2 % для Э1 и 2.7 % для Э2. Известно также и другое соединение Э1 с водородом, массовая доля водорода в котором составляет 5.9 %. При сжигании во фторе простого вещества Э2 образуется газ, сжижающийся ниже 10 °С в желто-зелёную взрывчатую жидкость, воспламеняющую бетон и песок. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Какие простые вещества образует элемент Э1? Напишите известные вам соединения элементов Э1 и Э2 между собой. Как можно получить эти бинарные соединения? Приведите примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

Ответ: O, Cl.

**Вариант 4.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. И Э1, и Э2 образуют большое количество разнообразных простых веществ. При сжигании простых веществ в избытке хлора и приведении продуктов реакции к комнатной температуре образуются прозрачная бесцветная жидкость, устойчивая на воздухе и белое твердое вещество, дымящее на воздухе. Массовая доля хлора в полученных соединениях составляет 92.2 % в случае Э1 и 85.1 % в случае Э2. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Напишите уравнения реакций взаимодействия простых веществ Э1 и Э2 с алюминием. Что произойдёт, если к полученные продукты облить водой? Приведите примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения элементов Э1 и Э2 и их соединений.

Ответ: C, P.

**Вариант 5.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Один из элементов занимает второе место по распространённости на Земле. При сжигании простых веществ во фторе и приведении продуктов реакции к комнатной температуре для Э1 образуется бесцветный газ, имеющий плотность по водороду 34, а для Э2 - бесцветный газ, имеющий плотность по водороду 52. При растворении каждого газа в воде реакция среды становится кислой. Что происходит при смешении этих газов с газообразным аммиаком? Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их

проведения. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения элементов Э1 и Э2 и их соединений.

Ответ: B, Si.

#### **Задача №4. Из жизни аквалангистов. 25 баллов**

##### **Вариант 1.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 306,530 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 305,661 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 1120 мл. Температура в комнате составляла 20 °С, а давление – 730 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Какую массу серы можно сжечь смесью, содержащейся в баллоне?

*Решение:*

Переведем давление, объем колбы в единицы СИ, а температуру в градусы Кельвина:

$$P = 730 \text{ мм.рт.ст.} = 730/760 \cdot 101300 \text{ Па} = 97300 \text{ Па}$$

$$V = 1120 \text{ мл} = 0,001120 \text{ м}^3$$

$$T = 20 \text{ }^\circ\text{C} = 293 \text{ К}$$

Из уравнения Менделеева-Клайперона ( $PV=nRT$ ) определим количество вещества газа, находящегося в колбе:  $n = PV/RT = 97300 \text{ Па} \cdot 0,001120 \text{ м}^3 / (293 \text{ К} \cdot 8,31 \text{ Па} \cdot \text{м}^3 / \text{моль} \cdot \text{К}) = 0,0448 \text{ моль}$ .

*Альтернативный подход: находим молярный объем при 20 °С и 730 мм.рт.ст.  $V_m(20 \text{ }^\circ\text{C}, 730 \text{ мм.рт.ст.}) = 22,4 \text{ л/моль} \cdot (760/730) \cdot (293/273) = 25,03 \text{ л/моль}$*

*Количество вещества газа, находящегося в колбе равно:  $n = V_{\text{колбы}} / V_m(20 \text{ }^\circ\text{C}, 730 \text{ мм.рт.ст.}) = 1,12 \text{ л} / 25,03 \text{ л/моль} = 0,0447 \text{ моль}$ .*

Найдем массу воздуха в колбе:

$$m_{\text{возд}} = 29 \text{ г/моль} \cdot 0,0448 \text{ моль} = 1,299 \text{ г}$$

$$\text{Найдем массу колбы: } m_{\text{колба}} = m_{\text{колба+возд}} - m_{\text{возд}} = 306,530 \text{ г} - 1,299 \text{ г} = 305,231 \text{ г}$$

$$\text{Найдем массу кислородно-гелиевой смеси: } m_{\text{He+O}_2} = m_{\text{колба+He+O}_2} - m_{\text{колба}} = 305,661 \text{ г} - 305,231 \text{ г} = 0,430 \text{ г}$$

Найдем молярную массу кислородно-гелиевой смеси:

$$M(\text{He+O}_2) = 0,430 \text{ г} / 0,0448 \text{ моль} = 9,60 \text{ г/моль}$$

Найдем мольные доли гелия  $X(\text{He})$  и кислорода  $X(\text{O}_2)$  в смеси, учитывая, что  $X(\text{O}_2) + X(\text{He}) = 1$

$$\text{Молярная масса смеси газов равна } M(\text{He+O}_2) = X(\text{He}) \cdot M(\text{He}) + X(\text{O}_2) \cdot M(\text{O}_2) = X(\text{He}) \cdot M(\text{He}) + (1 - X(\text{He})) \cdot M(\text{O}_2)$$

$$X(\text{He}) \cdot 4 + (1 - X(\text{He})) \cdot 32 = 9,60$$

$$X(\text{He}) = 0,8$$

$$X(\text{O}_2) = 1 - 0,8 = 0,2$$

Объемные доли гелия и кислорода так относятся друг к другу их мольные доли.

$$\omega_{\text{об}}(\text{O}_2) / \omega_{\text{об}}(\text{He}) = X(\text{O}_2) / X(\text{He})$$

Таким образом, в смеси содержится 80% гелия и 20% кислорода (по объему)

**Вариант 2.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 302,430 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 301,657 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 1050 мл. Температура в комнате составляла 25 °С, а давление – 760 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Определите массу калия, которая можно прореагировать при нагревании со смесью, содержащейся в баллоне?

*Ответ: в смеси содержится 75% гелия и 25% кислорода (по объему)*

**Вариант 3.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 311,969 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 311,110 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 1180 мл. Температура в комнате составляла 22 °С, а давление – 780 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Определите массу натрия, которая можно прореагировать при нагревании со смесью, содержащейся в баллоне?

*Ответ: в смеси содержится 72% гелия и 28% кислорода (по объему)*

**Вариант 4.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 148,738 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 148,379 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 530 мл. Температура в комнате составляла 18 °С, а давление – 740 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Определите массу каюариялия, которая можно прореагировать при нагревании со смесью, содержащейся в баллоне?

*Ответ: в смеси содержится 70% гелия и 30% кислорода (по объему)*

**Вариант 5.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 157,181 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 158,820 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её

водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 540 мл. Температура в комнате составляла  $23^{\circ}\text{C}$ , а давление – 770 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Какую массу чугуна, содержащего 4,5% углерода по массе, можно окислить смесью, содержащейся в баллоне?

*Ответ: в смеси содержится 68% гелия и 32% кислорода (по объему)*

### **Вариант 6.**

(25 баллов) Школьник Петя нашел баллон для аквалангистов с надписью «кислородно-гелиевая смесь». Для определения состава данной смеси Петя проделал серию опытов. Петя взял колбу, закрыл её плотно пробкой и определил её массу с воздухом внутри. Масса составила 80,417 г. Затем Петя заполнил колбу смесью из баллона и взвесил колбу. Масса составила 80,257 г. После этого Петя определил объем колбы, заполнив её водой, и затем с помощью мерного цилиндра определив объем воды в колбе. Объем колбы составил 260 мл. Температура в комнате составляла  $24^{\circ}\text{C}$ , а давление – 750 мм.рт.ст. Определите объемные доли кислорода и гелия в баллоне. Среднюю молярную массу воздуха примите за 29 г/моль. Какую массу бронзы, содержащую 15% олова по массе, можно окислить смесью, содержащейся в баллоне?

*Ответ: в смеси содержится 65% гелия и 35% кислорода (по объему)*

## **9 класс.**

### **Задача № 1. 20 баллов**

**Вариант 1.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре  $600^{\circ}\text{C}$  и давлении 1 атмосфера. При этом получили 15,04 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,18 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Решение:*

1. Определим мольный объем газа при указанных условиях.

$$V_m = 22,4 \cdot (273,15 + 600) : 273,15 = 71,6 \text{ л/моль.}$$

Тогда средняя молярная масса газа составляет

$$M = 71,6 \cdot 1,18 = 84,49 \text{ г/моль}$$

Количество вещества полученных газообразных продуктов составляет 0,21 моль

2. Полученное значение средней молярной массы указывает на то, что помимо диоксида азота и кислорода в состав газовой смеси входит еще как минимум один, притом тяжелый компонент. С большой долей вероятности таким компонентом является ртуть, а один из искомым нитратов –  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  или  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ :



3. Рассмотрим возможные варианты:

А) второй нитрат разлагается до нитрита и кислорода. Тогда возможно четыре варианта:

(1)  $x$  моль  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{MNO}_3$

(2)  $x$  моль  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_2$

(3)  $x$  моль  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{MNO}_3$

(4)  $x$  моль  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_2$

(1) Средняя молярная масса газообразных продуктов разложения составляет

$$x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 16 = 84,49 \cdot (4x + 0,5y),$$

$$\text{при этом } 4x + 0,5y = 0,21$$

Тогда  $x = 0,056$  моль,  $y < 0$  – решения нет

$$(2) x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 32 = 84,49 \cdot (4x + y),$$

$$4x + y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет  $38,73$  г/моль – таких нитратов нет

$$(3) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 16 = 84,49 \cdot (5x + 0,5y),$$

$$5x + 0,5y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет  $26,7$  г/моль – таких нитратов нет

$$(4) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 32 = 84,49 \cdot (5x + y),$$

$$5x + y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет  $42,9$  г/моль – таких нитратов нет

Б) второй нитрат разлагается до оксида металла, диоксида азота и кислорода. Тогда (считая, что степень окисления металла при этом остается неизменной) также возможно четыре варианта:

(1)  $x$  моль  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_2$

(2)  $x$  моль  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_3$

(3)  $x$  моль  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_2$

(4)  $x$  моль  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$  +  $y$  моль  $\text{M}(\text{NO}_3)_3$

(1) Средняя молярная масса газообразных продуктов разложения составляет

$$x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (2 \cdot 46 + 0,5 \cdot 32) = 84,49 \cdot (4x + 2,5y),$$

$$\text{при этом } 4x + 2,5y = 0,21$$

Тогда  $x = 0,041$  моль,  $y < 0$  – решения нет

$$(2) x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (3 \cdot 46 + 0,75 \cdot 32) = 84,49 \cdot (4x + 3,75y),$$

$$4x + 3,75y = 0,21$$

$y < 0$  – решения нет

$$(3) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (2 \cdot 46 + 0,5 \cdot 32) = 84,49 \cdot (5x + 2,5y),$$

$$5x + 2,5y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет 189,0 г/моль – это нитрат цинка.

Количество вещества обоих нитратов составляет по 0,028 моль. Тогда массовая доля нитрата цинка составляет  $0,028 \cdot 189 / 20 = 26,46\%$ , массовая доля нитрата ртути – 73,54%.

*Ответ: смесь состоит из 26,46%  $Zn(NO_3)_2$  и 73,54%  $Hg_2(NO_3)_2$ .*

**Вариант 2.** Смесь двух нитратов металлов массой 15,0 г прокалили при температуре 600 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 13,78 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 0,85 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 51,25%  $Cu(NO_3)_2$  и 48,75%  $Hg(NO_3)_2$ .*

**Вариант 3.** Смесь двух нитратов металлов массой 10,0 г прокалили при температуре 700 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 9,43 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 0,984 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 29%  $Al(NO_3)_3$  и 71%  $Hg_2(NO_3)_2$ .*

**Вариант 4.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре 700 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 12,38 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 0,736 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 50%  $Al(NO_3)_3$  и 50%  $Hg(NO_3)_2$ .*

**Вариант 5.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре 550 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 21,43 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,102 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 50%  $Hg_2(NO_3)_2$  и 50%  $AgNO_3$*

**Вариант 6.** Смесь двух нитратов металлов массой 12,0 г прокалили при температуре 550 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 9,00 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,041 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 65,63%  $Hg_2(NO_3)_2$  и 34,37%  $AgNO_3$*

**Задача №2. «Согрей себя сам» 20 баллов**

### Вариант 1

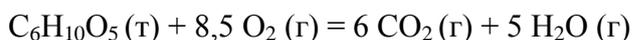
Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом  $40 \text{ м}^3$  до  $25 \text{ °C}$ , если начальная температура комнаты  $-15 \text{ °C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза ( $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ )г	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

*Решение:*

Древесина в основном состоит из целлюлозы ( $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}_5$ ). Запишем её реакцию горения:



Теперь рассчитаем энтальпию реакции горения из  $\Delta_f H^\circ$

$$\Delta_c H^\circ = 5 \cdot \Delta_f H^\circ (\text{H}_2\text{O}) + 6 \cdot \Delta_f H^\circ (\text{CO}_2) - \Delta_f H^\circ (\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5) = 5 \cdot (-241,8) + 6 \cdot (-393,5) - (-988,6) = -2581,4 \text{ кДж/моль.}$$

Таким образом, при сжигании 1 моля целлюлозы выделяется  $2581,4 \text{ кДж}$  теплоты.

Теперь рассчитаем то количество теплоты, которое необходимо сообщить воздуху в комнате чтобы нагреть его от  $-15$  до  $25 \text{ °C}$ :

$$Q = 40 \text{ м}^3 \cdot 1,21 \text{ кг/м}^3 \cdot 1005 \text{ Дж/кг}\cdot\text{°C} \cdot 40 \text{ °C} = 1945,68 \text{ кДж теплоты.}$$

Таким образом, для обогрева комнаты потребуется сжечь всего  $0,75$  моль целлюлозы или  $121,5 \text{ г}$  дров.

**Ответ:**  $121,5 \text{ г дров} = 0,121 \text{ кг дров}$

В реальности требуется гораздо большее количество дров так как:

- 1) Древесина сгорает не полностью, большое количество целлюлозы разлагается до простого угля (и улетает в виде сажи) с поглощением теплоты
- 2) В дровах обычно бывает до 30% воды и таким образом некоторая часть энергии тратится на её нагрев
- 3) Воздух также может быть влажным и его теплоёмкость сильно повысится.

### Вариант 2

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть дом объёмом  $200 \text{ м}^3$  до  $20 \text{ °C}$ , если начальная

температура комнаты -10 °С, теплоёмкость воздуха 1005 Дж/кг·°С, плотность воздуха 1,21 кг/м<sup>3</sup> а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )г	CO <sub>2</sub> , г	H <sub>2</sub> O, г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 458,3 г дров = 0,458 кг дров

### Вариант 3

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Определите количество дров в кг, которое необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом 30 м<sup>3</sup> до 25 °С, если начальная температура комнаты -5 °С, теплоёмкость воздуха 1005 Дж/кг·°С, плотность воздуха 1,21 кг/м<sup>3</sup> а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Целлюлоза (C <sub>6</sub> H <sub>10</sub> O <sub>5</sub> )г	CO <sub>2</sub> , г	H <sub>2</sub> O, г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-988,6	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. В чём могут быть причины получения такого значения? Ответ обоснуйте.

**Ответ:** 68,8г дров = 0,068 кг дров

### Вариант 4

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Однако оказалось, что на даче есть только сахар. Определите сколько сахара в граммах необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть комнату объёмом 40 м<sup>3</sup> до 25 °С, если начальная температура комнаты -15 °С, теплоёмкость воздуха 1005 Дж/кг·°С, плотность воздуха 1,21 кг/м<sup>3</sup> а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Сахароза C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> O <sub>11</sub>	CO <sub>2</sub> , г	H <sub>2</sub> O, г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-2222,1	-393,5	-241,8

Оцените полученное решение. Горит ли сахар при обычных условиях? Что нужно изменить, чтобы реакция начала протекать? Ответ обоснуйте.

Ответ: 129,1 г сахара

### Вариант 5

Школьник Петя поехал зимой на дачу. Когда он приехал, оказалось, что в доме было очень холодно, и он решил затопить печку. Однако оказалось, что на даче есть только сахар. Определите сколько сахара в граммах необходимо сжечь Пете, чтобы нагреть дом объёмом  $200 \text{ м}^3$  до  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , если начальная температура комнаты  $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ , теплоёмкость воздуха  $1005 \text{ Дж/кг}\cdot^\circ\text{C}$ , плотность воздуха  $1,21 \text{ кг/м}^3$  а стандартные теплоты образования веществ представлены в таблице.

Вещество	Сахароза	$\text{CO}_2$ , г	$\text{H}_2\text{O}$ , г
$\Delta_f H^\circ$ кДж/моль	-2222,1	-393,5	-241,8
	$\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$		

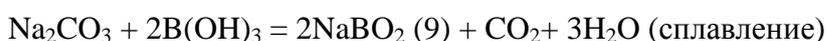
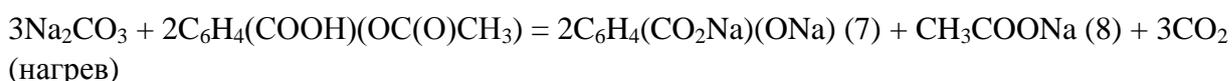
Оцените полученное решение. Горит ли сахар при обычных условиях? Что нужно изменить, чтобы реакция начала протекать? Ответ обоснуйте.

Ответ: 484,0 г сахара

### Задача №3. Химический синтез в домашних условиях. 20 баллов

**Вариант 1.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только** тех, которые входят в состав *домашней аптечки*. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

*Решение (один из возможных вариантов):*



**Вариант 2.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только** *пищевых продуктов*. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

**Вариант 3.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только** *средств бытовой химии*. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

**Вариант 4.** Предложите 10 веществ, которые могут быть получены в одну или несколько стадий с использованием в качестве исходных веществ **только товаров для садоводов**. Приведите уравнения соответствующих реакций, укажите условия их осуществления.

**Задача 4. Соседи. 20 баллов**

**Вариант 1.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Каждый элемент при определенных условиях реагирует с молекулярным водородом с образованием твердого соединения. Массовая доля водорода в них составляет 12.7 % для Э1 и 7.7 % для Э2. Полученные твердые соединения разлагаются водой с образованием бесцветного газа без вкуса и запаха. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Напишите уравнения реакций сгорания простых веществ Э1 и Э2 на воздухе. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

*Решение*

В общем виде формула водородного соединения может быть записана как ЭН<sub>x</sub>, где x – степень окисления элемента.

Зная массовые доли водорода в водородных соединениях, можно определить неизвестные элементы.

Для первого элемента:

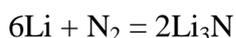
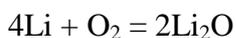
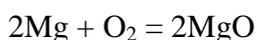
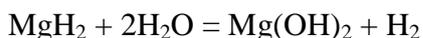
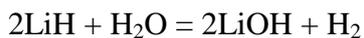
$$\omega(\text{H}) = \frac{M(\text{H}) \cdot x}{M(\text{H}) \cdot x + M(\text{Э1})}$$

$$0,127 = \frac{1 \cdot x}{x + M(\text{Э})}$$

$$M(\text{Э}) = \frac{0,873x}{0,127} = 6,9x$$

При x = 1 получаем Li. Аналогично для второго элемента при x = 2 получаем Mg.

Уравнения реакций:



Схожесть в свойствах может быть проиллюстрирована, например, термическим разложением нитратов с образованием оксидов:



Ответ: Li, Mg.

**Вариант 2.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Известно соединение Э1 с углеродом (массовая доля углерода составляет 72.7 %), при обработке которого соляной кислотой выделяется газ, имеющий плотность по водороду 13. Э2 с углеродом образует соединение, массовая доля углерода в котором составляет 25 %, а при обработке полученного соединения соляной кислотой выделяется газ, имеющий плотность по водороду 8. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. В состав какого минерала входят оба этих элемента? Напишите уравнения реакций взаимодействия Э1 и Э2 со щёлочью. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

Ответ: Be, Al.

**Вариант 3.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Простые вещества при определённых условиях активно взаимодействуют с водородом, образуя продукты, массовая доля водорода в которых составляет 11.2 % для Э1 и 2.7 % для Э2. Известно также и другое соединение Э1 с водородом, массовая доля водорода в котором составляет 5.9 %. При сжигании во фторе простого вещества Э2 образуется газ, сжижающийся ниже 10 °С в желто-зелёную взрывчатую жидкость, воспламеняющую бетон и песок. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Какие простые вещества образует элемент Э1? Напишите известные вам соединения элементов Э1 и Э2 между собой. Как можно получить эти бинарные соединения? Приведите примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения этих элементов и их соединений.

Ответ: O, Cl.

**Вариант 4.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. И Э1, и Э2 образуют большое количество разнообразных простых веществ. При сжигании простых веществ в избытке хлора и приведении продуктов реакции к комнатной температуре образуются прозрачная бесцветная жидкость, устойчивая на воздухе и белое твердое вещество, дымящее на воздухе. Массовая доля хлора в полученных соединениях составляет 92.2 % в случае Э1 и 85.1 % в случае Э2. Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Напишите уравнения реакций взаимодействия простых веществ Э1 и Э2 с алюминием. Что произойдёт, если к полученные продукты

облить водой? Приведите примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения элементов Э1 и Э2 и их соединений.

Ответ: С, Р.

**Вариант 5.** Два элемента Э1 и Э2, находящиеся в соседних клетках Периодической системы, обладают схожими химическими свойствами. Один из элементов занимает второе место по распространённости на Земле. При сжигании простых веществ во фторе и приведении продуктов реакции к комнатной температуре для Э1 образуется бесцветный газ, имеющий плотность по водороду 34, а для Э2 - бесцветный газ, имеющий плотность по водороду 52. При растворении каждого газа в воде реакция среды становится кислой. Что происходит при смешении этих газов с газообразным аммиаком? Определите элементы Э1 и Э2, напишите уравнения протекающих реакций и укажите условия их проведения. Приведите дополнительные примеры, иллюстрирующие схожесть химического поведения элементов Э1 и Э2 и их соединений.

Ответ: В, Si.

#### **Задача 5. Без воды. 20 баллов**

**Вариант 1.** Предложите способ синтеза *безводного* нитрата титана (IV) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

*Решение (один из вариантов)*

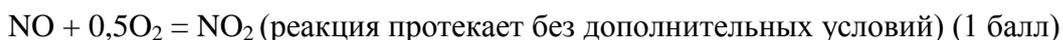
Главное, что должно быть в решении задачи – не использовать в ходе синтеза конечного продукта водные растворы или не использовать растворы вообще. Получение азотной кислоты из простых веществ: 1ая стадия – синтез аммиака:



2ая – его каталитическое окисление до NO,



3-ая окисление NO до NO<sub>2</sub>



4ая реакция NO<sub>2</sub> с водой в присутствии кислорода.

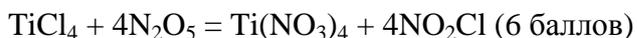


Синтез ведется с использованием N<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, который может быть получен обезвоживанием азотной кислоты с помощью оксида фосфора:



Реакцию следует проводить при пониженной температуре и в токе кислорода, с примесью озона для предотвращения разложения  $N_2O_5$ . (1 балл) Основные примеси – оксиды азота в более низких степенях окисления (1 балл). В качестве альтернативного метода синтеза можно предложить окисление  $NO_2$  озоном по реакции:  $NO_2 + O_3 = N_2O_5 + O_2$ .

Конечный продукт получают по реакции:



Реакцию проводят в растворе  $CCl_4$ . (2 балла) Четыреххлористый титан можно получить прямым синтезом или хлорированием диоксида.



Основной способ очистки конечного продукта – пересублимация в вакууме. (2 балла) Основные примеси – оксиды азота в более низких степенях окисления кислород и  $NOCl$  (2 балл).

**Вариант 2.** Предложите способ синтеза *безводного*  $CrO_2(NO_3)_2$  (нитрата хромила) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 3.** Предложите способ синтеза *безводного*  $Cl(NO_3)$  (нитрата хлора) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 4.** Предложите способ синтеза *безводного*  $Br(NO_3)$  (нитрата брома) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 5.** Предложите способ синтеза *безводного*  $I(NO_3)_3$  (нитрата йода) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

## 10 класс

### Задача № 1. 20 баллов

**Вариант 1.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре 600 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 15,04 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,18 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Решение:*

1. Определим мольный объем газа при указанных условиях.

$$V_m = 22,4 \cdot (273,15 + 600) : 273,15 = 71,6 \text{ л/моль.}$$

Тогда средняя молярная масса газа составляет

$$M = 71,6 \cdot 1,18 = 84,49 \text{ г/моль}$$

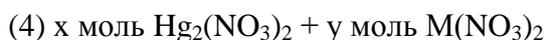
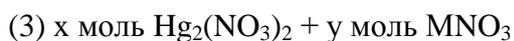
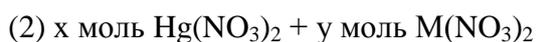
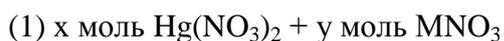
Количество вещества полученных газообразных продуктов составляет 0,21 моль

2. Полученное значение средней молярной массы указывает на то, что помимо диоксида азота и кислорода в состав газовой смеси входит еще как минимум один, притом тяжелый компонент. С большой долей вероятности таким компонентом является ртуть, а один из искомым нитратов –  $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$  или  $\text{Hg}_2(\text{NO}_3)_2$ :



3. Рассмотрим возможные варианты:

А) второй нитрат разлагается до нитрита и кислорода. Тогда возможно четыре варианта:



(1) Средняя молярная масса газообразных продуктов разложения составляет

$$x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 16 = 84,49 \cdot (4x + 0,5y),$$

$$\text{при этом } 4x + 0,5y = 0,21$$

Тогда  $x = 0,056$  моль,  $y < 0$  – решения нет

$$(2) x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 32 = 84,49 \cdot (4x + y),$$

$$4x + y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет 38,73 г/моль – таких нитратов нет

$$(3) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 16 = 84,49 \cdot (5x + 0,5y),$$

$$5x + 0,5y = 0,21$$

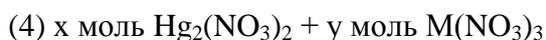
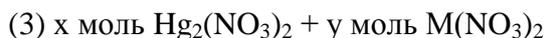
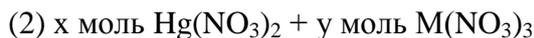
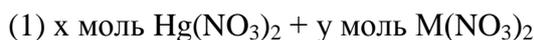
Молярная масса второго нитрата составляет 26,7 г/моль – таких нитратов нет

$$(4) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot 32 = 84,49 \cdot (5x + y),$$

$$5x + y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет 42,9 г/моль – таких нитратов нет

Б) второй нитрат разлагается до оксида металла, диоксида азота и кислорода. Тогда (считая, что степень окисления металла при этом остается неизменной) также возможно четыре варианта:



(1) Средняя молярная масса газообразных продуктов разложения составляет

$$x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (2 \cdot 46 + 0,5 \cdot 32) = 84,49 \cdot (4x + 2,5y),$$

при этом  $4x + 2,5y = 0,21$

Тогда  $x = 0,041$  моль,  $y < 0$  – решения нет

$$(2) x \cdot (200,6 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (3 \cdot 46 + 0,75 \cdot 32) = 84,49 \cdot (4x + 3,75y),$$

$$4x + 3,75y = 0,21$$

$y < 0$  – решения нет

$$(3) x \cdot (200,6 \cdot 2 + 2 \cdot 46 + 32) + y \cdot (2 \cdot 46 + 0,5 \cdot 32) = 84,49 \cdot (5x + 2,5y),$$

$$5x + 2,5y = 0,21$$

Молярная масса второго нитрата составляет 189,0 г/моль – это нитрат цинка.

Количество вещества обоих нитратов составляет по 0,028 моль. Тогда массовая доля нитрата цинка составляет  $0,028 \cdot 189 / 20 = 26,46\%$ , массовая доля нитрата ртути – 73,54%.

*Ответ: смесь состоит из 26,46%  $Zn(NO_3)_2$  и 73,54%  $Hg_2(NO_3)_2$ .*

**Вариант 2.** Смесь двух нитратов металлов массой 15,0 г прокалили при температуре 600 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 13,78 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 0,85 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 51,25%  $Cu(NO_3)_2$  и 48,75%  $Hg(NO_3)_2$ .*

**Вариант 3.** Смесь двух нитратов металлов массой 10,0 г прокалили при температуре 700 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 9,43 л газообразных продуктов, плотность

которых при данных условиях составила 0,984 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 29%  $Al(NO_3)_3$  и 71%  $Hg_2(NO_3)_2$ .*

**Вариант 4.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре 700 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 12,38 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 0,736 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 50%  $Al(NO_3)_3$  и 50%  $Hg(NO_3)_2$ .*

**Вариант 5.** Смесь двух нитратов металлов массой 20,0 г прокалили при температуре 550 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 21,43 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,102 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 50%  $Hg_2(NO_3)_2$  и 50%  $AgNO_3$*

**Вариант 6.** Смесь двух нитратов металлов массой 12,0 г прокалили при температуре 550 °С и давлении 1 атмосфера. При этом получили 9,00 л газообразных продуктов, плотность которых при данных условиях составила 1,041 г/л. Определите возможный качественный и количественный (в массовых долях) состав смеси.

*Ответ: 65,63%  $Hg_2(NO_3)_2$  и 34,37%  $AgNO_3$*

## **Задача 2. «Катион наносит ответный удар». 20 баллов**

### **Вариант 1**

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Наиболее устойчивая соль, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с сильной кислотой Льюиса, которая является одним из компонентов для получения суперкислоты. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 16,6%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (Т кип~20°С) – вторым компонентом для получения суперкислоты. Массовая доля катиона в конечном продукте 27,6%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

*Решение:*

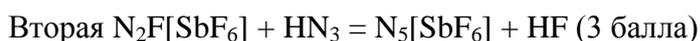
Из представленных свойств катиона следует, что он сильный окислитель. Поэтому, скорее всего, в реакциях участвует фтор. В таком случае, образующаяся во второй реакции легкокипящая жидкость – фтороводород (1 балл). Первая реакция – реакция соединения, поэтому все ее участники фториды. Наиболее сильными кислотами Льюиса являются фториды элементов 15 группы – мышьяка и сурьмы (1 балл). Фторид сурьмы является компонентом суперкислот. Отсюда используя это предположение, можно посчитать молекулярную массу катиона

$$M = 235,7 \cdot 0,166 / 0,834 = 47 \text{ г/моль.}$$

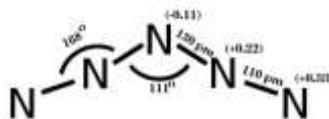
Элемента с такой массой нет. Если вычесть две атомные массы фтора, то остается 9 г/моль, что подходит под атомную массу бериллия, но он не может быть в с.о. +3. Остается вариант с одним фтором и  $M = 28$  и это может быть кремний, но опять же в нехарактерной с.о. +2 либо два азота (2 балла). По второй массовой доле можно установить число атомов азота в катионе

$$M(\text{катиона}) = 235,7 \cdot 0,276 / 0,724 = 70 \text{ г/моль; } 70 \text{ г/моль} : 14 \text{ г/моль} = 5 \text{ атомов (3 балла).}$$

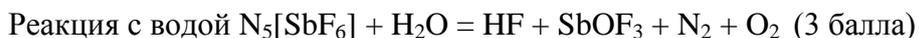
Первая реакция



Искомая соль  $\text{N}_5[\text{SbF}_6]$ .



Структура катиона угловая (2 балла) т.к. соответствующий циклический фрагмент имеет антиароматичное число электронов (2 балл).



В зависимости от количества воды возможны и другие продукты гидролиза пентафторида сурьмы.

## Вариант 2

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Одна из солей, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с сильной кислотой Льюиса. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 19,9%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости ( $T_{\text{кип}} \sim 20^\circ\text{C}$ ) – компонентом для получения суперкислот. Массовая доля катиона в конечном продукте 32,3%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

Ответ:  $\text{N}_5[\text{AsF}_6]$

### Вариант 3

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Наиболее устойчивая соль, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с двукратным избытком сильной кислотой Льюиса, которая является одним из компонентов для получения суперкислоты. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 9,4%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (T кип ~ 20°C) – вторым компонентом для получения суперкислоты. Массовая доля катиона в конечном продукте 16,6%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

*Ответ N<sub>5</sub>[Sb<sub>2</sub>F<sub>11</sub>]*

### Вариант 4

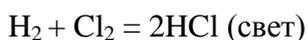
Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Одна из солей, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с двукратным избытком сильной кислотой Льюиса. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 11,6%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (T кип ~ 20°C) – компонентом для получения суперкислот. Массовая доля катиона в конечном продукте 20,0%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

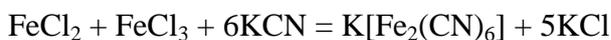
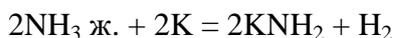
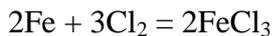
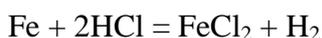
*Ответ N<sub>5</sub>[As<sub>2</sub>F<sub>11</sub>]*

### Задача 3. 20 баллов

**Вариант 1.** Предложите способ синтеза гексацианоферрата (II, III) калия используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

*Решение (один из вариантов).*





**Вариант 2.** Предложите способ синтеза хлоридбензолванадия(I) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 3.** Предложите способ синтеза диаллилникеля(II) используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 4.** Предложите способ синтеза дигидрата тетраацетата дихрома используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки..

**Вариант 5.** Предложите способ синтеза гекса(тиоцианато-N)хромата(III) натрия используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

**Вариант 6.** Предложите способ синтеза тетра(тиоцианато-N)купрата (II) аммония используя в качестве исходных ТОЛЬКО простые вещества. Если для проведения реакций вам потребуются вспомогательные вещества (растворители, катализаторы и т.п.), то вы также должны написать их синтез из простых веществ. Укажите условия проведения реакций. Какими примесями может быть загрязнен конечный продукт? Предложите способ его очистки.

#### Задача 4. 20 баллов

##### Вариант №1

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.3 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

##### Решение

Обозначим за **X**, **Y** и **Z** число моль компонентов исходной смеси. По условию задачи известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Следовательно **X=0.1 моль**, **Y=0.2 моль** и **Z=0.3 моль**. В результате окисления получается смесь из двух компонентов (**A** и **B**), поэтому необходимо рассмотреть 3 варианта:

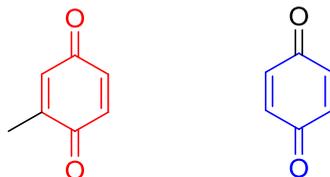
- 1) **A = X+Y = 0.3**                      **B = Z = 0.3**
- 2) **A = X+Z = 0.4**                      **B = Y = 0.2**
- 3) **A = X = 0.1**                              **B = Y+Z = 0.5**

Как известно, фенолы окисляются в хиноны. По условию задачи средняя молекулярная масса равна 115. Простейший из хинонов 1,4-бензохинон имеет молекулярную массу равную 108. А его ближайший гомолог 122. Поэтому одним из продуктов окисления обязательно должен быть 1,4-бензохинон иначе средняя молекулярная масса смеси станет больше 115.

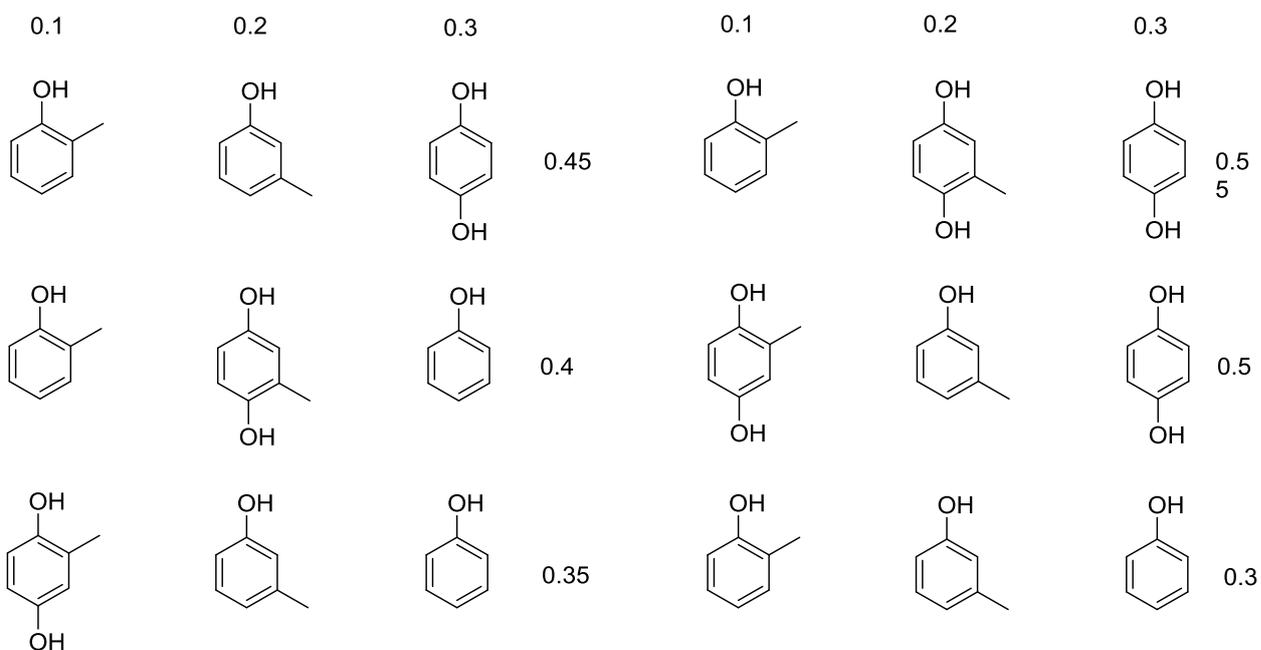
Для двухкомпонентной смеси  $M_{см} = M_A \cdot A / (A+B) + M_B \cdot B / (A+B)$ , если предположить, что один из компонентов 1,4-бензохинон, то подставляя последовательно в уравнение можно получить следующие значения для молекулярных масс компонентов.

- 1) **A = 108, B = 122** или **A = 122, B = 108**
- 2) **A = 108, B = 359** или **A = 233.5, B = 108**
- 3) **A = 108, B = 208.4** или **A = 610, B = 108**

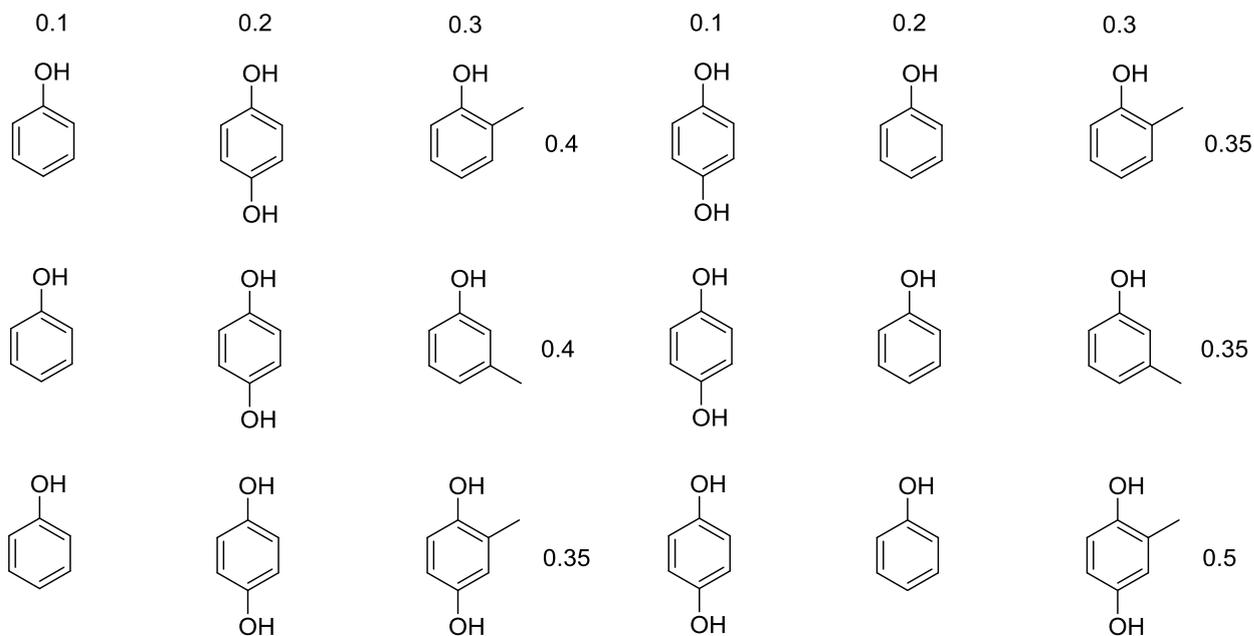
С учетом ограничений из условия задачи (фенолы содержали не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н), подходит вариант 1. Тогда продукты окисления это:



А варианты исходных фенолов следующие:      **A = 122, B = 108**

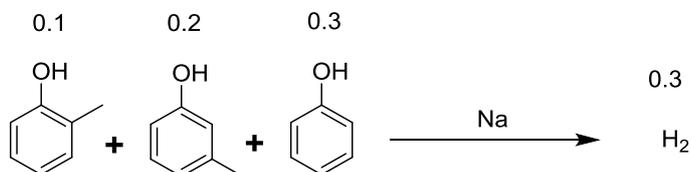


Или **A** = 108, **B** = 122



Для выбора правильного набора исходных фенолов необходимо провести расчет по реакции фенолов с металлическим натрием.

В зависимости от числа гидроксильных групп в феноле и числа моль соответствующего компонента будет выделяться разное количество водорода. По условию задачи выделяется 0.3 моль водорода, значит в исходной смеси присутствовало 0.6 моль гидроксильных групп. Под эти условия подходит только 1 вариант.



## **Вариант №2**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.35 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №3**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.4 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №4**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.45 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №5**

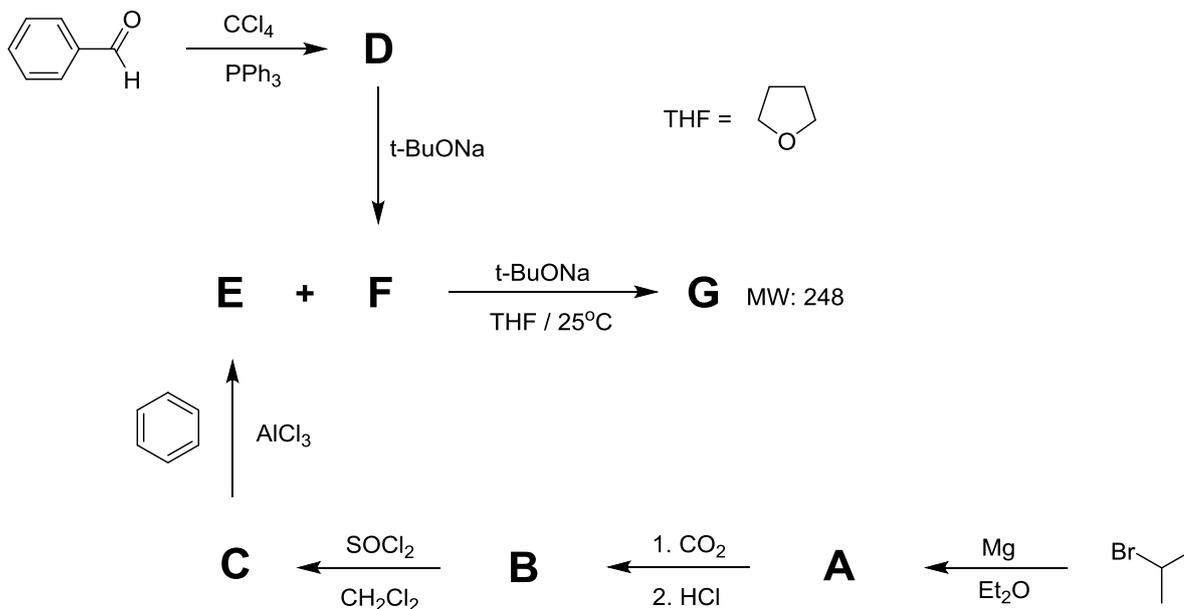
Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.5 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №6**

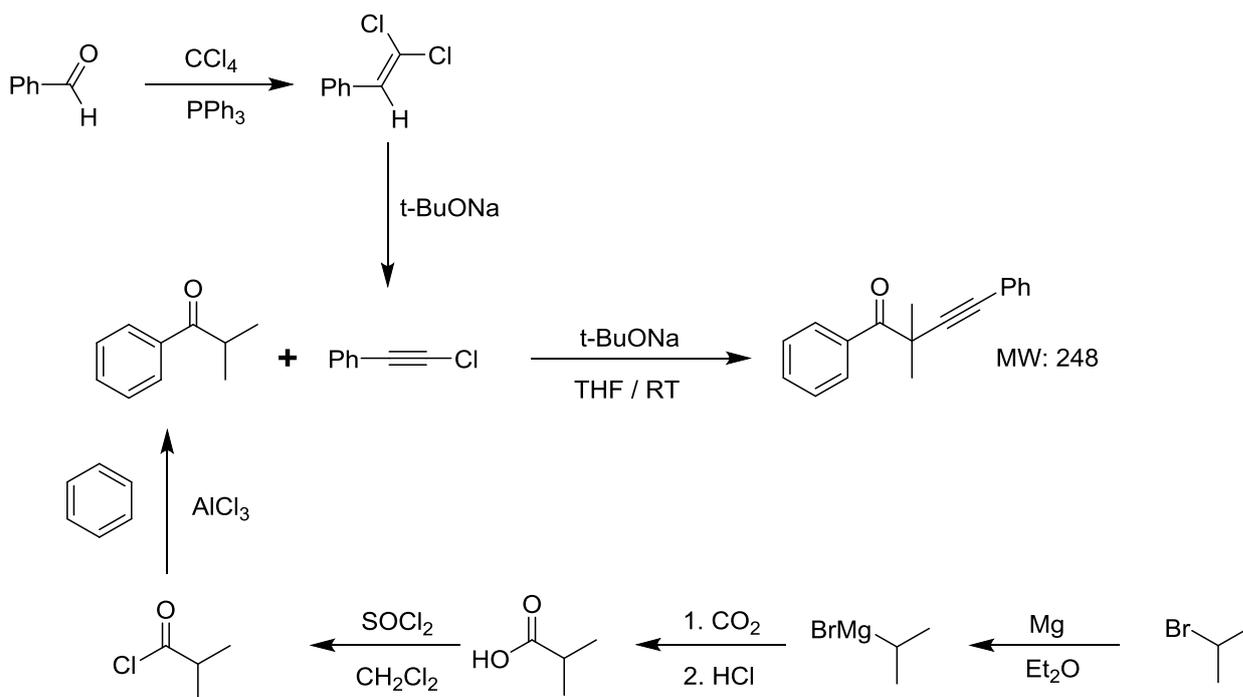
Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.55 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

### Задача 5. 20 баллов

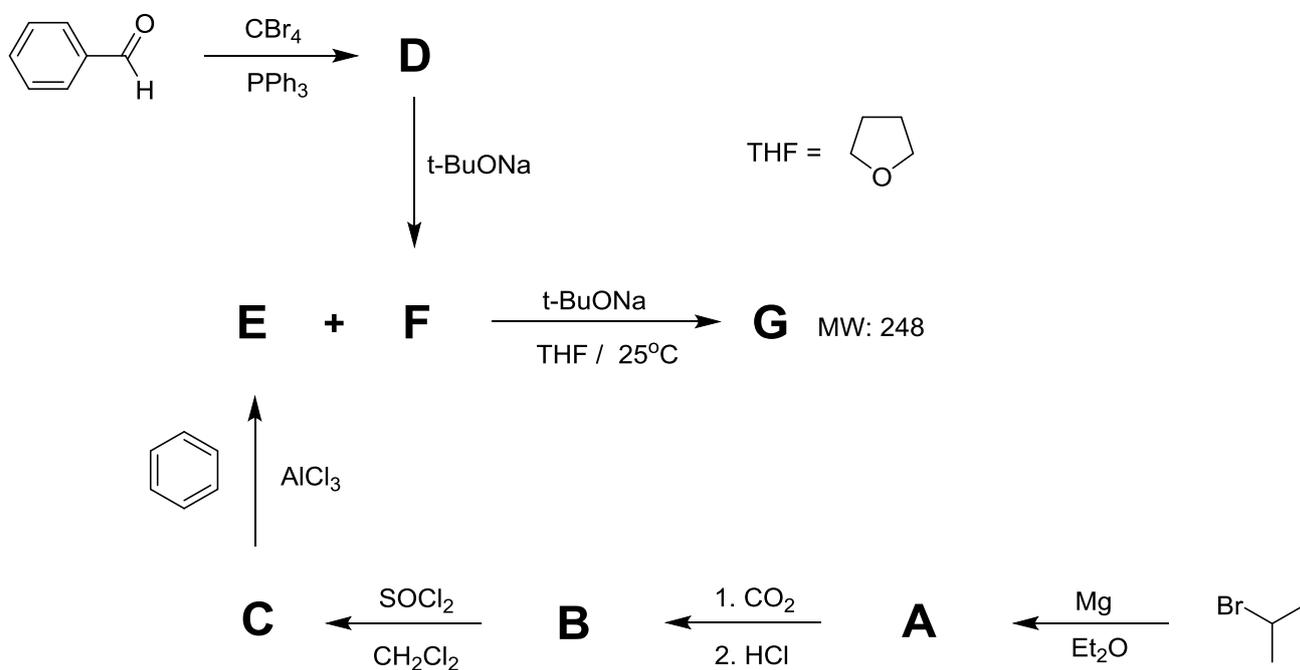
**ВАРИАНТ 1** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде единственного стереоизомера, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с N-хлорсукцинимидом.



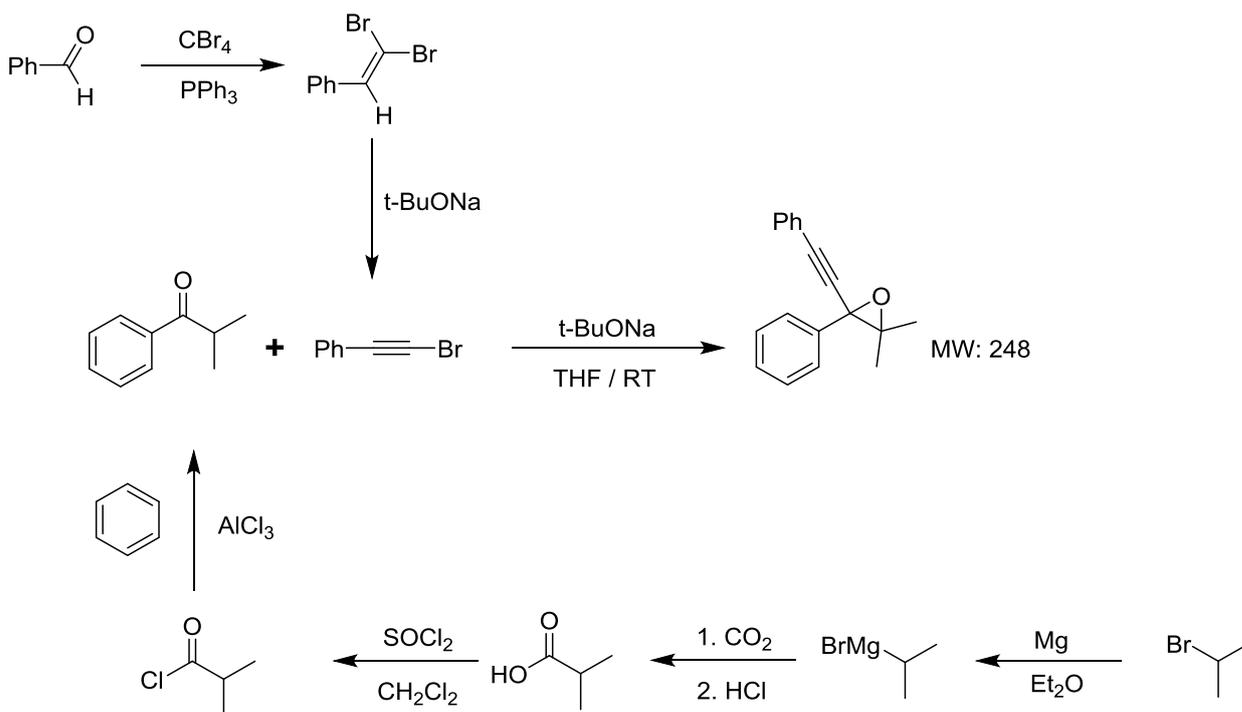
*Решение*



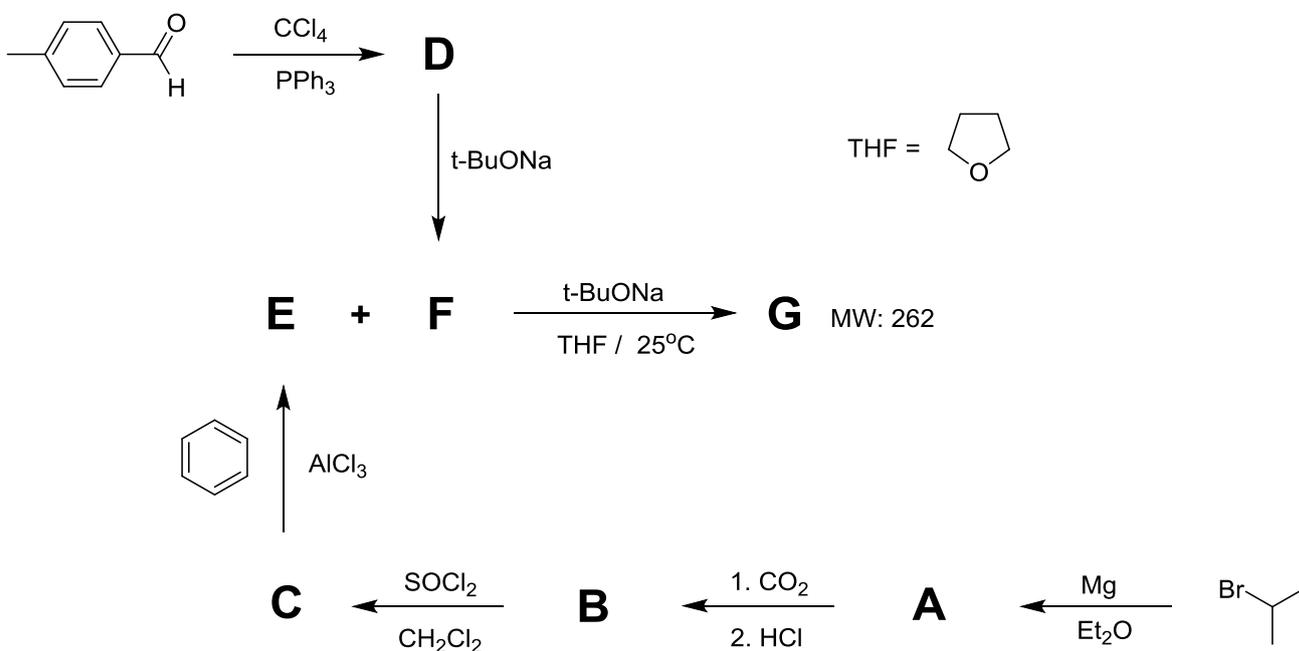
**ВАРИАНТ 2** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде пары энантиомеров, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с N-бромсукцинимидом.



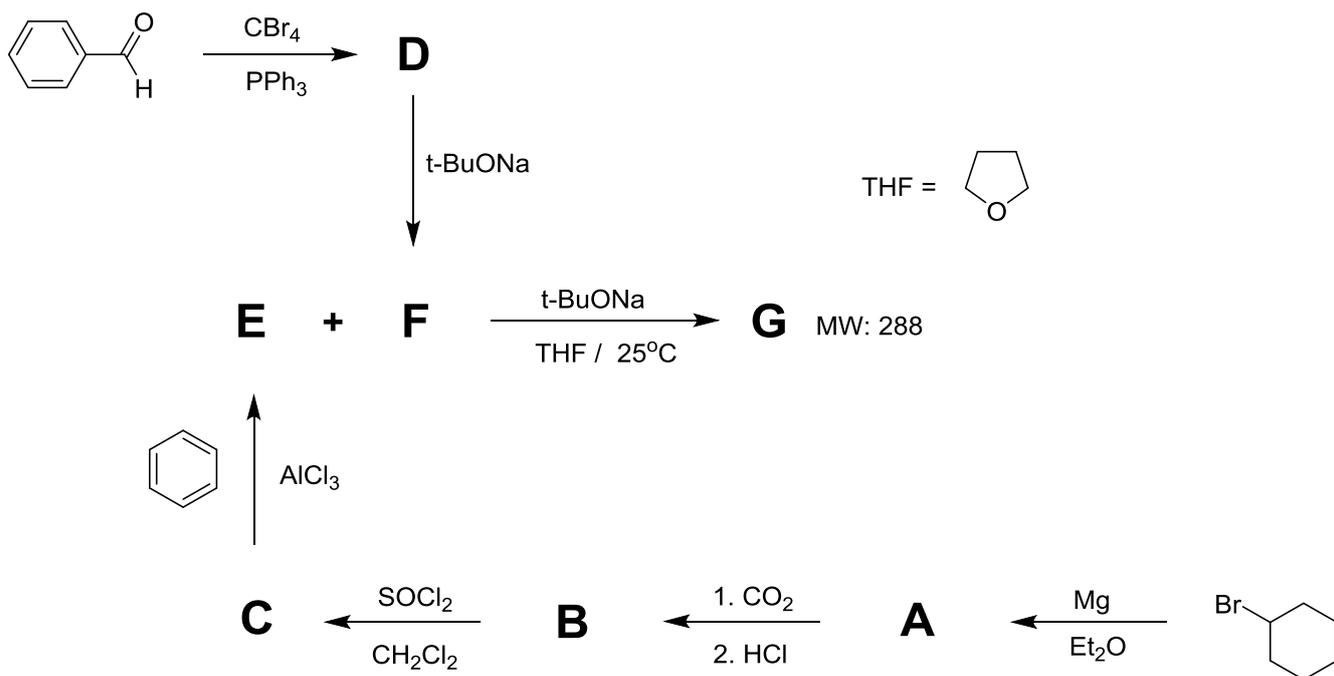
Решение



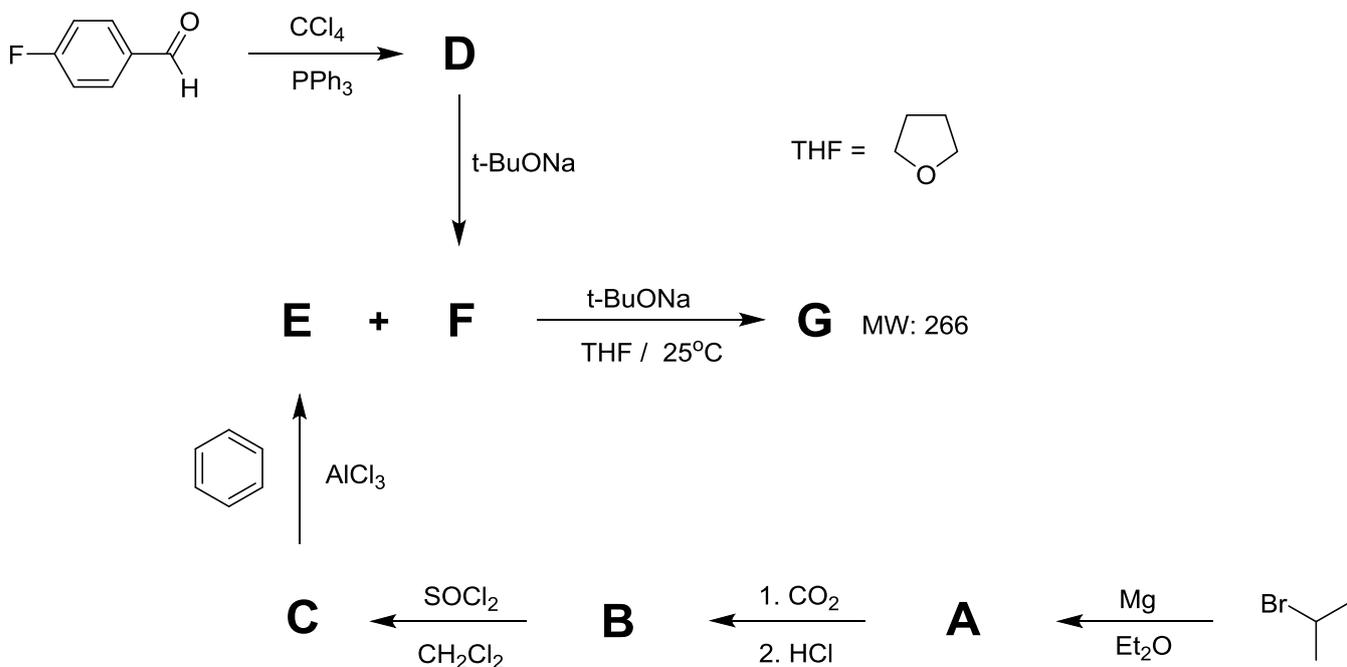
**ВАРИАНТ 3** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде единственного стереоизомера, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с N-хлорсукцинимидом.



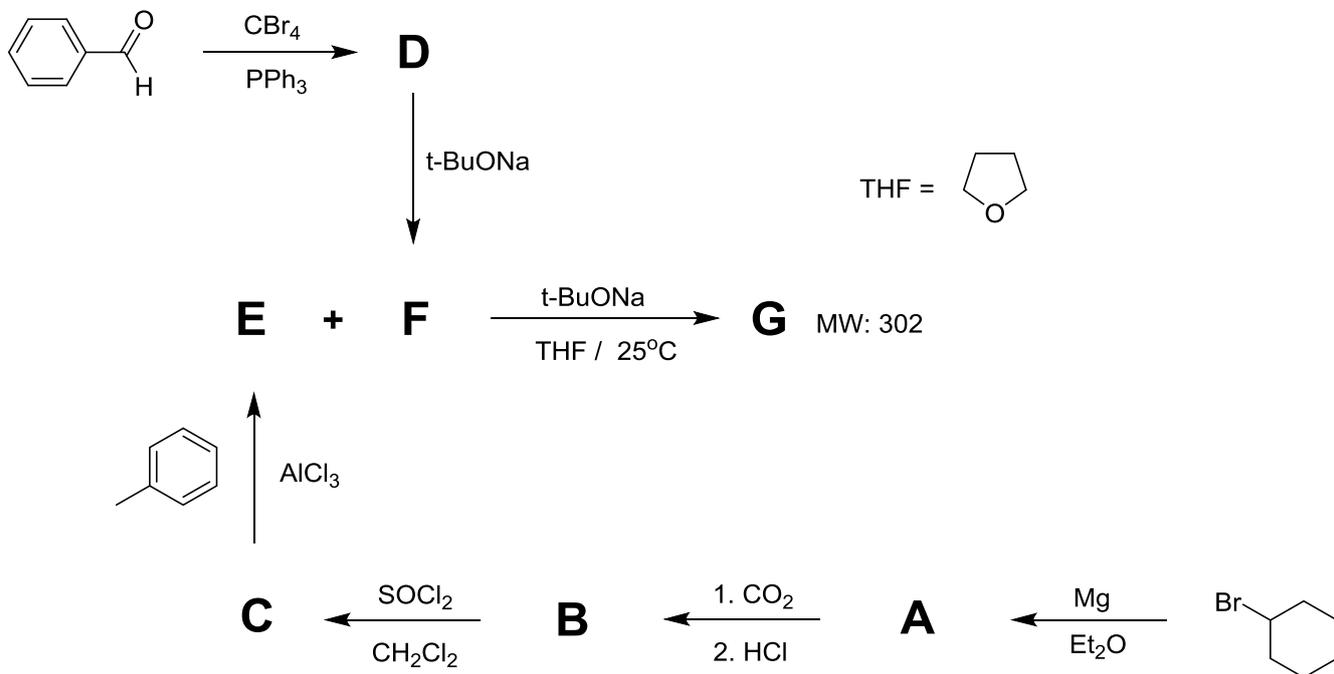
**ВАРИАНТ 4** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде пары энантиомеров, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с N-бромсукцинимидом.



**ВАРИАНТ 5** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде единственного стереоизомера, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с *N*-хлорсукцинимидом.



**ВАРИАНТ 6** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A**, **B**, **C**, **D**, **E**, **F**, **G**). Предложите механизм образования соединения **G**, если известно, что соединение образуется в виде пары энантиомеров, и на начальной стадии процесса образования **G** соединение **F** проявляет свойства, схожие с N-бромсукцинимидом.



## 11 класс

### Задача 1. 20 баллов.

#### Вариант 1

Скорость химических реакций зависит от различных факторов – природы реагирующих веществ, температуры, концентрации реагентов. Для определения кинетических характеристик взаимодействия металла с кислотой были проведены следующие эксперименты. В герметичный сосуд объемом 1,00 л, разделенный на две части перегородкой, поместили навеску цинковой пыли и 0,100 М раствор серной кислоты. Сосуд поместили в термостат при 20,0<sup>0</sup>С и заполнили инертным газом при стандартном давлении (1,00 атм). Перегородку убрали. Через 5 минут давление в сосуде выросло на 30%, при этом концентрации растворенных веществ оказались равны.

1. Определите начальную скорость выделения водорода (л/мин). Известно, что взаимодействие металлов с кислотами является реакцией первого порядка, для которых мгновенная скорость линейно зависит от концентрации реагента, а зависимость концентрации реагента от времени определяется следующим выражением:

$$\ln C = \ln C^0 - kt,$$

где  $k$  – константа скорости реакции,  $C$  – концентрация реагента в момент времени  $t$ .

2. Изменится ли (и если да, то как) начальная скорость выделения водорода, если вместо цинковой пыли использовать а) гранулы цинка? б) алюминиевую пудру? Ответ аргументируйте.

Эксперимент повторили, но перед удалением перегородки температуру подняли до 25,0<sup>0</sup>С. В результате давление выросло на 30% через 3,5 минуты.

3. Определите концентрации веществ в растворе и энергию активации ( $E_A$ ) данной реакции. Энергия активации связана с константой скорости уравнением Аррениуса и не зависит от температуры процесса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}},$$

где  $A$  – множитель, не зависящий от температуры.

В третьем эксперименте, проводившимся по той же схеме, использовали 0,15 М соляную кислоту, температуру процесса подняли до 35,0<sup>0</sup>С.

4. Через какое время давление в сосуде выросло на 30%?
5. Определите начальную скорость выделения водорода, если при 35,0<sup>0</sup>С использовать 0,1 М соляную кислоту.
6. Каким инертным газом заполняли сосуд, если плотность газовой смеси в первом эксперименте через 10 минут составила 5,5 г/л? Ответ подтвердите расчетом.
7. В последние годы цена на этот инертный газ значительно выросла. С чем связано такое повышение цены?

Изменением объема растворов в результате описанных процессов можно пренебречь.

#### Решение задачи

1. Определим количество водорода, выделившегося в результате первого эксперимента



Пусть  $x$  л – объем добавленного раствора серной кислоты, тогда начальный объем инертного газа  $(1-x)$  л (объемом цинковой пыли можно пренебречь). Так как в результате реакции концентрации соли и кислоты стали одинаковыми, следовательно, прореагировала половина от общего количества кислоты, то есть  $0,1x/2=0,05x$  моль, и такое же количество водорода образовалось (реакция 1). Выразим количество инертного газа через его объем:

$$n(\text{ин. газа}) = \frac{PV}{RT} = \frac{101,325 \cdot (1-x)}{8,314 \cdot 293} = 0,0416(1-x) \text{ моль}$$

Через 5 минут газовая смесь будет содержать  $0,0416(1-x)$  моль инертного газа и  $0,05x$  моль водорода, а ее давление будет равно  $101,325 \cdot 1,3=131,7225$  кПа. Подставив эти значения в уравнение Менделеева-Клапейрона (объем и температура газовой смеси не меняются) найдем  $x$ :

$$131,7225 \cdot (1-x) = (0,416 \cdot (1-x) + 0,05x) \cdot 8,314 \cdot 293$$

$$x = 0,2 \text{ л}$$

Тогда количество выделившегося водорода  $n(\text{H}_2) = 0,01$  моль.

Чтобы определить начальную скорость выделения водорода, необходимо установить кинетическое уравнение реакции. Поскольку реакция металлов с кислотами является реакцией первого порядка, кинетическое уравнение имеет следующий вид:

$$v = k \cdot C_{\text{H}^+},$$

где  $k$  – константа скорости реакции, а  $C_{\text{H}^+}$  – начальная концентрация протонов. Константу скорости можно определить по данной в условии задачи зависимости концентрации реагента от времени:

$$\ln C = \ln C^0 - kt$$

В случае первого эксперимента  $t = 5$  мин,  $C=0,5C^0$  (реагирует половина кислоты). Тогда константа скорости при 293К будет равна

$$k_{293\text{K}} = \frac{\ln C^0 - \ln C}{t} = \frac{\ln \frac{C^0}{C}}{t} = \frac{\ln 2}{t} = 0,1386 \text{ мин}^{-1}$$

Тогда начальная скорость реакции будет равна

$$v^0 = k \cdot C_{\text{H}^+}^0 = 0,1386 \cdot 0,02 = 0,00277 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$$

а скорость выделения водорода будет в 2 раза меньше,  $0,001385 \text{ моль} \cdot \text{мин}^{-1}$ . Чтобы перейти к требуемой размерности (л/мин) нужно это значение умножить на молярный объем газа при данных условиях (293К, 101,32 кПа), который, в свою очередь, можно найти по уравнению Менделеева-Клапейрона для 1 моль газа:

$$V_M = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1 \cdot 8,314 \cdot 293}{101,325} = 24,04 \text{ л/моль}$$

$$v^0(\text{H}_2) = 0,001385 \cdot 24,04 = 0,0333 \text{ л/мин}$$

- 1) При использовании гранул цинка скорость выделения водорода уменьшится, поскольку резко уменьшится площадь границы раздела фаз (твердого цинка и раствора кислоты).

2) При использовании алюминиевой пудры скорость выделения водорода увеличится, поскольку алюминий является более активным металлом, чем цинк.

3. Определим количество водорода, выделившегося в результате второго эксперимента. Объем газовой смеси и количество инертного газа остались такими же, как и в первом случае. Тогда, приняв за  $x$  количество водорода, можно записать уравнение Менделеева-Клапейрона и найти  $x$ :

$$131,7225 \cdot 0,8 = (0,03328 + x) \cdot 8,314 \cdot 298$$
$$x = 0,009253 \text{ л}$$

Следовательно, прореагировало столько же серной кислоты. Тогда концентрация оставшейся серной кислоты составит

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,1 \cdot 0,2 - 0,009253}{0,2} = 0,005374 \text{ М}$$

а концентрация образовавшегося сульфата цинка будет равна

$$C(\text{ZnSO}_4) = 0,01 - 0,005374 = 0,004626 \text{ М}$$

Воспользовавшись данным в условии задачи уравнением, можно найти константу скорости при этой температуре

$$k_{298\text{К}} = \frac{\ln C^0 - \ln C}{t} = \frac{\ln \frac{C^0}{C}}{t} = \frac{\ln \frac{0,01}{0,005374}}{3,5} = 0,1774 \text{ мин}^{-1}$$

Теперь, зная две константы скорости при двух температурах по уравнению Аррениуса можно найти энергию активации реакции. Для удобства, запишем уравнение Аррениуса в логарифмическом виде:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}}$$
$$\ln k = \ln A - \frac{E_A}{RT}$$

Зная две константы скоростей можно составить систему уравнений:

$$\begin{cases} \ln k_{293} = \ln A - \frac{E_A}{293R} \\ \ln k_{298} = \ln A - \frac{E_A}{298R} \end{cases}$$

Вычитая из первого уравнения второе получим выражение

$$\ln k_{293} - \ln k_{298} = -\frac{E_A}{293R} + \frac{E_A}{298R}$$
$$\ln \frac{k_{293}}{k_{298}} = \frac{E_A}{R} \left( \frac{1}{298} - \frac{1}{293} \right)$$

Откуда выразим и рассчитаем энергию активации:

$$E_A = \frac{R \ln \frac{k_{293}}{k_{298}}}{\left( \frac{1}{298} - \frac{1}{293} \right)} = \frac{8,314 \ln \left( \frac{0,1386}{0,1774} \right)}{\left( \frac{1}{298} - \frac{1}{293} \right)} = 35834 \text{ Дж/моль}$$

4. Аналогично п.3, определим количество выделившегося водорода и концентрацию оставшейся серной кислоты:

$$131,7225 \cdot 0,8 = (0,03328 + x) \cdot 8,314 \cdot 308$$

$$x = 0,007872 \text{ л}$$

$$C(\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{0,1 \cdot 0,2 - 0,007872}{0,2} = 0,006064 \text{ М}$$

Для того, чтобы определить время, нам необходимо знать константу скорости при данной температуре  $k_{308}$ , которую можно рассчитать по уравнению Аррениуса, зная энергию активации константу скорости при другой температуре, например, при 293К:

$$\ln \frac{k_{293}}{k_{308}} = \frac{E_A}{R} \left( \frac{1}{308} - \frac{1}{293} \right)$$

$$\ln \frac{0,1386}{k_{308}} = \frac{35834}{8,314} \left( \frac{1}{308} - \frac{1}{293} \right)$$

$$k_{308} = 0,2837 \text{ мин}^{-1}$$

Теперь найдем время, за которое достигается такое давление при данной температуре:

$$\ln C = \ln C^0 - kt$$

$$t = \frac{\ln C^0 - \ln C}{k_{293}} = \frac{\ln \frac{C^0}{C}}{k_{293}} = \frac{\ln \frac{0,01}{0,0064}}{0,2837} = 1,57 \text{ мин}$$

Скорость выделения водорода можно найти так же, как и при температуре 293К:

$$v^0 = k \cdot C_{\text{H}^+}^0 = 0,2837 \cdot 0,1 = 0,2837 \text{ моль} \cdot \text{л}^{-1} \cdot \text{мин}^{-1}$$

$$V_M = \frac{n \cdot R \cdot T}{P} = \frac{1 \cdot 8,314 \cdot 308}{101,325} = 25,27 \text{ л/моль}$$

$$v^0(\text{H}_2) = 0,1419 \cdot 25,27 = 3,59 \text{ л/мин}$$

6. Количество инертного газа в смеси 0,03328 моль, количество водорода будет в полтора раза больше, чем через 5 минут – 0,015 моль. Зная плотность газовой смеси, можно найти молярную массу инертного газа:

$$\rho = \frac{m_{\text{смеси}}}{V} = \frac{m_{\text{H}_2} + m_{\text{ин.газ}}}{V} = \frac{n_{\text{H}_2} \cdot M_{\text{H}_2} + M_{\text{ин.газ}} \cdot n_{\text{ин.газ}}}{V}$$

$$5,5 = \frac{0,015 \cdot 2 + M_{\text{ин.газ}} \cdot 0,03328}{0,8}$$

$$M_{\text{ин.газ}} = 131,3 \text{ г/моль}$$

Значит, инертный газ – это ксенон.

7. Значительное повышение цен на ксенон связано с его использованием в качестве безопасного анестезирующего средства при различных хирургических операциях, в том числе и в нейрохирургии.

## Вариант 2

Скорость химических реакций зависит от различных факторов – природы реагирующих веществ, температуры, концентрации реагентов. Для определения кинетических характеристик взаимодействия металла с кислотой были проведены следующие эксперименты. В герметичный сосуд объемом 2,00 л, разделенный на две части перегородкой, поместили навеску алюминиевой пудры и 0,200 М раствор серной кислоты. Сосуд поместили в термостат при 20,0<sup>0</sup>С и заполнили инертным газом при стандартном давлении (1,00 атм). Перегородку убрали. Через 8 минут давление в сосуде выросло на 63,65%, при этом концентрации растворенных веществ оказались равны.

1. Определите начальную скорость выделения водорода (л/мин). Известно, что взаимодействие металлов с кислотами является реакцией первого порядка, для которых мгновенная скорость линейно зависит от концентрации реагента, а зависимость концентрации реагента от времени определяется следующим выражением:

$$\ln C = \ln C^0 - kt,$$

где  $k$  – константа скорости реакции,  $C$  – концентрация реагента в момент времени  $t$ .

2. Изменится ли (и если да, то как) начальная скорость выделения водорода, если вместо цинковой пыли использовать а) гранулы алюминия? б) цинковую пыль? Ответ аргументируйте.

Эксперимент повторили, но перед удалением перегородки температуру подняли до 25,0<sup>0</sup>С. В результате давление выросло на 63,65% через 5,5 минут.

3. Определите концентрации веществ в растворе и энергию активации ( $E_A$ ) данной реакции. Энергия активации связана с константой скорости уравнением Аррениуса и не зависит от температуры процесса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}},$$

где  $A$  – множитель, не зависящий от температуры.

В третьем эксперименте, проводившимся по той же схеме, использовали 0,15 М соляную кислоту, температуру процесса подняли до 40,0<sup>0</sup>С.

4. Через какое время давление в сосуде выросло на 63,65%?
5. Определите начальную скорость выделения водорода, если при 40,0<sup>0</sup>С использовать 0,1 М соляную кислоту.
6. Каким инертным газом заполняли сосуд, если плотность газовой смеси в первом эксперименте через 4 минуты составила 0,84 г/л? Ответ подтвердите расчетом.
7. Какие применения этого инертного газа Вам известны?

Изменением объема растворов в результате описанных процессов можно пренебречь.

## Вариант 3

Скорость химических реакций зависит от различных факторов – природы реагирующих веществ, температуры, концентрации реагентов. Для определения кинетических характеристик взаимодействия металла с кислотой были проведены следующие эксперименты. В герметичный сосуд объемом 1,50 л, разделенный на две части перегородкой, поместили навеску цинковой пыли и 0,150 М раствор бромоводородной кислоты. Сосуд поместили в термостат при 20,0<sup>0</sup>С и заполнили

инертным газом при стандартном давлении (1,00 атм). Перегородку убрали. Через 10 минут давление в сосуде выросло на 37,0%, при этом концентрации растворенных веществ оказались равны.

1. Определите начальную скорость выделения водорода (л/мин). Известно, что взаимодействие металлов с кислотами является реакцией первого порядка, для которых мгновенная скорость линейно зависит от концентрации реагента, а зависимость концентрации реагента от времени определяется следующим выражением:

$$\ln C = \ln C^0 - kt,$$

где  $k$  – константа скорости реакции,  $C$  – концентрация реагента в момент времени  $t$ .

2. Изменится ли (и если да, то как) начальная скорость выделения водорода, если вместо цинковой пыли использовать а) гранулы цинка? б) железные опилки? Ответ аргументируйте.

Эксперимент повторили, но перед удалением перегородки температуру подняли до 30,0°C. В результате давление выросло на 37,0% через 5 минут.

3. Определите концентрации веществ в растворе и энергию активации ( $E_A$ ) данной реакции. Энергия активации связана с константой скорости уравнением Аррениуса и не зависит от температуры процесса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}},$$

где  $A$  – множитель, не зависящий от температуры.

В третьем эксперименте, проводившимся по той же схеме, использовали 0,15 М серную кислоту, температуру процесса подняли до 35,0°C.

4. Через какое время давление в сосуде выросло на 37,0%?
5. Определите начальную скорость выделения водорода, если при 35,0°C использовать 0,1 М серную кислоту.
6. Каким инертным газом заполняли сосуд, если плотность газовой смеси в первом эксперименте через 5 минут составила 3,50 г/л? Ответ подтвердите расчетом.
7. Какие применения этого инертного газа Вам известны?

Изменением объема растворов в результате описанных процессов можно пренебречь.

#### Вариант 4

Скорость химических реакций зависит от различных факторов – природы реагирующих веществ, температуры, концентрации реагентов. Для определения кинетических характеристик взаимодействия металла с кислотой были проведены следующие эксперименты. В герметичный сосуд объемом 900 мл, разделенный на две части перегородкой, поместили навеску алюминиевой пудры и 0,400 М раствор бромоводородной кислоты. Сосуд поместили в термостат при 20,0°C и заполнили инертным газом при стандартном давлении (1,00 атм). Перегородку убрали. Через 15 минут давление в сосуде выросло на 45,0%, при этом концентрации растворенных веществ оказались равны.

1. Определите начальную скорость выделения водорода (л/мин). Известно, что взаимодействие металлов с кислотами является реакцией первого порядка, для которых мгновенная скорость линейно зависит от концентрации реагента, а

зависимость концентрации реагента от времени определяется следующим выражением:

$$\ln C = \ln C^0 - kt,$$

где  $k$  – константа скорости реакции,  $C$  – концентрация реагента в момент времени  $t$ .

2. Изменится ли (и если да, то как) начальная скорость выделения водорода, если вместо цинковой пыли использовать а) гранулы алюминия? б) порошок магния? Ответ аргументируйте.

Эксперимент повторили, но перед удалением перегородки температуру подняли до  $25,0^{\circ}\text{C}$ . В результате давление выросло на  $45,0\%$  через  $10,5$  минут.

3. Определите концентрации веществ в растворе и энергию активации ( $E_A$ ) данной реакции. Энергия активации связана с константой скорости уравнением Аррениуса и не зависит от температуры процесса:

$$k = A \cdot e^{-\frac{E_A}{RT}},$$

где  $A$  – множитель, не зависящий от температуры.

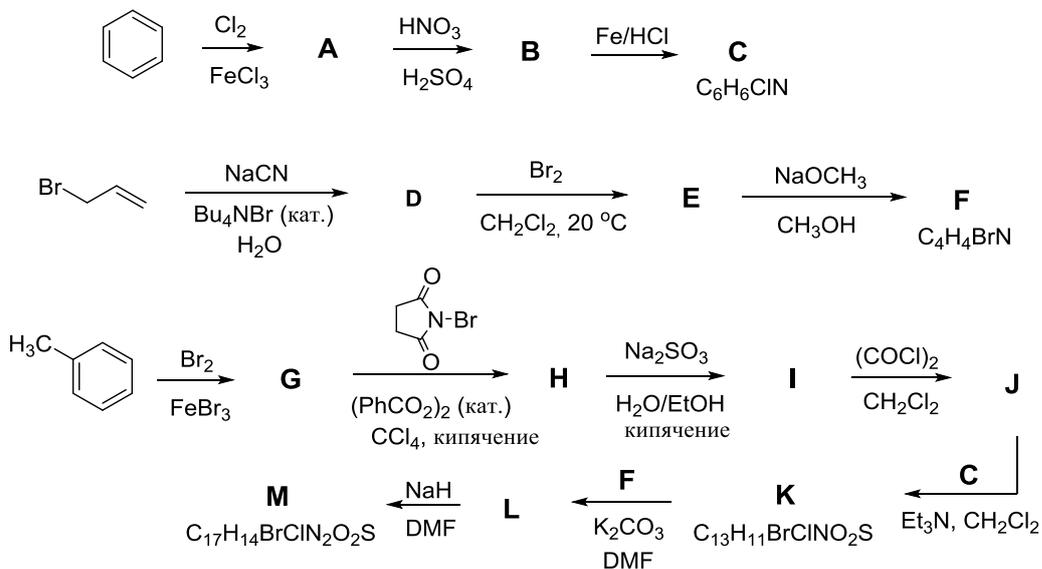
В третьем эксперименте, проводившимся по той же схеме, использовали  $0,15$  М серную кислоту, температуру процесса подняли до  $35,0^{\circ}\text{C}$ .

4. Через какое время давление в сосуде выросло  $45,0\%$ ?  
 5. Определите начальную скорость выделения водорода, если при  $40,0^{\circ}\text{C}$  использовать  $0,1$  М серную кислоту.  
 6. Каким инертным газом заполняли сосуд, если плотность газовой смеси в первом эксперименте через  $10$  минут составила  $1,5$  г/л? Ответ подтвердите расчетом.  
 7. Какие применения этого инертного газа Вам известны?

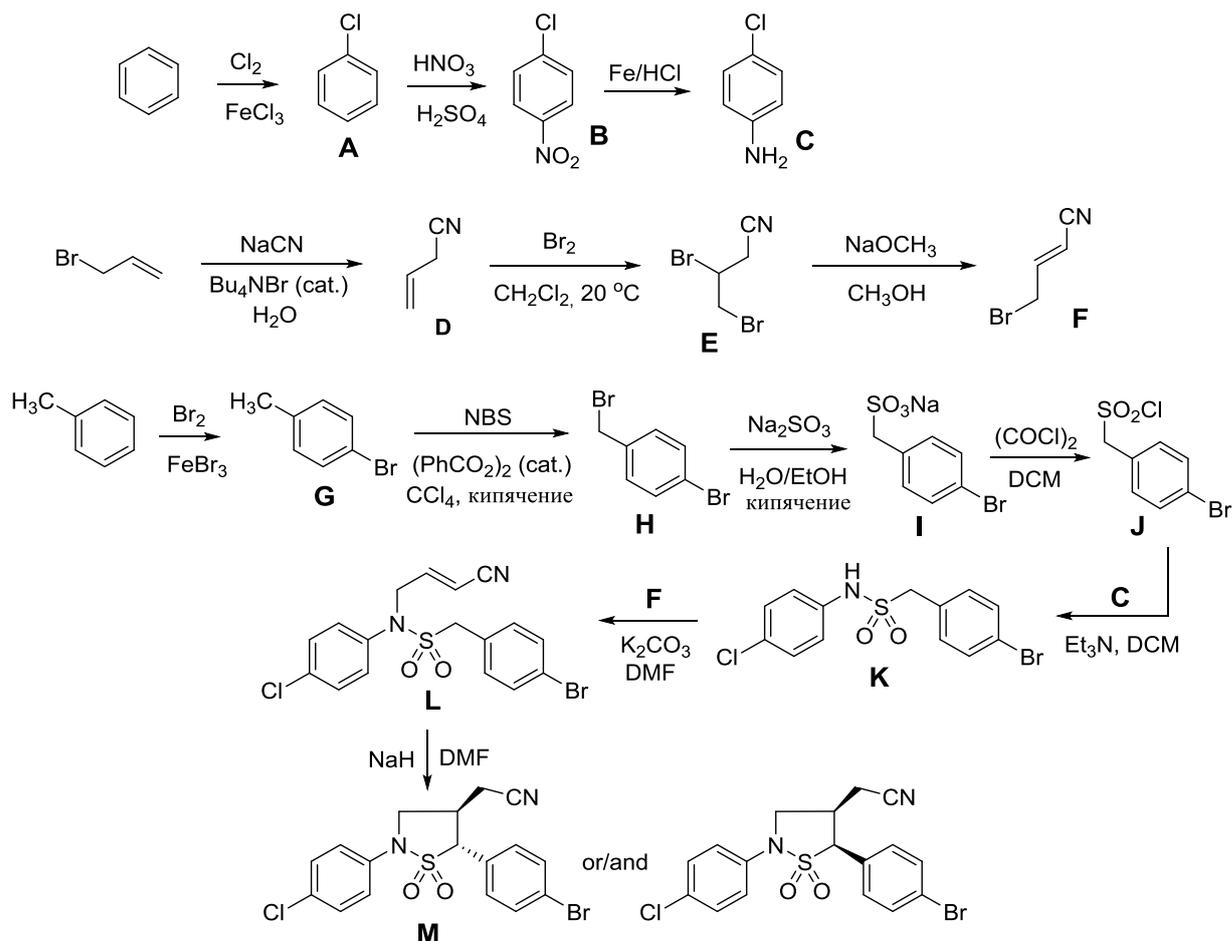
Изменением объема растворов в результате описанных процессов можно пренебречь.

## Задача 2. 20 баллов

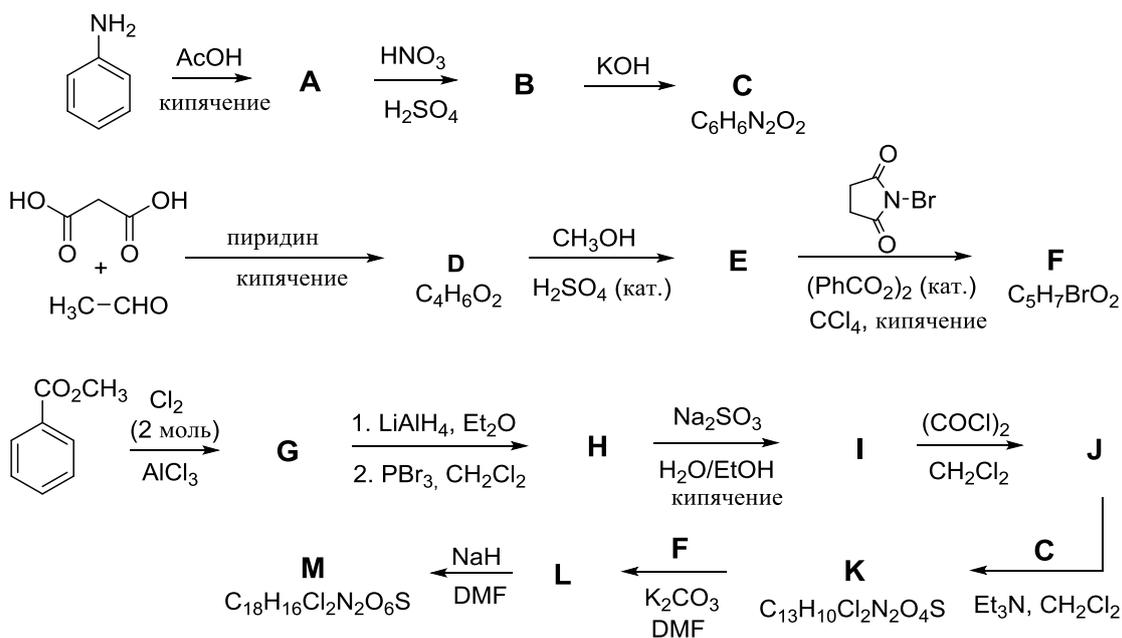
**Вариант 1.** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A-M**), учитывая, что **L** и **M** – изомеры. Сколько и какие стереоизомеры могут получиться при образовании **M**?



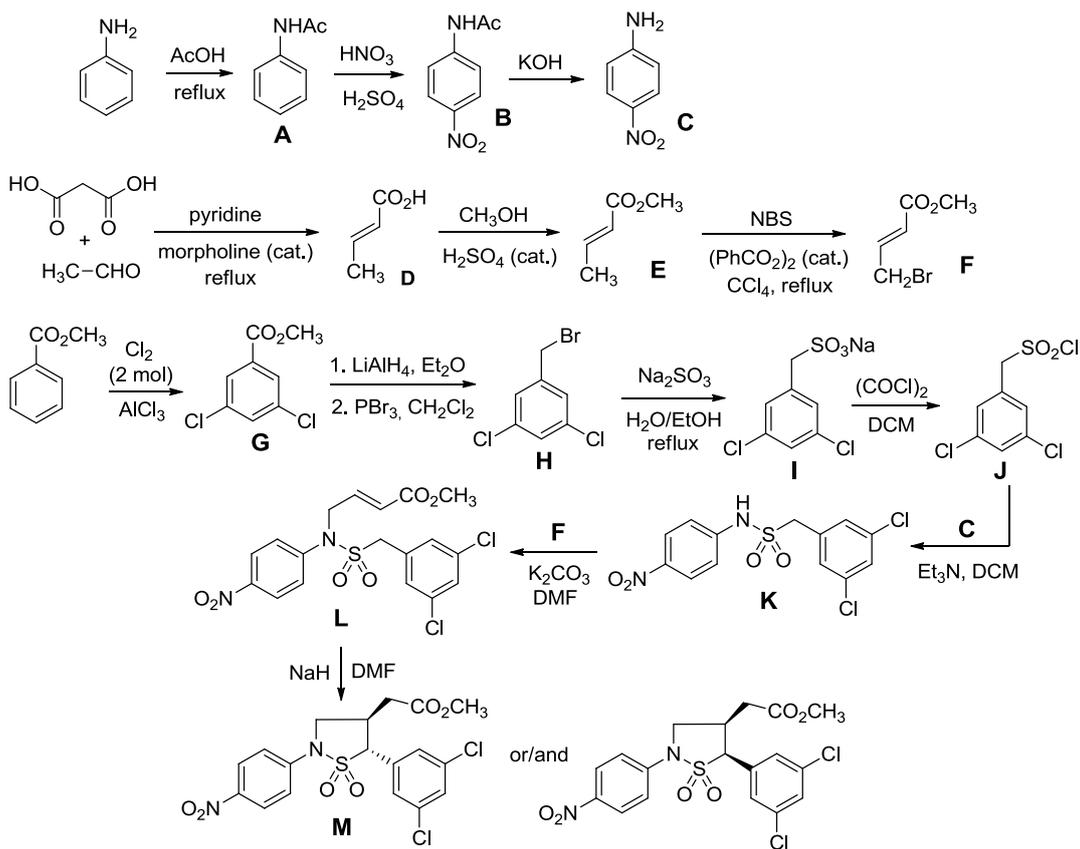
Решение:



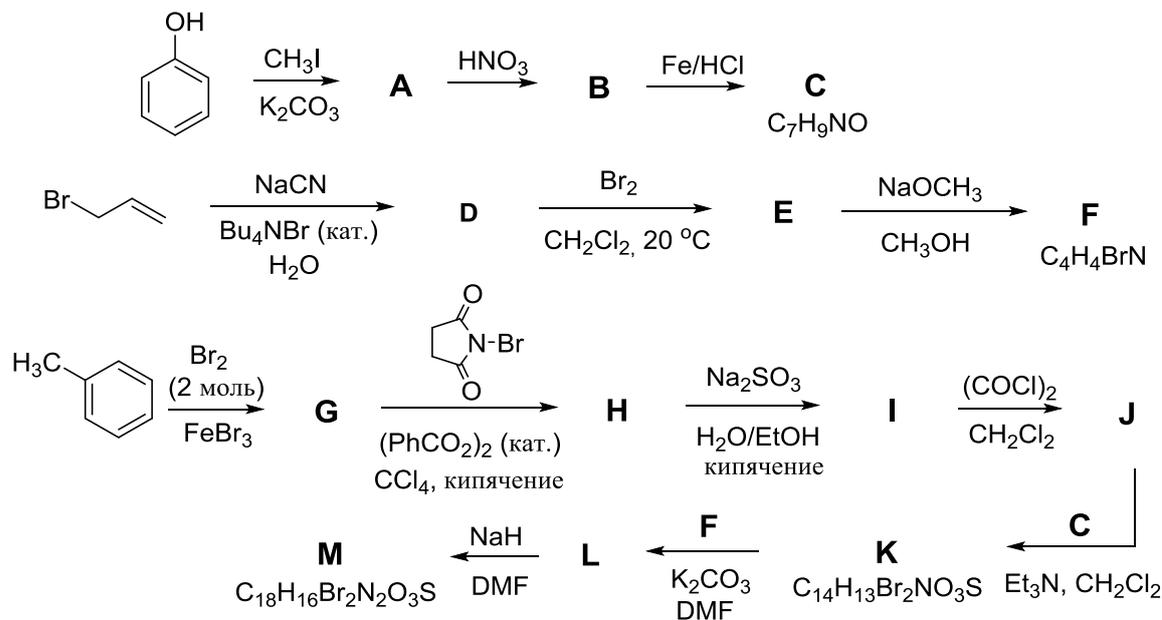
**Вариант 2.** Расшифруйте цепочку превращений (структуры А-М), учитывая, что L и M – изомеры. Сколько и какие стереоизомеры могут получиться при образовании M?



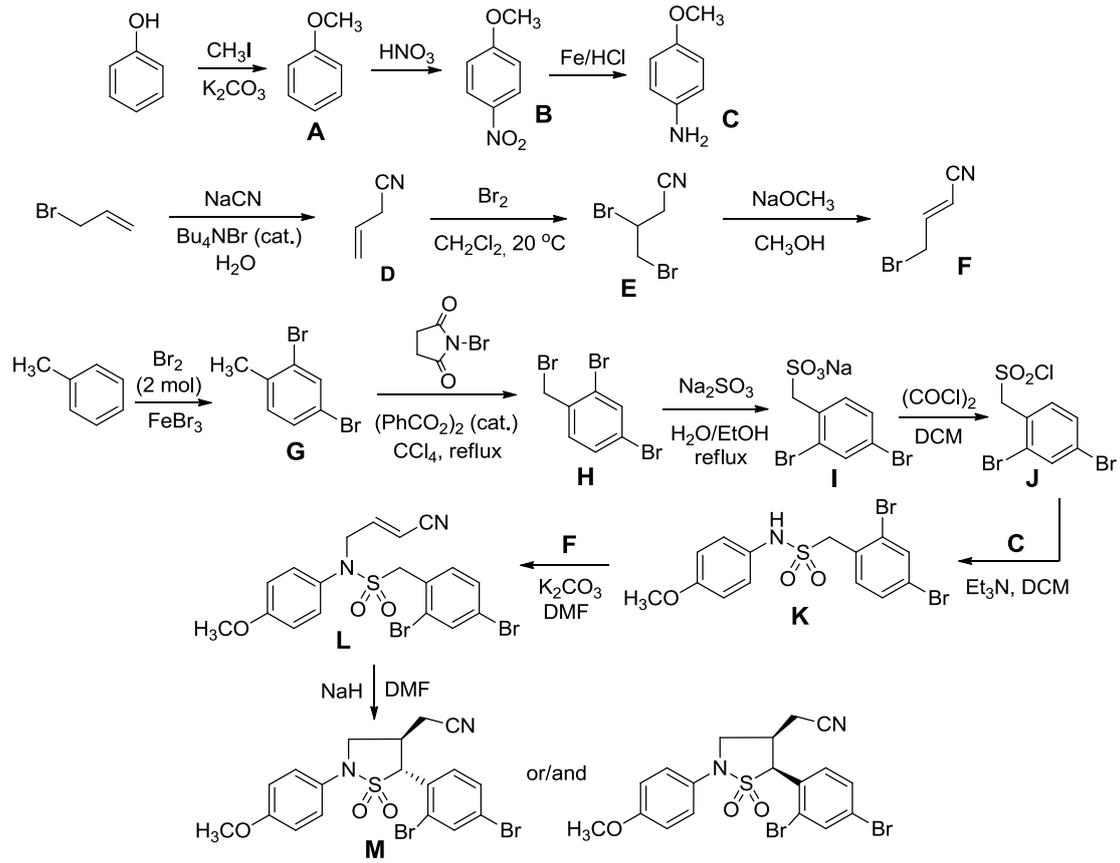
Решение:



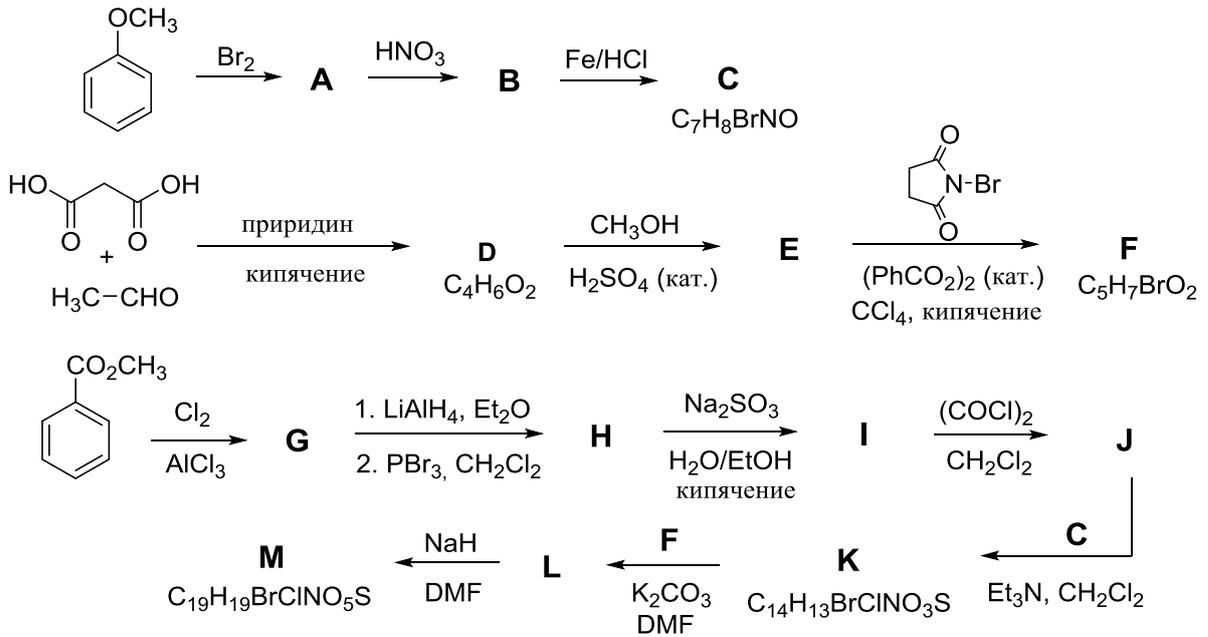
**Вариант 3.** Расшифруйте цепочку превращений (структуры А-М), учитывая, что L и M – изомеры. Сколько и какие стереоизомеры могут получиться при образовании M?



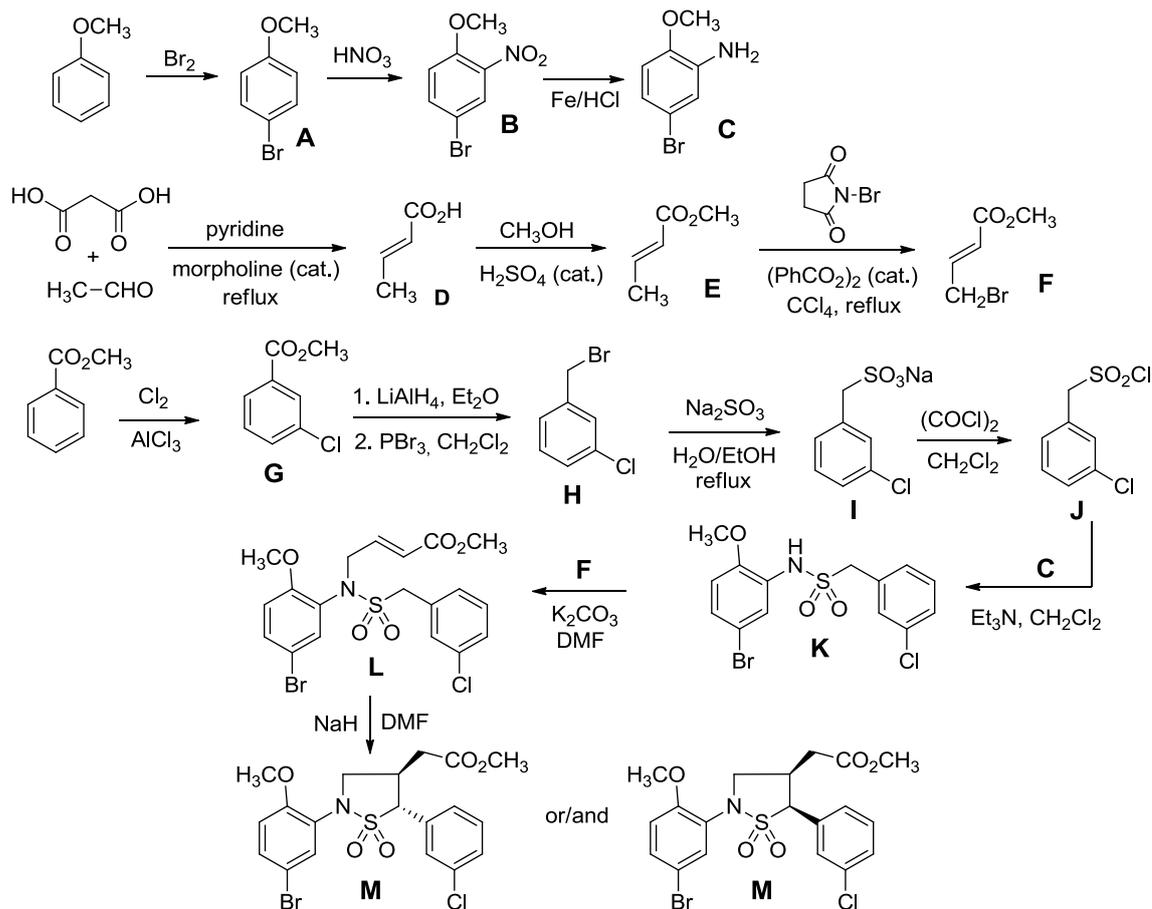
Решение:



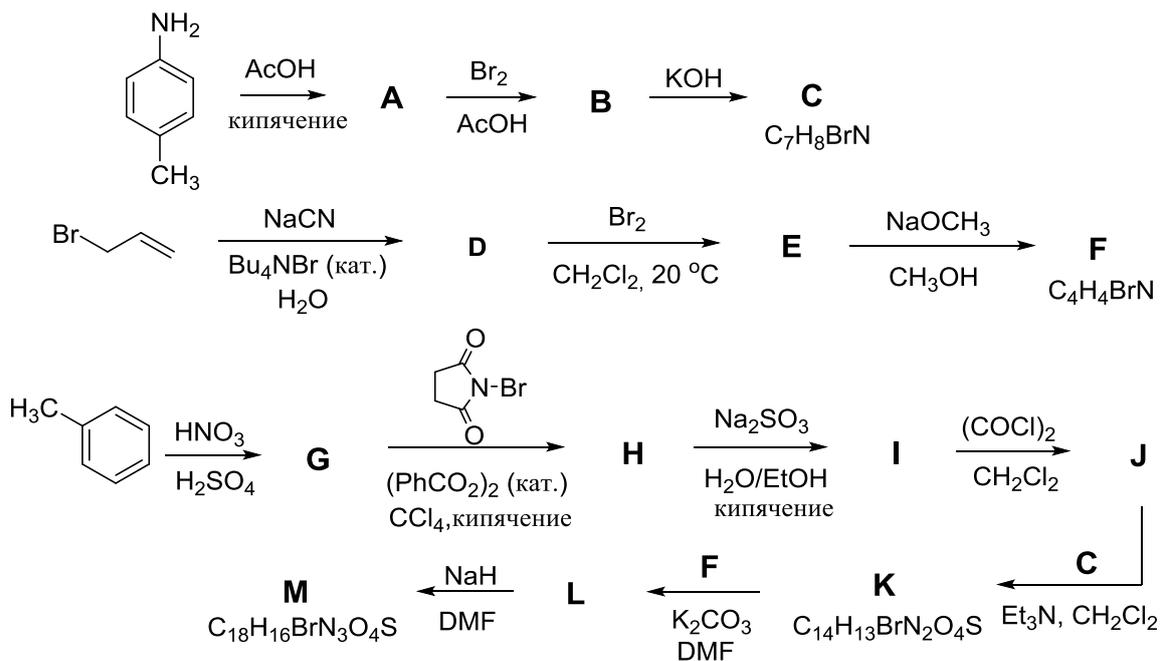
**Вариант 4.** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A-M**), учитывая, что **L** и **M** – изомеры. Сколько и какие стереоизомеры могут получиться при образовании **M**?



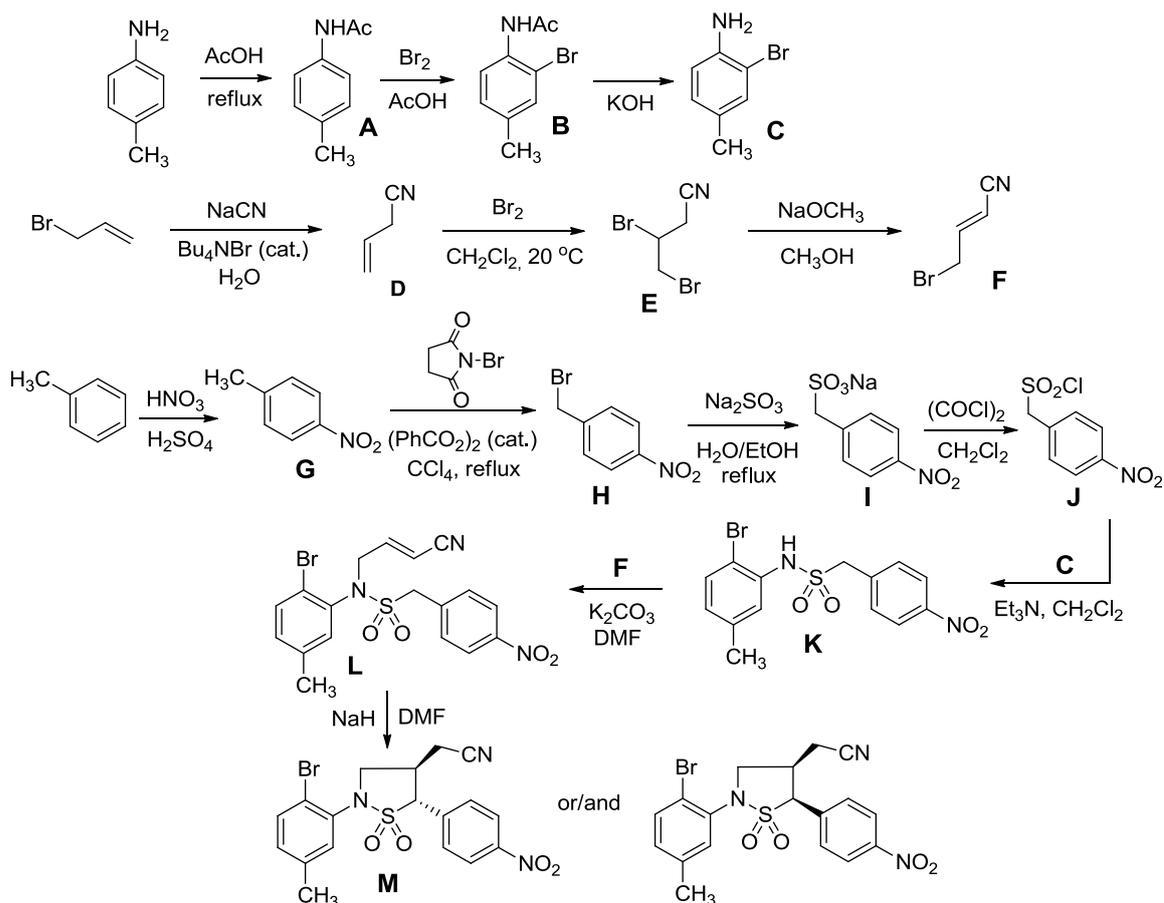
Решение:



**Вариант 5.** Расшифруйте цепочку превращений (структуры **A–M**), учитывая, что **L** и **M** – изомеры. Сколько и какие стереоизомеры могут получиться при образовании **M**?



Решение:



### Задача 3. «Катион наносит ответный удар». 20 баллов

#### Вариант 1

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Наиболее устойчивая соль, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с сильной кислотой Льюиса, которая является одним из компонентов для получения суперкислоты. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 16,6%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (Т кип $\sim$ 20 $^{\circ}$ C) – вторым компонентом для получения суперкислоты. Массовая доля катиона в конечном продукте 27,6%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

Решение:

Из представленных свойств катиона следует, что он сильный окислитель. Поэтому, скорее всего, в реакциях участвует фтор. В таком случае, образующаяся во второй реакции легкокипящая жидкость – фтороводород (1 балл). Первая реакция – реакция соединения,

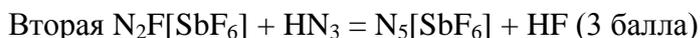
поэтому все ее участники фториды. Наиболее сильными кислотами Льюиса являются фториды элементов 15 группы – мышьяка и сурьмы (1 балл). Фторид сурьмы является компонентом суперкислот. Отсюда используя это предположение, можно посчитать молекулярную массу катиона

$$M = 235,7 \cdot 0,166 / 0,834 = 47 \text{ г/моль.}$$

Элемента с такой массой нет. Если вычесть две атомные массы фтора, то остается 9 г/моль, что подходит под атомную массу бериллия, но он не может быть в с.о. +3. Остается вариант с одним фтором и  $M = 28$  и это может быть кремний, но опять же в нехарактерной с.о. +2 либо два азота (2 балла). По второй массовой доле можно установить число атомов азота в катионе

$$M (\text{катиона}) = 235,7 \cdot 0,276 / 0,724 = 70 \text{ г/моль; } 70 \text{ г/моль} : 14 \text{ г/моль} = 5 \text{ атомов (3 балла).}$$

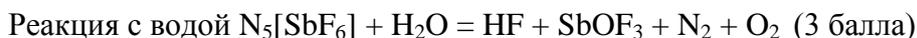
Первая реакция



Искомая соль  $\text{N}_5[\text{SbF}_6]$ .



Структура катиона угловая (2 балла) т.к. соответствующий циклический фрагмент имеет антиароматичное число электронов (2 балл).



В зависимости от количества воды возможны и другие продукты гидролиза пентафторида сурьмы.

## Вариант 2

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Одна из солей, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с сильной кислотой Льюиса. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 19,9%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости ( $T_{\text{кип}} \sim 20^\circ\text{C}$ ) – компонентом для получения суперкислот. Массовая доля катиона в конечном продукте 32,3%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

Ответ:  $\text{N}_5[\text{AsF}_6]$

### Вариант 3

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Наиболее устойчивая соль, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с двукратным избытком сильной кислотой Льюиса, которая является одним из компонентов для получения суперкислоты. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 9,4%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (T кип ~ 20°C) – вторым компонентом для получения суперкислоты. Массовая доля катиона в конечном продукте 16,6%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

*Ответ N<sub>5</sub>[Sb<sub>2</sub>F<sub>11</sub>]*

### Вариант 4

Существование катиона X, содержащего только один элемент, было предсказано в 1986, но получить его соединения удалось лишь в 1999. Одна из солей, содержащая этот катион, образуется в результате двух последовательных реакций. В ходе первой происходит взаимодействие галогенида X с двукратным избытком сильной кислотой Льюиса. Единственным продуктом первой реакции является солеобразное соединение с массовой долей катиона 11,6%. На второй стадии продукт из первой взаимодействует с водородным соединением X с образованием двух веществ – соли катиона X и легкокипящей жидкости (T кип ~ 20°C) – компонентом для получения суперкислот. Массовая доля катиона в конечном продукте 20,0%. Образующаяся соль легко окисляет воду и монооксид азота, но не окисляет хлор. Предложите состав и строение катиона X. Укажите причину, почему предложенное вами строение является наиболее вероятным. В каких условиях нужно проводить синтез солей катиона X? Запишите уравнение реакции соли катиона X с водой, а также уравнения всех описанных химических превращений.

*Ответ N<sub>5</sub>[As<sub>2</sub>F<sub>11</sub>]*

### Задача 4. 20 баллов

#### Вариант №1

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0,6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0,3 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

### Решение

Обозначим за **X**, **Y** и **Z** число моль компонентов исходной смеси. По условию задачи известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Следовательно **X=0.1 моль**, **Y=0.2 моль** и **Z=0.3 моль**. В результате окисления получается смесь из двух компонентов (**A** и **B**), поэтому необходимо рассмотреть 3 варианта:

- 4) **A = X+Y = 0.3**                      **B = Z = 0.3**  
5) **A = X+Z = 0.4**                      **B = Y = 0.2**  
6) **A = X = 0.1**                              **B = Y+Z = 0.5**

Как известно, фенолы окисляются в хиноны. По условию задачи средняя молекулярная масса равна 115. Простейший из хинонов 1,4-бензохинон имеет молекулярную массу равную 108. А его ближайший гомолог 122. Поэтому одним из продуктов окисления обязательно должен быть 1,4-бензохинон иначе средняя молекулярная масса смеси станет больше 115.

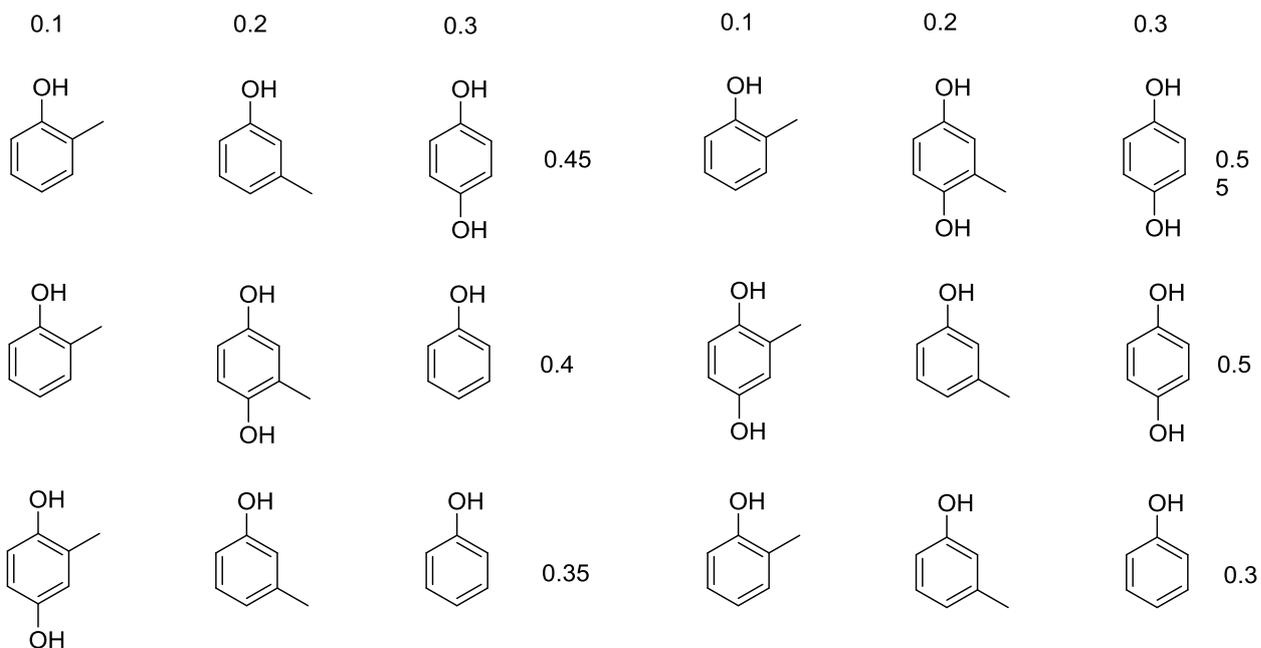
Для двухкомпонентной смеси  $M_{см} = M_A \cdot A / (A+B) + M_B \cdot B / (A+B)$ , если предположить, что один из компонентов 1,4-бензохинон, то подставляя последовательно в уравнение можно получить следующие значения для молекулярных масс компонентов.

- 4) **A = 108, B = 122** или **A = 122, B = 108**  
5) **A = 108, B = 359** или **A = 233.5, B = 108**  
6) **A = 108, B = 208.4** или **A = 610, B = 108**

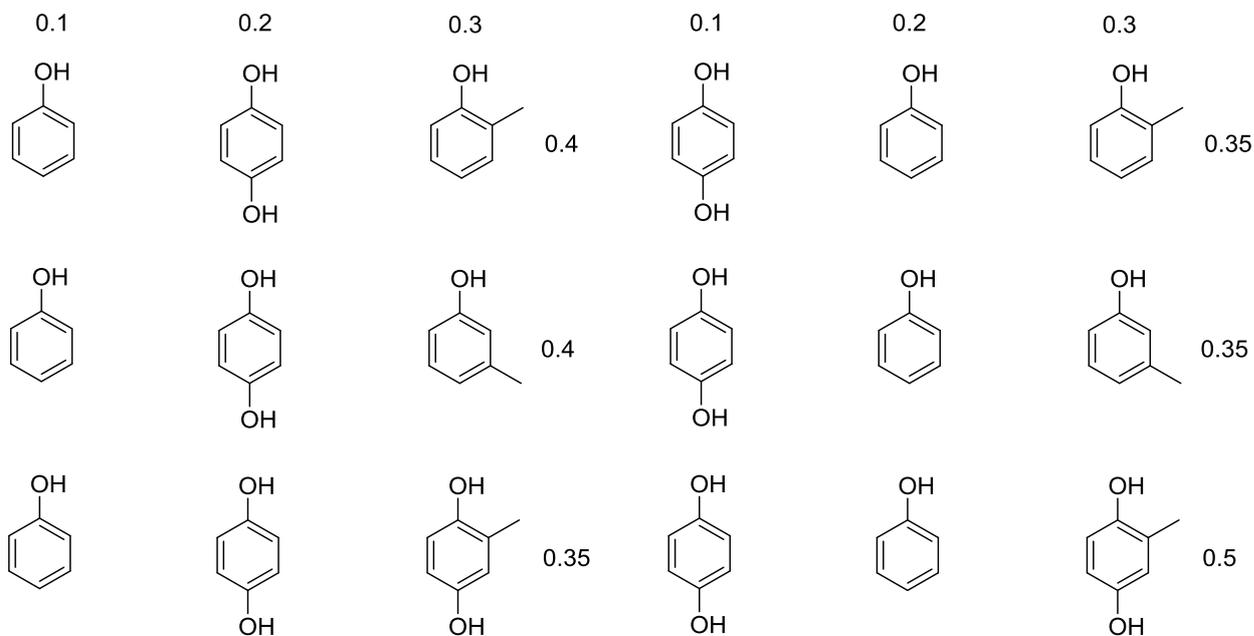
С учетом ограничений из условия задачи (фенолы содержали не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы O и H), подходит вариант 1. Тогда продукты окисления это:



А варианты исходных фенолов следующие:      **A = 122, B = 108**

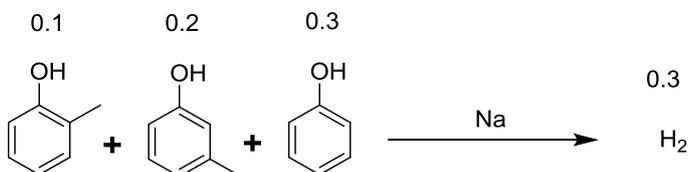


Или **A** = 108, **B** = 122



Для выбора правильного набора исходных фенолов необходимо провести расчет по реакции фенолов с металлическим натрием.

В зависимости от числа гидроксильных групп в феноле и числа моль соответствующего компонента будет выделяться разное количество водорода. По условию задачи выделяется 0.3 моль водорода, значит в исходной смеси присутствовало 0.6 моль гидроксильных групп. Под эти условия подходит только 1 вариант.



## **Вариант №2**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.35 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №3**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.4 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №4**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.45 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №5**

Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.5 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

## **Вариант №6**

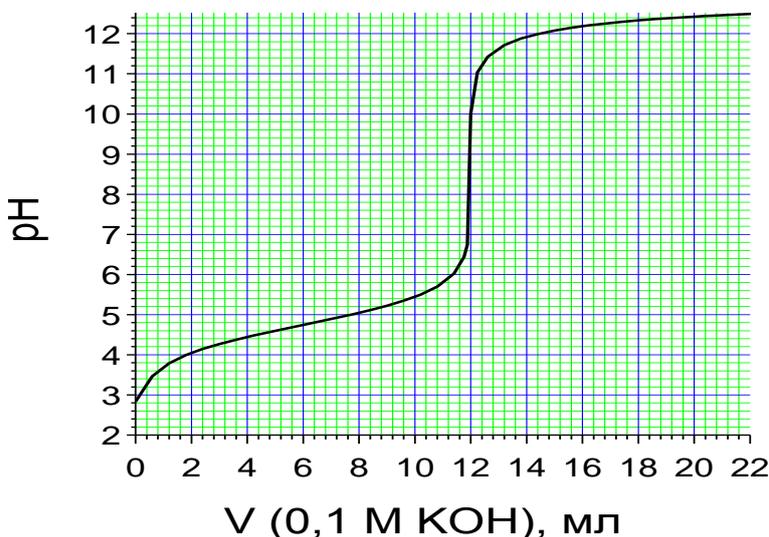
Смесь 3-х различных фенолов, содержащих не более 8 атомов углерода каждый, а также только атомы О и Н, количественно окислили. В результате была получена смесь, состоящая из 2-х компонентов, имеющая среднюю молекулярную массу равную 115. Известно, что в исходной смеси мольные доли компонентов соотносились как 1:2:3, а общее число моль компонентов равнялось 0.6. Установите структуру исходных фенолов и найдите массовую долю компонента смеси после окисления, имеющего самую большую молекулярную массу, если известно, что при реакции с металлическим натрием исходной смеси фенолов выделяется 0.55 моль водорода. Возможностью образования 1,2-хинонов пренебречь.

### Задача 5. Старая кислота. 20 баллов

#### Вариант 1

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был рН-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести рН-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя рН раствора после каждого добавления. Зависимость рН от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $pH = -\lg C(H^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °С равно  $10^{-14}$ .

Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$
уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

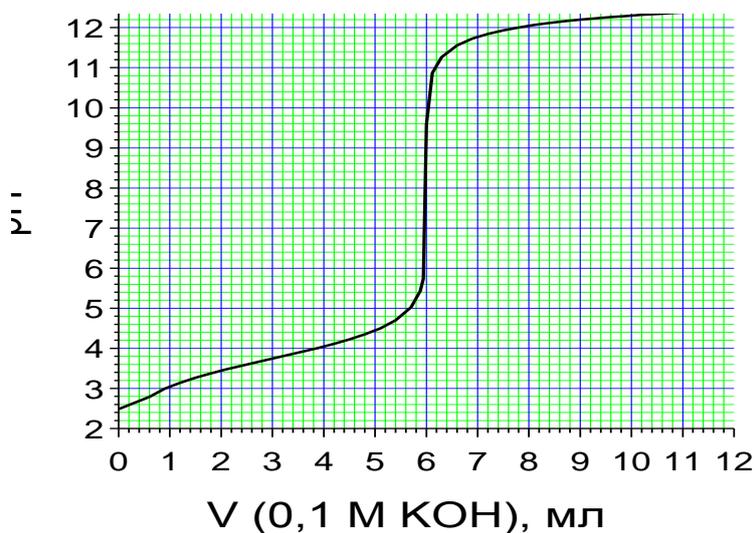
*Решение:*

- 1) Резкий скачок pH наблюдается при добавлении 12 мл 0,1 М КОН, что соответствует точке эквивалентности. Следовательно, концентрация кислоты составляет  $12 \text{ мл} \cdot 0,1 \text{ моль/л} / 10 \text{ мл} = 0,12 \text{ моль/л}$  (6 баллов)
- 2) Степень диссоциации можно определить из значения pH исходной кислоты (0 мл NaOH).  $pH(0 \text{ мл NaOH}) = 2,8$ .  $[H^+] = 10^{-pH} = 0,0016 \text{ моль/л}$ . Степень диссоциации составляет  $\alpha = [H^+] / C_0(\text{кислоты}) \cdot 100 \% = 0,0016 / 0,12 = 1,3 \%$ . Следовательно, кислота – слабая. (6 баллов)
- 3) Для определения кислоты рассчитаем константу диссоциации. Т.к.  $\alpha = 1,3 \%$ , то можно использовать приближение, что концентрация непродиссоциировавшей кислоты равно начальной концентрации. Тогда  $[H^+] = \sqrt{k_{\text{дисс}} \cdot C_0}$ , следовательно  $k_{\text{дисс}} = \frac{[H^+]^2}{C_0} = \frac{0,0016^2}{0,12} = 2,1 \cdot 10^{-5}$ , что наиболее близко к константе диссоциации уксусной кислоты. Неизвестная кислота - уксусная кислота. (6 баллов)
- 4)  $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$  (2 балла)

## **Вариант 2**

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был pH-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести pH-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя pH раствора после каждого добавления. Зависимость pH от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $pH = -\lg C(H^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °С равно  $10^{-14}$ .

Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$
уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

*Ответ:*

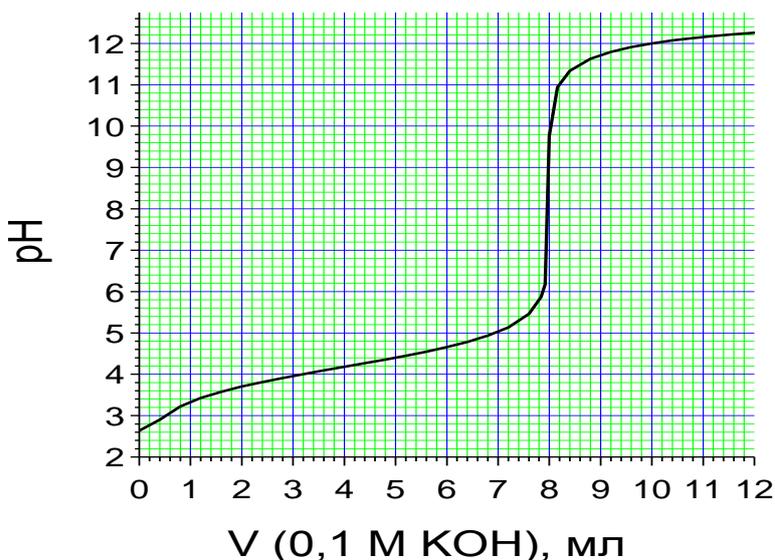
- 1) 0,06 моль/л
- 2) 5,5 % (принимаются значения 4 - 6 %). Кислота – слабая
- 3) Муравьиная кислота
- 4)  $HCOOH \rightleftharpoons HCOO^- + H^+$

### Вариант 3

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого

лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был рН-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести рН-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя рН раствора после каждого добавления. Зависимость рН от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $\text{pH} = -\lg C(\text{H}^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °С равно  $10^{-14}$ .

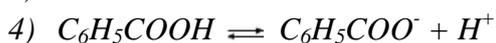
Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$
уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

*Ответ:*

- 1) 0,08 моль/л
- 2) 2,9 % (принимаются значения 2 – 4 %). Кислота – слабая

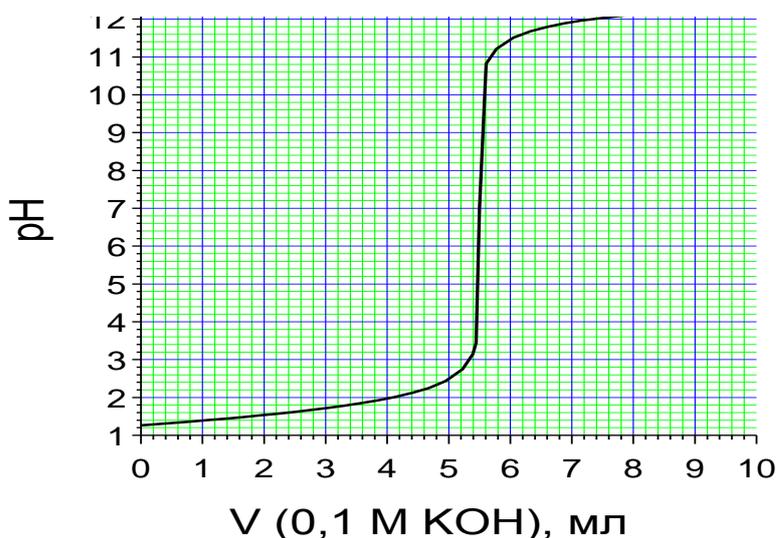
3) Бензойная кислота



#### Вариант 4

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был рН-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести рН-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя рН раствора после каждого добавления. Зависимость рН от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $pH = -\lg C(H^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °С равно  $10^{-14}$ .

Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$

уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

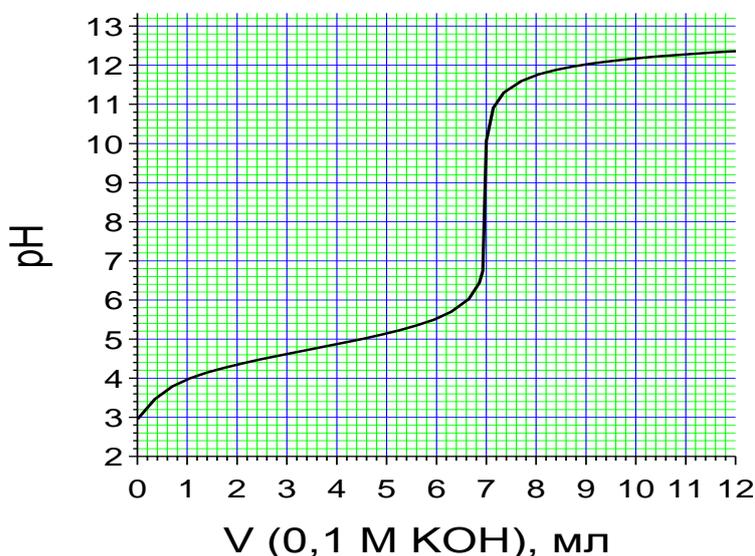
Ответ:

- 1) 0,055 моль/л
- 2) 100 %. Кислота – сильная
- 3) Азотная кислота
- 4)  $HNO_3 \rightarrow NO_3^- + H^+$

### Вариант 5

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был рН-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести рН-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя рН раствора после каждого добавления. Зависимость рН от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $pH = -\lg C(H^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °С равно  $10^{-14}$ .

Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$
уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

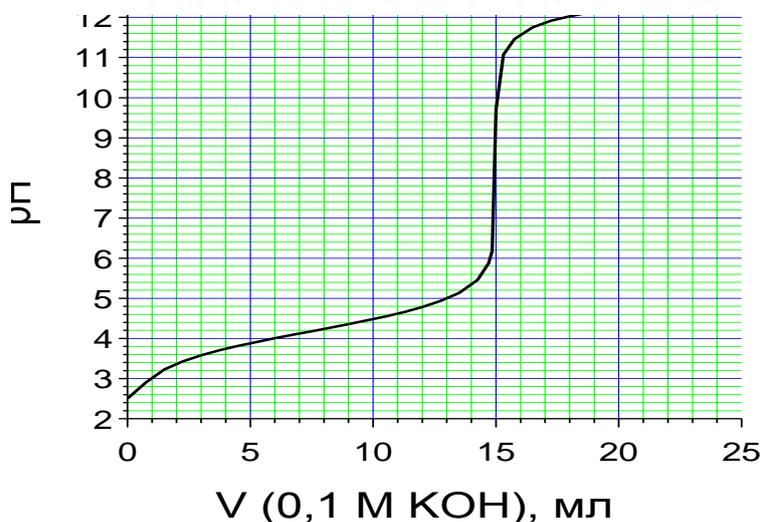
*Ответ:*

- 1) 0,07 моль/л
- 2) 1,6 %. (принимаются значения 1 - 3 %) Кислота – слабая
- 3) Уксусная кислота
- 4)  $CH_3COOH \rightleftharpoons CH_3COO^- + H^+$

### **Вариант 6**

В лаборатории в шкафу с кислотами хранятся несколько склянок. На одной из склянок стерлась надпись. Согласно списку реактивов, в склянке находится разбавленный раствор одной из следующих кислот: муравьиная, уксусная, бензойная, либо азотная. Молодого лаборанта попросили определить, раствор какой кислоты находится в склянке и какова её концентрация. В наличии у лаборанта был рН-метр, набор посуды и 0,1-молярный раствор гидроксида калия. Лаборант решил провести рН-метрическое титрование неизвестной кислоты. Для титрования он отобрал аликвоту 10 мл раствора кислоты и последовательно добавлял из бюретки раствор гидроксида калия, измеряя рН раствора после каждого добавления. Зависимость рН от объема добавленного КОН представлена ниже.

По данному графику лаборант с легкостью определил концентрацию неизвестной кислоты. Проанализировав график еще раз и заглянув в справочник, лаборант успешно определил, какая кислота находится в склянке.



- 1) Определите концентрацию кислоты в склянке.
- 2) Определите степень диссоциации кислоты в исходном растворе. Слабая или сильная кислота находится в склянке?
- 3) Определите, какая кислота в склянке.
- 4) Напишите уравнение её диссоциации.

*Примечание:* водородный показатель  $pH = -\lg C(H^+)$ , ионное произведение воды – произведение концентраций ионов водорода и гидроксид-ионов – при 25 °C равно  $10^{-14}$ .

Справочные данные:

Кислота	Константа диссоциации
муравьиная	$1,8 \cdot 10^{-4}$
уксусная	$1,8 \cdot 10^{-5}$
бензойная	$6,6 \cdot 10^{-5}$

*Ответ:*

- 1) 0,15 моль/л
- 2) 2,1 % (принимаются значения 1 - 3 %). Кислота – слабая
- 3) Бензойная кислота
- 4)  $C_6H_5COOH \rightleftharpoons C_6H_5COO^- + H^+$