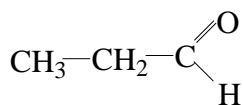


**Олимпиада «Ломоносов» по химии**  
**Отборочный тур**  
**Задания для 10-11 классов**

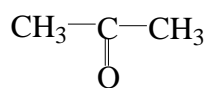
**Задание 1 (4 балла)**

1. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_3H_6O$ , относящихся к разным классам органических соединений.

*Решение.* Брутто-формуле  $C_3H_6O$  отвечают представители разных классов – пропаналь (альдегид) и пропанон (кетон):



*пропаналь*

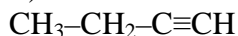


*пропанон*

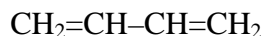
*Ответ:* пропаналь и пропанон.

2. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_4H_6$ , относящихся к разным классам органических соединений.

*Решение.* Брутто-формуле  $C_4H_6$  отвечают представители разных классов – бутин (алкин) и бутадиен (алкадиен):



*бутин-1*

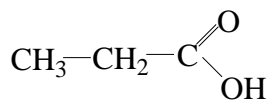


*бутадиен-1,3*

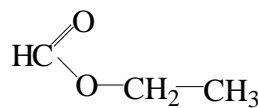
*Ответ:* бутин и бутадиен.

3. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_3H_6O_2$ , относящихся к разным классам органических соединений.

*Решение.* Брутто-формуле  $C_3H_6O_2$  отвечают представители разных классов – пропановая кислота (карбоновая кислота) и этилформиат (сложный эфир):



*пропановая кислота*



*этилформиат*

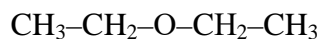
*Ответ:* пропановая кислота и этилформиат.

4. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_4H_{10}O$ , относящихся к разным классам органических соединений.

*Решение.* Брутто-формуле  $C_4H_{10}O$  отвечают представители разных классов – бутанол (спирт) и диэтиловый эфир (простой эфир):



*бутанол-1*



*диэтиловый эфир*

*Ответ:* бутанол и диэтиловый эфир.

5. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_3H_8O$ , относящихся к разным классам органических соединений.

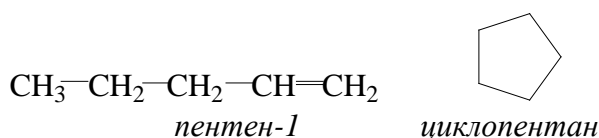
*Решение.* Брутто-формуле  $C_3H_8O$  отвечают представители разных классов – пропанол (спирт) и метилэтиловый эфир (простой эфир):



*Ответ:* пропанол и метилэтиловый эфир.

6. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_5H_{10}$ , относящихся к разным классам органических соединений.

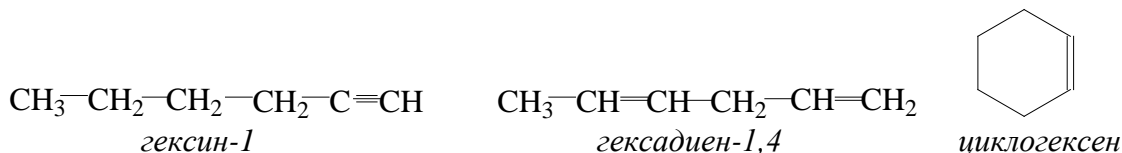
*Решение.* Брутто-формуле  $C_5H_{10}$  отвечают представители разных классов – пентен (алкен) и циклопентан (циклоалкан):



*Ответ:* пентен и циклопентан.

7. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_6H_{10}$ , относящихся к разным классам органических соединений.

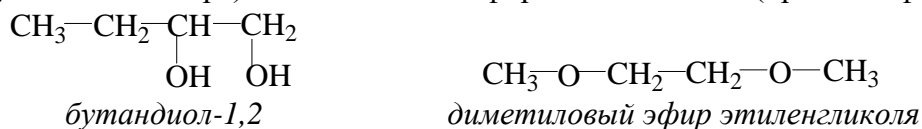
*Решение.* Брутто-формуле  $C_6H_{10}$  отвечают представители разных классов – гексин (алкин), гексадиен (алкадиен) или циклогексен (циклоалкен):



*Ответ:* гексин, гексадиен, циклогексен.

8. Приведите структурные формулы двух изомеров состава  $C_4H_{10}O_2$ , относящихся к разным классам органических соединений.

*Решение.* Брутто-формуле  $C_4H_{10}O_2$  отвечают представители разных классов – бутандиол (двухатомный спирт) и диметиловый эфир этиленгликоля (простой эфир):

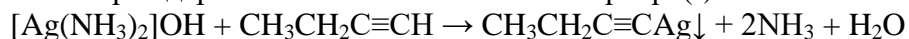


*Ответ:* бутандиол и диметиловый эфир этиленгликоля.

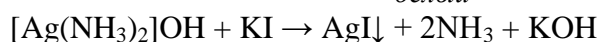
## Задание 2 (6 баллов)

1. Пропускание бутина-1 в водный раствор неизвестного вещества привело к выпадению белого осадка, а добавление иодида калия к такому же раствору – к выпадению желтого осадка. Определите неизвестное вещество, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Раствор содержит аммиачный комплекс серебра(I):



*белый*

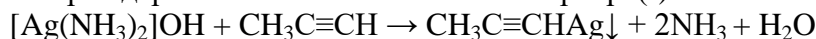


*желтый*

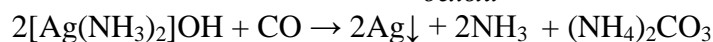
*Ответ:*  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ .

2. Пропускание пропина в раствор неизвестного вещества привело к выпадению белого осадка, а пропускание оксида углерода(II) в такой же раствор – к выпадению черного осадка. Определите неизвестное вещество, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Раствор содержит аммиачный комплекс серебра(I):



*белый*

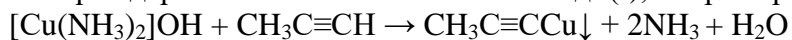


*черный*

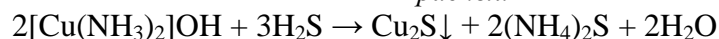
*Ответ:*  $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ .

3. Пропускание бутина-1 в раствор неизвестного вещества привело к выпадению красного осадка, а пропускание сероводорода в такой же раствор – к выпадению черного осадка. Определите неизвестное вещество, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Раствор содержит аммиачный комплекс меди(I), например:



*красный*

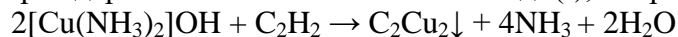


*черный*

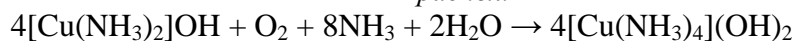
*Ответ:*  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ .

4. Пропускание ацетилен в раствор неизвестного вещества привело к выпадению красного осадка, а пропускание кислорода в такой же раствор – к изменению окраски этого раствора на синюю. Определите неизвестное вещество, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Раствор содержит аммиачный комплекс меди(I), например:



*красный*

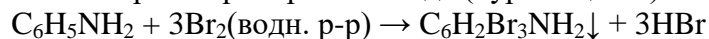


*синий раствор*

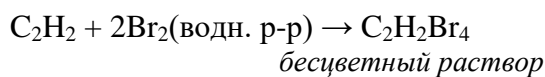
*Ответ:*  $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$ .

5. Добавление анилина к окрашенному раствору неизвестного вещества привело к выпадению белого осадка, а пропускание избытка ацетилен в такой же раствор – к полному его обесцвечиванию. Определите неизвестное вещество, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Окрашенный раствор – бромная вода (бурого цвета):



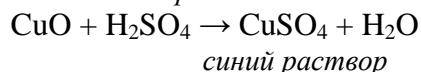
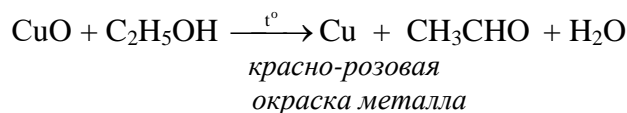
*белый*



*Ответ:* Br<sub>2</sub>.

**6.** Нагревание неизвестного окрашенного твердого вещества с этиловым спиртом привело к изменению окраски вещества на красно-розовую, а растворение его в серной кислоте – к образованию синего раствора. Определите неизвестное вещество.

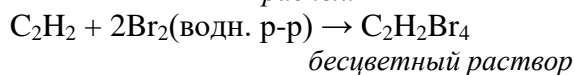
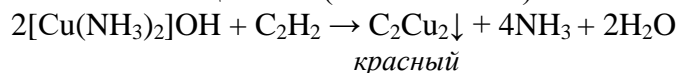
*Решение.* Твердое вещество – оксид меди(II) (черный):



*Ответ:* CuO.

**7.** Неизвестный газ легче азота при пропускании в раствор, содержащий аммиачный комплекс меди(I), вызывает выпадение красного осадка, а пропускание избытка этого газа в бромную воду полностью ее обесцвечивает. Определите неизвестный газ.

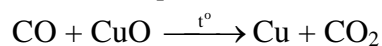
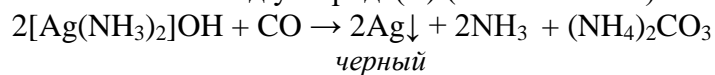
*Решение.* Неизвестный газ – ацетилен ( $M = 26$  г/моль):



*Ответ:* C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>.

**8.** Пропускание неизвестного газа тяжелее ацетилена в аммиачный раствор оксида серебра привело к выпадению черного осадка, а пропускание этого газа над нагретым оксидом меди(II) – к образованию металлической меди. Определите неизвестный газ, запишите уравнения реакций.

*Решение.* Неизвестный газ – оксид углерода(II) ( $M = 28$  г/моль):



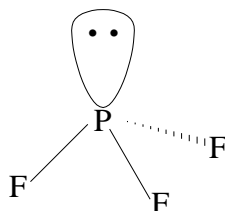
*Ответ:* CO.

### Задание 3 (8 баллов)

1. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{PF}_3$ .

*Решение.* Пространственное строение  $\text{PF}_3$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома фосфора P и предположив тип гибридизации атомных орбиталей фосфора, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома фосфора  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^3$ . Пять валентных электронов занимают одну  $3s$ -орбиталь (два спаренных электрона) и три  $3p$ -орбитали (три неспаренных электрона). При образовании молекулы  $\text{PF}_3$  эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , гибридные орбитали образуют тетраэдр. Одна из гибридных орбиталей не участвует в образовании связи с атомом фтора, на этой орбитали находится неподеленная пара электронов. Молекула  $\text{PF}_3$  представляет собой тригональную пирамиду, угол  $\angle \text{F-P-F}$  меньше тетраэдрического угла  $109^\circ 28'$  из-за влияния неподеленной пары электронов.

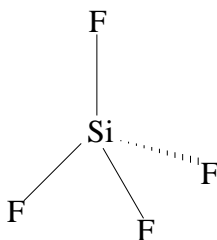


*Ответ:* Молекула  $\text{PF}_3$  имеет пирамидальное строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей фосфора.

2. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{SiF}_4$ .

*Решение.* Пространственное строение  $\text{SiF}_4$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома кремния Si и предположив тип гибридизации атомных орбиталей кремния, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома кремния:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ . Четыре валентных неспаренных электрона атома кремния в возбужденном состоянии занимают одну  $s$ -орбиталь и три  $p$ -орбитали. При образовании молекулы  $\text{SiF}_4$  эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , четыре гибридные орбитали образуют тетраэдр (полная аналогия с метаном  $\text{CH}_4$ ). Молекула  $\text{SiF}_4$  представляет собой тетраэдр, угол  $\angle \text{F-Si-F}$  – тетраэдрический угол  $109^\circ 28'$ .

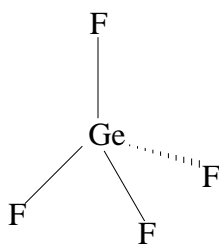


*Ответ:* Молекула  $\text{SiF}_4$  имеет тетраэдрическое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей кремния.

3. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{GeF}_4$ .

*Решение.* Пространственное строение  $\text{GeF}_4$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома германия Ge и предположив тип гибридизации атомных орбиталей германия, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома Ge:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^2$ . Четыре валентных неспаренных электрона атома германия в возбужденном состоянии занимают одну  $s$ -орбиталь и три  $p$ -орбитали. При образовании молекулы  $\text{GeF}_4$  эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , четыре гибридные орбитали образуют тетраэдр (полная аналогия с метаном  $\text{CH}_4$ ). Молекула  $\text{GeF}_4$  представляет собой тетраэдр, угол  $\angle \text{F-Ge-F}$  – тетраэдрический угол  $109^\circ 28'$ .

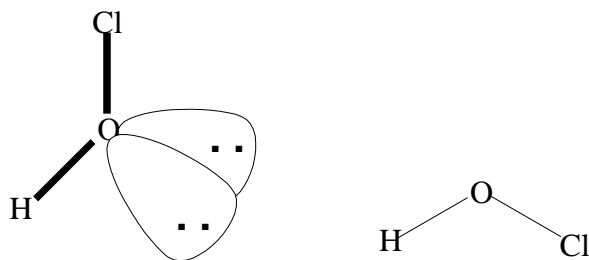


*Ответ:* Молекула  $\text{GeF}_4$  имеет тетраэдрическое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей германия.

4. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{HOCl}$ .

*Решение.* Пространственное строение молекулы  $\text{HOCl}$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома кислорода и предположив тип гибридизации атомных орбиталей атома кислорода, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома O:  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Шесть валентных электронов атома кислорода занимают одну  $2s$ -орбиталь (два спаренных электрона) и три  $2p$ -орбитали (два спаренных электрона и два неспаренных электрона). При образовании молекулы эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , гибридные орбитали образуют тетраэдр. Две гибридные орбитали не участвуют в связи с атомами водорода и хлора, на этих орбиталях находятся неподеленные пары электронов. Молекула  $\text{HOCl}$  имеет угловую структуру, угол  $\angle \text{H-O-Cl}$  меньше тетраэдрического угла  $109^\circ 28'$  из-за отталкивания неподеленных пар электронов.

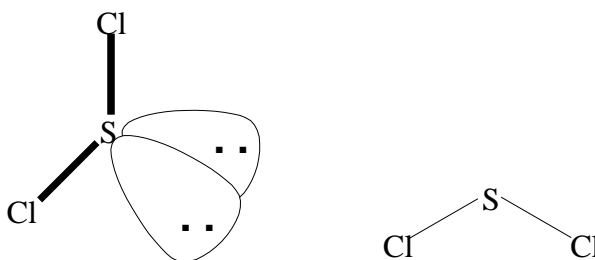


*Ответ:* Молекула  $\text{HOCl}$  имеет угловое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей кислорода.

5. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{SCl}_2$ .

*Решение.* Пространственное строение  $\text{SCl}_2$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома серы и предположив тип гибридизации атомных орбиталей серы, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация серы S:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ . Шесть валентных электронов атома серы занимают одну  $s$ -орбиталь (два спаренных электрона) и три  $p$ -орбитали (два спаренных электрона и два неспаренных электрона). При образовании молекулы эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , гибридные орбитали образуют тетраэдр. Две гибридные орбитали не участвуют в образовании связей с атомами хлора, на них находятся неподеленные пары электронов. Молекула  $\text{SCl}_2$  имеет угловую структуру, угол  $\angle \text{Cl-S-Cl}$  меньше тетраэдрического угла  $109^\circ 28'$  из-за отталкивания неподеленных пар электронов.

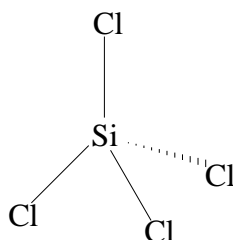


*Ответ:* Молекула  $\text{SCl}_2$  имеет угловое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атома серы.

6. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $\text{SiCl}_4$ .

*Решение.* Пространственное строение  $\text{SiCl}_4$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома кремния и предположив тип гибридизации атомных орбиталей кремния, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома Si:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^2$ . Четыре валентных неспаренных электрона атома кремния в возбужденном состоянии занимают одну  $s$ -орбиталь и три  $p$ -орбитали. При образовании молекулы эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , четыре гибридные орбитали образуют тетраэдр (полная аналогия с метаном  $\text{CH}_4$ ). Молекула  $\text{SiCl}_4$  представляет собой тетраэдр, угол  $\angle \text{Cl-Si-Cl}$  – тетраэдрический угол  $109^\circ 28'$ .

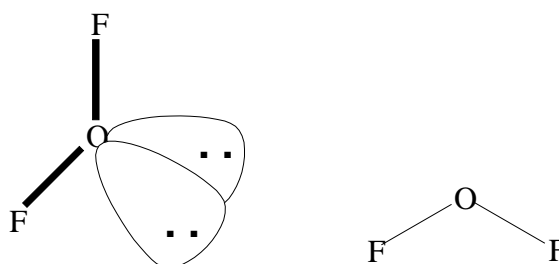


*Ответ:* Молекула  $\text{SiCl}_4$  имеет тетраэдрическое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей атома кремния.

7. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $F_2O$ .

*Решение.* Пространственное строение  $F_2O$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома кислорода и предположив тип гибридизации атомных орбиталей атома кислорода, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация атома O:  $1s^2 2s^2 2p^4$ . Шесть валентных электронов атома кислорода занимают одну  $2s$ -орбиталь (два спаренных электрона) и три  $2p$ -орбитали (два спаренных электрона и два неспаренных электрона). При образовании молекулы эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , гибридные орбитали образуют тетраэдр. Две гибридные орбитали не участвуют в связи с атомами фтора, на этих орбиталях находятся неподеленные пары электронов. Молекула  $F_2O$  имеет угловую структуру, угол  $\angle F-O-F$  меньше тетраэдрического угла  $109^\circ 28'$  из-за отталкивания неподеленных пар электронов.

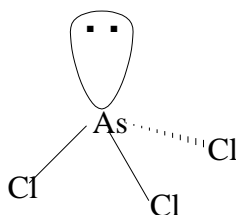


*Ответ:* Молекула  $F_2O$  имеет угловое строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей кислорода.

8. Используя представления о гибридизации орбиталей, предскажите пространственное строение молекулы  $AsCl_3$ .

*Решение.* Пространственное строение  $AsCl_3$  можно предсказать, зная электронную конфигурацию атома мышьяка и предположив тип гибридизации атомных орбиталей атома мышьяка, участвующих в образовании связей.

Электронная конфигурация As:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$ . Пять валентных электронов атома мышьяка занимают одну  $4s$ -орбиталь (два спаренных электрона) и три  $4p$ -орбитали (три неспаренных электрона). При образовании молекулы  $AsCl_3$  эти орбитали гибридизуются, т.е. становятся одинаковыми. Тип гибридизации  $sp^3$ , гибридные орбитали образуют тетраэдр. Одна из гибридных орбиталей не участвует в связи с атомом хлора, на этой орбитали находится неподеленная пара электронов. Молекула  $AsCl_3$  представляет собой тригональную пирамиду, угол  $\angle Cl-As-Cl$  меньше тетраэдрического угла  $109^\circ 28'$  из-за влияния неподеленной пары электронов.



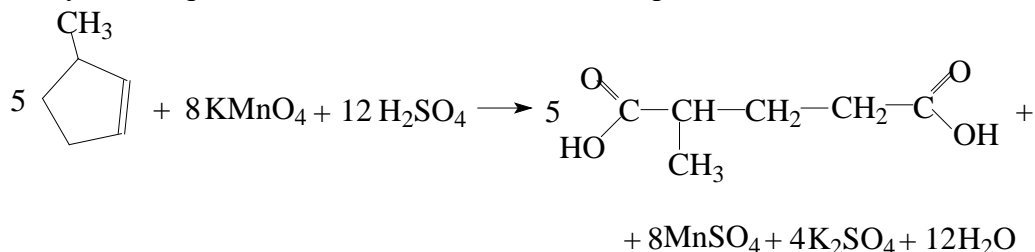
*Ответ:* Молекула  $AsCl_3$  имеет пирамидальное строение благодаря  $sp^3$ -гибридизации атомных орбиталей мышьяка.



### Задание 4 (8 баллов)

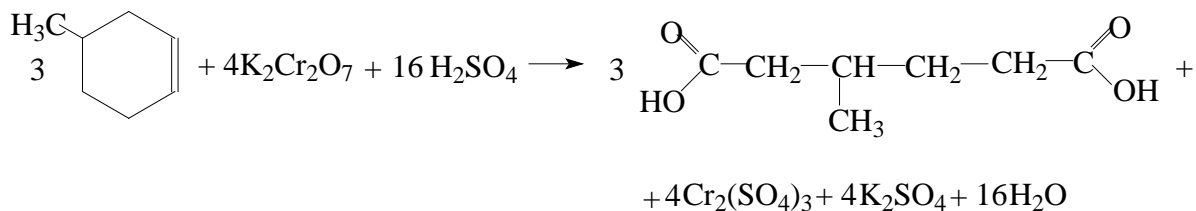
1. На углеводород  $C_6H_{10}$  действовали подкисленным раствором перманганата калия и получили 2-метилпентандиовую кислоту. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

Ответ: углеводород  $C_6H_{10}$  – 3-метилциклопентен, реакция его окисления:



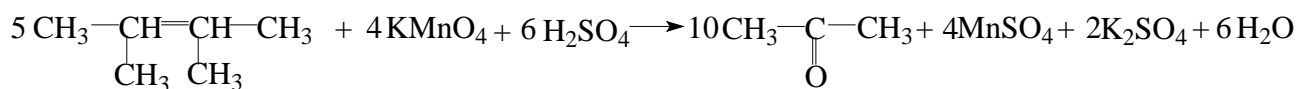
2. На углеводород  $C_7H_{12}$  действовали подкисленным раствором дихромата калия и получили 3-метилгександиовую кислоту. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

Ответ: углеводород  $C_7H_{12}$  – 4-метилциклогексен, реакция его окисления:



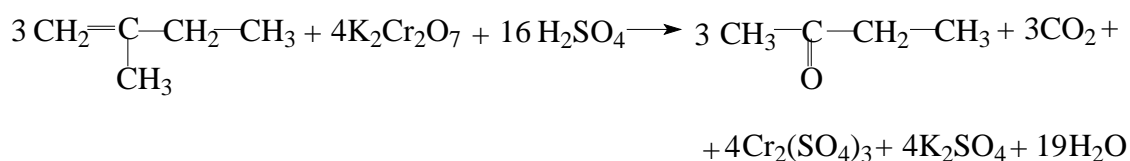
3. На углеводород  $C_6H_{12}$  действовали подкисленным раствором перманганата калия и получили ацетон. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

Ответ: углеводород  $C_6H_{12}$  – 2,3-диметилбутен-2, реакция его окисления:



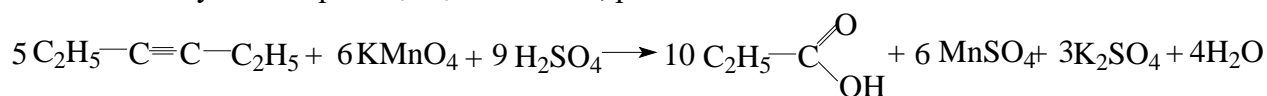
4. На углеводород  $C_5H_{10}$  действовали подкисленным раствором дихромата калия и получили бутанон. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

Ответ: углеводород  $C_5H_{10}$  – 2-метилбутен-1, реакция его окисления:



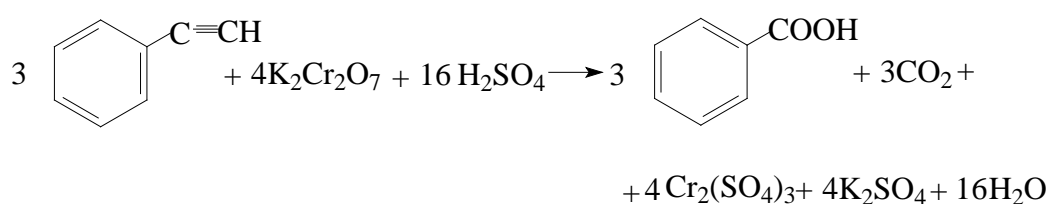
5. На углеводород  $C_6H_{10}$  действовали подкисленным раствором перманганата калия и получили пропионовую кислоту. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

*Ответ:* углеводород  $C_6H_{10}$  – гексин-3, реакция его окисления:



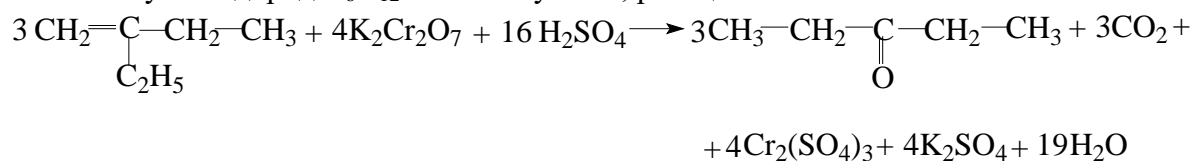
6. На углеводород  $C_8H_6$  действовали подкисленным раствором дихромата калия и получили бензойную кислоту. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

*Ответ:* углеводород  $C_8H_6$  – этинилбензол, реакция его окисления:



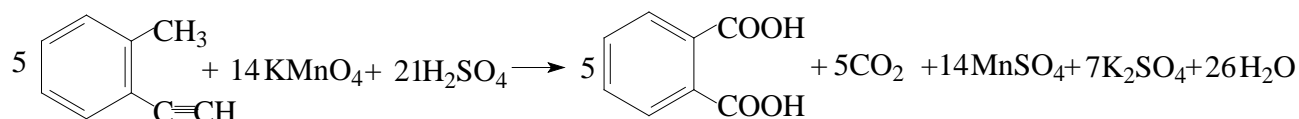
7. На углеводород  $C_6H_{12}$  действовали подкисленным раствором дихромата калия и получили пентанон-3. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

*Ответ:* углеводород  $C_6H_{12}$  – 2-этилбутен-1, реакция его окисления:



8. На углеводород  $C_9H_8$  действовали подкисленным раствором перманганата калия и получили бензол-1,2-дикарбоновую кислоту. Запишите уравнение реакции, используя структурные формулы органических веществ.

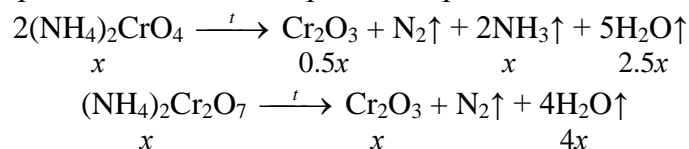
*Ответ:* углеводород  $C_9H_8$  – 2-метилэтинилбензол, реакция его окисления:



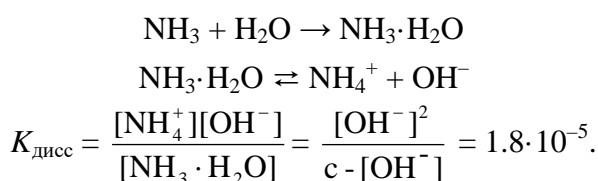
### Задание 5 (14 баллов)

1. Эквимолярную смесь хромата и дихромата аммония прокаливали до полного разложения. Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания, пропускали через 250 мл дистиллированной воды и получили раствор плотностью 0.995 г/мл с pH 11.415. Определите массу твердого остатка после прокаливания.  $K_{\text{дисс}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Выделившийся аммиак в количестве  $x$  моль поглощается водой, давая щелочную реакцию раствора:



тогда

$$\begin{array}{l} [\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.415} \text{ моль/л,} \\ [\text{OH}^-] = 10^{-2.585} \text{ моль/л.} \\ c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = (10^{-2.585})^2 / 1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-2.585} = 0.378 \text{ (моль/л).} \end{array}$$

Количество вещества аммиака равно

$$v(\text{NH}_3) = x = 0.378 \cdot V(\text{р-ра}).$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения солей через воду поглощается аммиак и пары воды, а азот не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{р-ра}) = 250 + 17x + 18 \cdot 6.5x = 250 + 134x \text{ (г).}$$

Объем раствора:

$$\begin{array}{l} V(\text{р-ра}) = m / \rho = \frac{250 + 134x}{0.995 \cdot 10^3} \text{ (л).} \\ v(\text{NH}_3) = x = 0.378 \cdot \frac{250 + 134x}{0.995 \cdot 10^3}, \end{array}$$

отсюда  $x = 0.10$  моль.

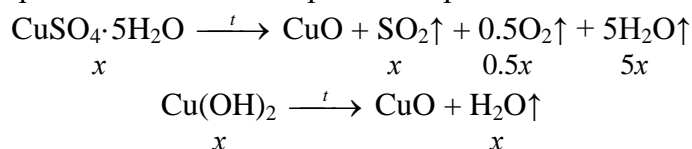
Твердый остаток после прокаливания – оксид хрома(III), его масса составляет

$$\begin{array}{l} v(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 1.5x = 0.15 \text{ моль,} \\ m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152 \cdot 0.150 = 22.8 \text{ г.} \end{array}$$

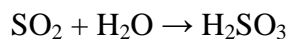
*Ответ:* 22.8 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

2. Эквимолярную смесь пентагидрата сульфата меди(II) и гидроксида меди(II) прокаливали до полного разложения. Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания, пропускали через 400 мл дистиллированной воды и получили раствор плотностью 1.017 г/мл с pH 1.129. Определите объем не поглощенного водой газа (20 атм). Константа диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_3$  по первой ступени равна  $1.4 \cdot 10^{-2}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Образовавшийся сернистый газ в количестве  $x$  моль поглощается водой, давая кислую реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]} = 1.4 \cdot 10^{-2}.$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.129} \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_3) = (10^{-1.129})^2 / 1.4 \cdot 10^{-2} + 10^{-1.129} = 0.468 \text{ (моль/л).}$$

Количество вещества сернистой кислоты

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = x = 0.468 \cdot V(\text{p-ра})$$

Определим объем раствора. При пропускании продуктов разложения через воду поглощается сернистый газ и пары воды, а кислород не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{p-ра}) = 400 + 64x + 18 \cdot 6x = 400 + 172x \text{ (г).}$$

Объем раствора:

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = \frac{400 + 172x}{1.017 \cdot 10^3} \text{ (л).}$$

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = x = 0.468 \cdot \frac{400 + 172x}{1.017 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.20$  моль.

Кислород, выделившийся при разложении исходной смеси, водой не поглощается. Найдем его объем.

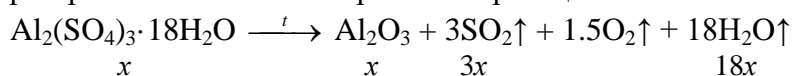
$$v(\text{O}_2) = 0.5x = 0.10 \text{ моль,}$$

$$V(\text{O}_2) = \frac{vRT}{p} = 0.10 \cdot 8.314 \cdot 293 / 101.325 = 2.404 \text{ л.}$$

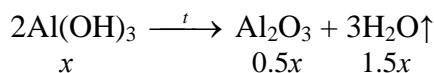
Ответ: 2.404 л  $\text{O}_2$ .

3. Эквимольную смесь  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$  и гидроксида алюминия прокаливали до полного разложения. Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания, пропускали через 350 мл дистиллированной воды и получили раствор плотностью 1.036 г/мл с pH 0.935. Определите массу твердого остатка после прокаливания. Константа диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_3$  по первой ступени равна  $1.4 \cdot 10^{-2}$ .

Решение. При прокаливании смеси протекают реакции:

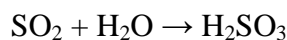


$$x \qquad \qquad \qquad x \qquad 3x \qquad \qquad \qquad 18x$$



$$x \qquad \qquad \qquad 0.5x \qquad 1.5x$$

Образовавшийся сернистый газ в количестве  $3x$  моль поглощается водой, давая кислую реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]} = 1.4 \cdot 10^{-2}.$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-0.935} \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_3) = (10^{-0.935})^2 / 1.4 \cdot 10^{-2} + 10^{-0.935} = 1.080 \text{ (моль/л).}$$

Количество вещества сернистой кислоты

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 3x = 1.080 \cdot V(\text{p-ра})$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения соли и гидроксида через воду поглощается сернистый газ и пары воды, а кислород не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{p-ра}) = 350 + 64 \cdot 3x + 18 \cdot 19.5x = 350 + 543x \text{ (г)}.$$

Объем раствора:

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = \frac{350 + 543x}{1.036 \cdot 10^3} \text{ (л)}.$$

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 3x = 1.080 \cdot V(\text{p-ра}) = 1.080 \cdot \frac{350 + 543x}{1.036 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.150$  моль. Твердый остаток после прокаливании – оксид алюминия, его масса

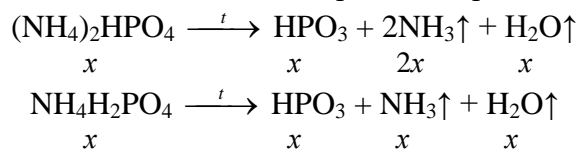
$$v(\text{Al}_2\text{O}_3) = 1.5x = 0.225 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \cdot 0.225 = 22.95 \text{ г}.$$

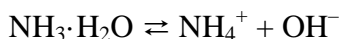
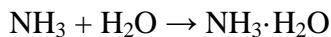
*Ответ:* 22.95 г  $\text{Al}_2\text{O}_3$ .

**4.** Газообразные продукты, образующиеся при сильном нагревании эквимольной смеси гидрофосфата и дигидрофосфата аммония, пропускали через 300 мл дистиллированной воды. Значение pH раствора плотностью 0.985 г/мл, полученного после полного разложения смеси, составило 11.749. Определите массу метафосфорной кислоты, оставшейся после разложения.  $K_{\text{дисс.}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси солей протекают реакции:



Выделившийся аммиак в количестве  $3x$  моль поглощается водой, давая щелочную реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]} = 1.8 \cdot 10^{-5}.$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.749} \text{ моль/л,}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2.251} \text{ моль/л.}$$

тогда

$$c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = (10^{-2.251})^2 / 1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-2.251} = 1.754 \text{ (моль/л)}.$$

Количество вещества аммиака равно

$$v(\text{NH}_3) = 3x = 1.754 \cdot V(\text{p-ра}).$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения солей через воду поглощается аммиак и пары воды, а азот не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{p-ра}) = 300 + 17 \cdot 3x + 18 \cdot 2x = 300 + 87x \text{ (г)}.$$

Объем раствора:

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = \frac{300 + 87x}{0.985 \cdot 10^3} \text{ (л)}.$$

$$v(\text{NH}_3) = 3x = 1.754 \cdot \frac{300 + 87x}{0.985 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.188$  моль.

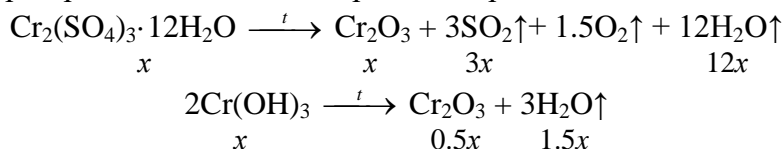
$$v(\text{HPO}_3) = 2x = 0.376 \text{ моль,}$$

$$m(\text{HPO}_3) = 80 \cdot 0.376 = 30 \text{ г}.$$

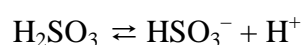
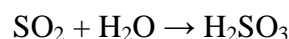
*Ответ:* 30 г  $\text{HPO}_3$ .

5. Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания эквимольной смеси  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  и гидроксида хрома(III), пропускали через 550 мл дистиллированной воды. Значение pH раствора, полученного после полного разложения смеси, составило 0.914, а плотность его – 1.039 г/мл. Определите массу твердого остатка после прокаливания. Константа диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_3$  по первой ступени равна  $1.4 \cdot 10^{-2}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Образовавшийся сернистый газ в количестве  $3x$  моль поглощается водой, давая кислую реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]} = 1.4 \cdot 10^{-2}.$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-0.914} \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_3) = (10^{-0.914})^2 / 1.4 \cdot 10^{-2} + 10^{-0.914} = 1.183 \text{ (моль/л).}$$

Количество вещества сернистой кислоты

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 3x = 1.183 \cdot V(\text{р-ра}).$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения соли и гидроксида через воду поглощается сернистый газ и пары воды, а кислород не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{р-ра}) = 550 + 64 \cdot 3x + 18 \cdot 13.5x = 550 + 435x \text{ (г).}$$

Объем раствора составляет

$$V(\text{р-ра}) = m / \rho = \frac{550 + 435x}{1.039 \cdot 10^3}.$$

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = 3x = 1.183 \cdot \frac{550 + 435x}{1.039 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.250$  моль.

Твердый остаток после прокаливания – оксид хрома(III), его масса

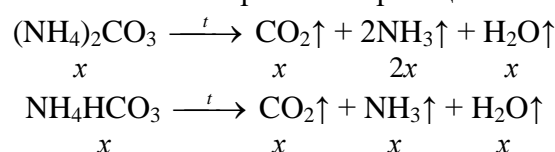
$$v(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 1.5x = 0.375 \text{ моль,}$$

$$m(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152 \cdot 0.375 = 57 \text{ г.}$$

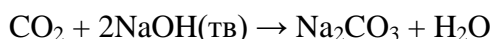
*Ответ:* 57 г  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ .

6. Газообразные продукты полного термического разложения эквимольной смеси карбоната и гидрокарбоната аммония пропускали через твердый гидроксид натрия. Прошедший через щелочь газ затем полностью поглотили 320 мл дистиллированной воды. Значение pH полученного раствора плотностью 0.988 г/мл составило 11.693. Определите массу исходной смеси солей.  $K_{\text{дисс}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$ .

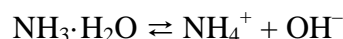
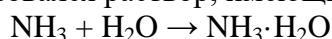
*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Твердая щелочь осушает газовую смесь от паров воды, углекислый газ также вступает в реакцию:



Оставшийся после пропускания через щелочь аммиак в количестве  $3x$  моль был полностью поглощен водой. Образовался раствор, имеющий щелочную реакцию:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]} = 1.8 \cdot 10^{-5}.$$

тогда

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.693} \text{ моль/л},$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2.307} \text{ моль/л}.$$

$$c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = (10^{-2.307})^2 / 1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-2.307} = 1.356 \text{ (моль/л)}.$$

Количество вещества аммиака равно

$$v(\text{NH}_3) = 3x = 1.356 \cdot V(\text{р-ра}).$$

Определим массу и объем раствора:

$$m(\text{р-ра}) = 320 + 17 \cdot 3x = 320 + 51x \text{ (г)}.$$

Объем раствора составляет

$$V(\text{р-ра}) = m / \rho = \frac{320 + 51x}{0.988 \cdot 10^3} \text{ (л)}.$$

$$v(\text{NH}_3) = 3x = 1.356 \cdot \frac{320 + 51x}{0.988 \cdot 10^3},$$

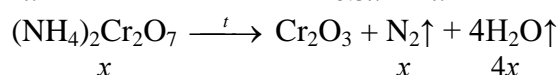
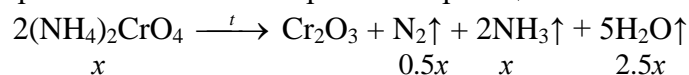
отсюда  $x = 0.150$  моль. Масса исходной смеси солей составляет

$$m(\text{смеси}) = 96 \cdot 0.150 + 79 \cdot 0.150 = 26.25 \text{ г}.$$

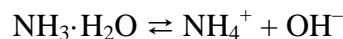
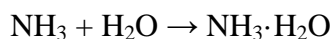
*Ответ:* 26.25 г.

7. Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания эквимольной смеси хромата и дихромата аммония, пропускали через 350 мл дистиллированной воды. После полного разложения смеси солей был получен раствор плотностью 0.991 г/мл, значение pH которого составило 11.598. Определите массу магния, который сможет при нагревании прореагировать с не поглощенным водой газом.  $K_{\text{дисс}}(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = 1.8 \cdot 10^{-5}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Выделившийся аммиак в количестве  $x$  моль поглощается водой, давая щелочную реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{NH}_4^+][\text{OH}^-]}{[\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{c - [\text{OH}^-]} = 1.8 \cdot 10^{-5}.$$

тогда

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-11.598} \text{ моль/л},$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-2.402} \text{ моль/л}.$$

$$c(\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}) = (10^{-2.402})^2 / 1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-2.402} = 0.876 \text{ (моль/л)}.$$

Количество вещества аммиака равно

$$v(\text{NH}_3) = x = 0.876 \cdot V(\text{р-ра}).$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения солей через воду поглощается аммиак и пары воды, а азот не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{р-ра}) = 350 + 17x + 18 \cdot 6.5x = 350 + 134x \text{ (г)}.$$

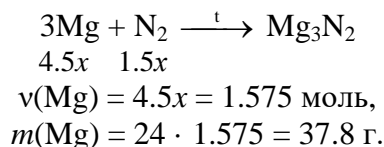
Объем раствора:

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = \frac{350 + 134x}{0.991 \cdot 10^3} \text{ (л)}.$$

$$v(\text{NH}_3) = x = 0.876 \cdot \frac{400 + 87x}{0.985 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.350$  моль.

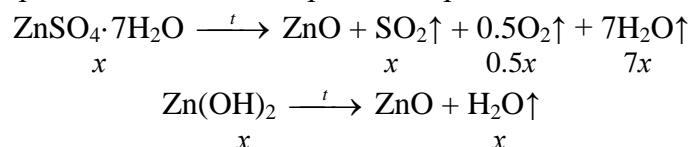
Азот в количестве  $1.5x$  моль не поглощается водой и может при нагревании прореагировать с магнием:



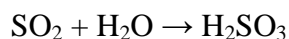
*Ответ:* 37.8 г Mg.

**8.** Газообразные продукты, образующиеся в процессе прокаливания эквимольной смеси гептагидрата сульфата цинка и гидроксида цинка, пропускали через 450 мл дистиллированной воды. После полного разложения смеси был получен раствор плотностью 1.018 г/мл, значение pH которого составило 1.110. Определите массу исходной смеси. Константа диссоциации  $\text{H}_2\text{SO}_3$  по первой ступени равна  $1.4 \cdot 10^{-2}$ .

*Решение.* При прокаливании смеси протекают реакции:



Образовавшийся сернистый газ в количестве  $x$  моль поглощается водой, давая кислую реакцию раствора:



$$K_{\text{дисс}} = \frac{[\text{H}^+][\text{HSO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{SO}_3]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]} = 1.4 \cdot 10^{-2}.$$

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-1.110} \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{H}_2\text{SO}_3) = (10^{-1.110})^2 / 1.4 \cdot 10^{-2} + 10^{-1.110} = 0.508 \text{ (моль/л)}.$$

Количество вещества сернистой кислоты

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = x = 0.508 \cdot V(\text{p-ра}).$$

Определим объем раствора. При пропускании газообразных продуктов разложения соли и гидроксида через воду поглощается сернистый газ и пары воды, а кислород не поглощается. Образуется раствор массой

$$m(\text{p-ра}) = 450 + 64x + 18 \cdot 8x = 450 + 208x \text{ (г)}.$$

Объем раствора составляет

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = \frac{450 + 208x}{1.018 \cdot 10^3}.$$

$$v(\text{H}_2\text{SO}_3) = x = 0.508 \cdot \frac{450 + 208x}{1.018 \cdot 10^3},$$

отсюда  $x = 0.250$  моль. Масса исходной смеси составляет

$$m(\text{смеси}) = 287 \cdot 0.250 + 99 \cdot 0.250 = 96.5 \text{ г.}$$

*Ответ:* 96.5 г.



### Задание 6 (14 баллов)

1. Вещества **A** и **B** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **A** равен 55 мин, а вещества **B** – 11 мин. Начальные концентрации веществ **A** и **B** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **A** окажется в 5 раз больше, чем вещества **B**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[A]_0$  и  $[B]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[A]_0}{[A]} = k_A t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[B]_0}{[B]} = k_B t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[B]_0}{[B]} - \ln \frac{[A]_0}{[A]} = k_B t - k_A t, \quad \text{или}$$

$$\ln \frac{[B]_0 \cdot [A]}{[A]_0 \cdot [B]} = t(k_B - k_A).$$

Поскольку по условию  $[A]_0 = [B]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[A]}{[B]} = t(k_B - k_A).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_A = \frac{\ln 2}{\tau_A} \quad \text{и} \quad k_B = \frac{\ln 2}{\tau_B}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[A]}{[B]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_B} - \frac{1}{\tau_A} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[A]}{[B]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_B} - \frac{1}{\tau_A} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 5}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{11} - \frac{1}{55} \right)} \approx 31.9 \text{ мин.}$$

*Ответ:* 31.9 мин.

2. Вещества **C** и **D** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **C** равен 66 мин, а вещества **D** – 22 мин. Начальные концентрации веществ **C** и **D** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **C** окажется в 3 раза больше, чем вещества **D**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[C]_0$  и  $[D]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[C]_0}{[C]} = k_C t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[D]_0}{[D]} = k_D t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[D]_0}{[D]} - \ln \frac{[C]_0}{[C]} = k_D t - k_C t, \text{ или}$$

$$\ln \frac{[D]_0 \cdot [C]}{[C]_0 \cdot [D]} = t(k_D - k_C).$$

Поскольку по условию  $[D]_0 = [C]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[C]}{[D]} = t(k_D - k_C).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_C = \frac{\ln 2}{\tau_C} \quad \text{и} \quad k_D = \frac{\ln 2}{\tau_D}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[C]}{[D]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_D} - \frac{1}{\tau_C} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[C]}{[D]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_D} - \frac{1}{\tau_C} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 3}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{22} - \frac{1}{66} \right)} \approx 52.3 \text{ мин.}$$

*Ответ:* 52.3 мин.

**3.** Вещества **Е** и **Ф** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **Е** равен 77 мин, а вещества **Ф** – 11 мин. Начальные концентрации веществ **Е** и **Ф** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **Е** окажется в 7 раз больше, чем вещества **Ф**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[E]_0$  и  $[F]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[E]_0}{[E]} = k_E t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[F]_0}{[F]} = k_F t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[F]_0}{[F]} - \ln \frac{[E]_0}{[E]} = k_F t - k_E t, \text{ или}$$

$$\ln \frac{[F]_0 \cdot [E]}{[E]_0 \cdot [F]} = t(k_F - k_E).$$

Поскольку по условию  $[E]_0 = [F]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[E]}{[F]} = t(k_F - k_E).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_E = \frac{\ln 2}{\tau_E} \quad \text{и} \quad k_F = \frac{\ln 2}{\tau_F}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[E]}{[F]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_F} - \frac{1}{\tau_E} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[E]}{[F]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_F} - \frac{1}{\tau_E} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 7}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{11} - \frac{1}{77} \right)} \approx 36.0 \text{ мин.}$$

Ответ: 36.0 мин.

**4.** Вещества **G** и **H** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **G** равен 99 мин, а вещества **H** – 33 мин. Начальные концентрации веществ **G** и **H** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **G** окажется в 3 раза больше, чем вещества **H**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[G]_0$  и  $[H]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[G]_0}{[G]} = k_G t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[H]_0}{[H]} = k_H t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\begin{aligned} \ln \frac{[H]_0}{[H]} - \ln \frac{[G]_0}{[G]} &= k_H t - k_G t, \text{ или} \\ \ln \frac{[H]_0 \cdot [G]}{[G]_0 \cdot [H]} &= t(k_H - k_G). \end{aligned}$$

Поскольку по условию  $[G]_0 = [H]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[G]}{[H]} = t(k_H - k_G).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_G = \frac{\ln 2}{\tau_G} \quad \text{и} \quad k_H = \frac{\ln 2}{\tau_H}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[G]}{[H]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_H} - \frac{1}{\tau_G} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[G]}{[H]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_H} - \frac{1}{\tau_G} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 3}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{33} - \frac{1}{99} \right)} \approx 78.5 \text{ мин.}$$

Ответ: 78.5 мин.

**5.** Вещества **M** и **N** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **M** равен 111 мин, а вещества **N** – 33 мин. Начальные концентрации веществ **M** и **N** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **M** окажется в 5 раз больше, чем вещества **N**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[M]_0$  и  $[N]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[M]_0}{[M]} = k_M t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[N]_0}{[N]} = k_N t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[N]_0}{[N]} - \ln \frac{[M]_0}{[M]} = k_N t - k_M t, \quad \text{или}$$

$$\ln \frac{[N]_0 \cdot [M]}{[M]_0 \cdot [N]} = t(k_N - k_M).$$

Поскольку по условию  $[M]_0 = [N]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[M]}{[N]} = t(k_N - k_M).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_M = \frac{\ln 2}{\tau_M} \quad \text{и} \quad k_N = \frac{\ln 2}{\tau_N}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[M]}{[N]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_N} - \frac{1}{\tau_M} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[M]}{[N]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_N} - \frac{1}{\tau_M} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 5}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{33} - \frac{1}{111} \right)} \approx 109.0 \text{ мин.}$$

*Ответ:* 109.0 мин.

**6.** Вещества **Q** и **R** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **Q** равен 220 мин, а вещества **R** – 22 мин. Начальные концентрации веществ **Q** и **R** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **Q** окажется в 10 раз больше, чем вещества **R**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[Q]_0$  и  $[R]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[Q]_0}{[Q]} = k_Q t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[R]_0}{[R]} = k_R t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[R]_0}{[R]} - \ln \frac{[Q]_0}{[Q]} = k_R t - k_Q t, \quad \text{или}$$

$$\ln \frac{[R]_0 \cdot [Q]}{[Q]_0 \cdot [R]} = t(k_R - k_Q).$$

Поскольку по условию  $[Q]_0 = [R]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[Q]}{[R]} = t(k_R - k_Q).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_Q = \frac{\ln 2}{\tau_Q} \quad \text{и} \quad k_R = \frac{\ln 2}{\tau_R}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[Q]}{[R]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_R} - \frac{1}{\tau_Q} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[Q]}{[R]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_R} - \frac{1}{\tau_Q} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 10}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{22} - \frac{1}{220} \right)} \approx 81.2 \text{ мин.}$$

*Ответ:* 81.2 мин.

**7.** Вещества **S** и **W** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **S** равен 330 мин, а вещества **W** – 33 мин. Начальные концентрации веществ **S** и **W** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **S** окажется в 9 раз больше, чем вещества **W**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[S]_0$  и  $[W]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[S]_0}{[S]} = k_S t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[W]_0}{[W]} = k_W t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\begin{aligned} \ln \frac{[W]_0}{[W]} - \ln \frac{[S]_0}{[S]} &= k_W t - k_S t, \text{ или} \\ \ln \frac{[W]_0 \cdot [S]}{[S]_0 \cdot [W]} &= t(k_W - k_S). \end{aligned}$$

Поскольку по условию  $[S]_0 = [W]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[S]}{[W]} = t(k_W - k_S).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_S = \frac{\ln 2}{\tau_S} \quad \text{и} \quad k_W = \frac{\ln 2}{\tau_W}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[S]}{[W]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_W} - \frac{1}{\tau_S} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[A]}{[B]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_B} - \frac{1}{\tau_A} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 9}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{33} - \frac{1}{330} \right)} \approx 116.3 \text{ мин.}$$

Ответ: 116.3 мин.

8. Вещества **X** и **Y** распадаются согласно кинетике первого порядка. Период полураспада вещества **X** равен 440 мин, а вещества **Y** – 44 мин. Начальные концентрации веществ **X** и **Y** равны. Рассчитайте, через какое время концентрация вещества **X** окажется в 5 раз больше, чем вещества **Y**.

*Решение.* Обозначим начальные концентрации веществ  $[X]_0$  и  $[Y]_0$ . Реакции первого порядка описываются следующими уравнениями:

$$\ln \frac{[X]_0}{[X]} = k_X t \quad \text{и} \quad \ln \frac{[Y]_0}{[Y]} = k_Y t.$$

Вычитаем одно уравнение из другого:

$$\ln \frac{[Y]_0}{[Y]} - \ln \frac{[X]_0}{[X]} = k_Y t - k_X t, \text{ или}$$

$$\ln \frac{[Y]_0 \cdot [X]}{[X]_0 \cdot [Y]} = t(k_Y - k_X).$$

Поскольку по условию  $[X]_0 = [Y]_0$ , получаем

$$\ln \frac{[X]}{[Y]} = t(k_Y - k_X).$$

Константы скорости для реакций первого порядка связаны с периодами полураспада:

$$k_X = \frac{\ln 2}{\tau_X} \quad \text{и} \quad k_Y = \frac{\ln 2}{\tau_Y}.$$

Отсюда

$$\ln \frac{[X]}{[Y]} = t \cdot \ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_Y} - \frac{1}{\tau_X} \right).$$

Окончательно получаем:

$$t = \frac{\ln \frac{[X]}{[Y]}}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{\tau_Y} - \frac{1}{\tau_X} \right)}.$$

Подставляем исходные данные и получаем:

$$t = \frac{\ln 5}{\ln 2 \cdot \left( \frac{1}{44} - \frac{1}{440} \right)} \approx 113.5 \text{ мин.}$$

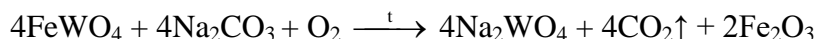
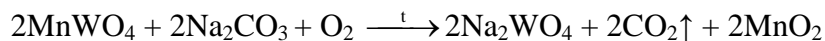
Ответ: 113.5 мин.

## Задание 7 (20 баллов)

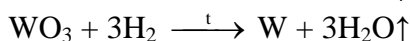
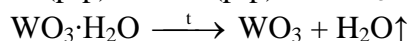
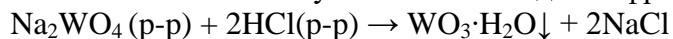
1. Минерал гюбнерит  $MnWO_4$  с примесью ферберита  $FeWO_4$  подвергли сплавлению с карбонатом натрия в присутствии кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после сплавления смеси и получения из нее индивидуальных соединений железа, марганца и вольфрама. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже представлен один из возможных вариантов решения.

1) Сплавление с карбонатом натрия в присутствии кислорода:

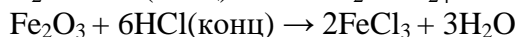
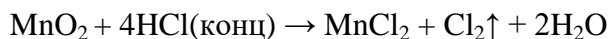


При добавлении к твердому остатку избытка воды вольфрамат натрия переходит в раствор, оксиды железа(III) и марганца(IV) остаются в осадке. Отделяем осадок. Добавляем к раствору соляную кислоту для выделения из него осадка вольфрамовой кислоты, прокаливаем этот осадок и восстанавливаем получившийся оксид вольфрама(VI) водородом:

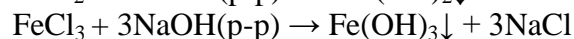
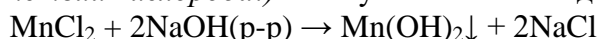


Вольфрам выделен.

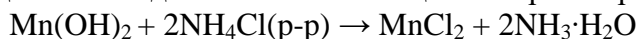
2) Смесь оксидов железа(III) и марганца(IV) обрабатываем горячей концентрированной соляной кислотой:



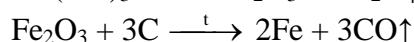
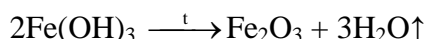
К получившемуся раствору хлоридов железа(III) и марганца(II) добавляем избыток раствора щелочи (*в отсутствие кислорода!*) и получаем смесь осадков:



Разделить эти осадки можно добавлением насыщенного раствора хлорида аммония:

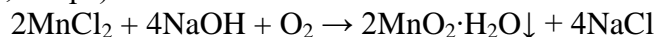


Гидроксид марганца реагирует и растворяется, гидроксид железа – нет. Отделяем фильтрованием осадок гидроксида железа(III), прокаливаем и восстанавливаем полученный оксид железа(III) углем (можно использовать алюминий или CO):

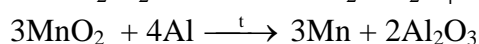
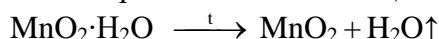


Железо выделено.

3) Раствор хлорида марганца обрабатываем раствором щелочи в присутствии окислителя (кислорода, хлора):



Выпавший осадок гидратированного оксида марганца(IV) прокаливаем и восстанавливаем полученный оксид марганца алюминием (можно углем):

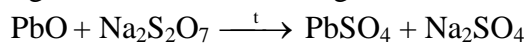
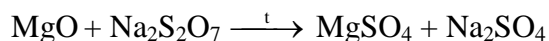
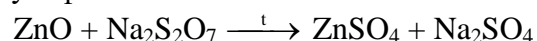


Марганец выделен.

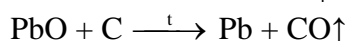
2. Минерал цинкит  $ZnO$  с примесями оксида магния  $MgO$  и оксида свинца  $PbO$  («красную цинковую руду») подвергли сплавлению с пиросульфатом натрия. Предложите путь разделения образовавшейся после сплавления смеси и получения из нее индивидуальных соединений цинка, магния и свинца. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже представлен один из возможных вариантов решения.

1) Сплавление с пиросульфатом:

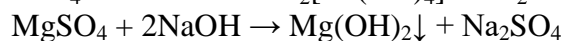
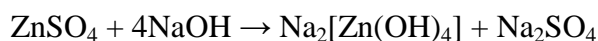


При добавлении к спеку избытка воды сульфаты цинка, магния и натрия переходят в раствор, малорастворимый сульфат свинца остается в осадке. Отделяем и прокаливаем осадок сульфата свинца при высокой температуре, затем восстанавливаем образовавшийся оксид свинца(II) углем:

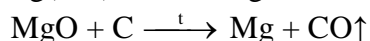
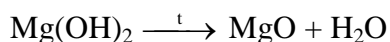


Свинец выделен.

2) Водный раствор сульфатов цинка, магния и натрия обрабатываем избытком раствора щелочи:

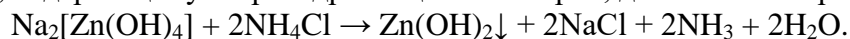


Отделяем выпавший осадок гидроксида магния, прокаливаем и восстанавливаем получившийся оксид магния углем:

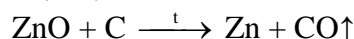
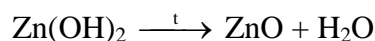


Магний выделен.

3) К раствору, содержащему тетрагидроксицинкат натрия, добавляем хлорид аммония:



Прокаливаем осадок гидроксида цинка и восстанавливаем получившийся оксид цинка углем:

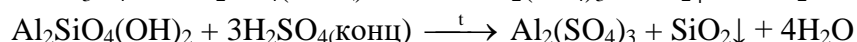
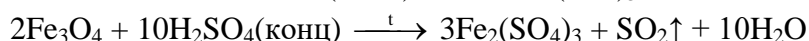
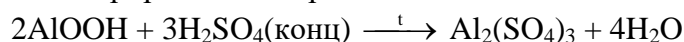


Цинк выделен.

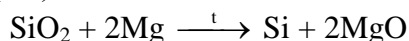
**3.** Минерал диаспор  $\text{AlOOH}$  с примесями магнетита  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  и топаза  $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{OH})_2$  подвергли нагреванию с концентрированной серной кислотой. Предложите путь разделения образовавшейся после нагревания смеси и получения из нее индивидуальных соединений алюминия, железа и кремния. Предложите способы получения указанных металлов и кремния из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже представлен один из возможных вариантов решения.

1) Нагревание с концентрированной серной кислотой:

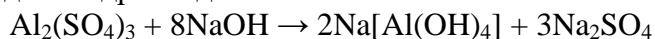


Оксид кремния остается в осадке. Восстанавливаем кремний магнием (можно использовать углерод или водород):

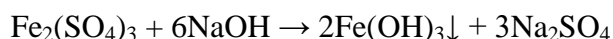


Кремний выделен.

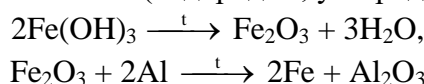
2) Смесь сульфатов алюминия и железа(III) в растворе обрабатываем избытком раствора щелочи, выпадает гидроксид железа:





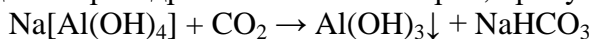


Отделяем и прокаливаем осадок гидроксида железа(III). Восстанавливаем полученный оксид железа(III) до металла алюминием (водородом, углеродом, оксидом углерода(II)):

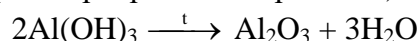


Железо выделено.

3) В раствор, содержащий тетрагидроксиалюминат натрия, пропускаем углекислый газ:



Отделяем и прокаливаем осадок гидроксида алюминия. Подвергаем получившийся оксид алюминия электролизу (раствор в расплаве криолита):

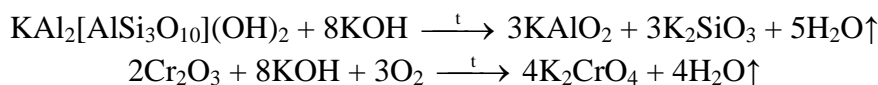


Алюминий выделен.

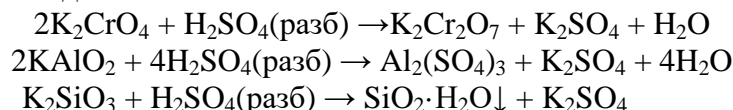
4. Калиевую слюду  $\text{KAl}_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH})_2$  с примесью оксида хрома  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  («фуксит») подвергли сплавлению с избытком твердого гидроксида калия в присутствии кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после нагревания смеси и получения из нее индивидуальных соединений алюминия, хрома и кремния. Предложите способы получения указанных металлов и кремния из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже приведен один из возможных вариантов решения.

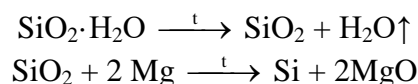
1) Сплавление с КОН:



При добавлении к твердому остатку избытка разбавленной серной кислоты в растворе остаются дихромат калия, сульфат алюминия и сульфат калия, а гидратированный оксид кремния(IV) выпадает в осадок:

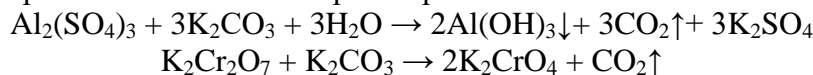


Прокаливаем осадок для удаления воды и восстанавливаем оксид кремния магнием (или углеродом, водородом):

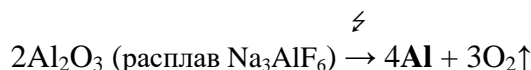
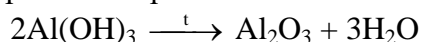


Кремний выделен.

2) Раствор обрабатываем избытком раствора поташа:

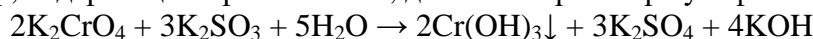


Отделяем и прокаливаем осадок гидроксида алюминия. Подвергаем получившийся оксид алюминия электролизу в расплаве криолита:

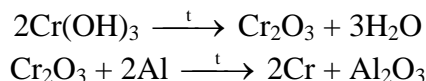


Алюминий выделен.

3) В раствор, содержащий хромат калия, добавляем раствор сульфита калия:



Прокаливаем осадок гидроксида хрома и восстанавливаем получившийся оксид хрома(III) алюминием:

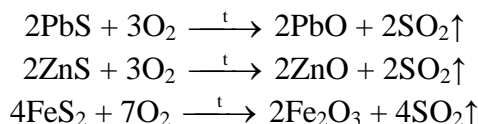


Хром выделен.

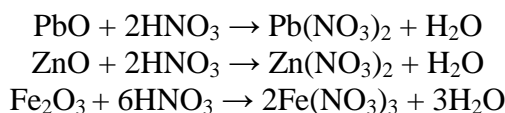
**5.** Минерал галенит  $\text{PbS}$  с примесями сфалерита  $\text{ZnS}$  и пирита  $\text{FeS}_2$  подвергли обжигу в токе кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после обжига смеси и получения из нее индивидуальных соединений свинца, цинка и железа. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже приведен один из возможных вариантов решения.

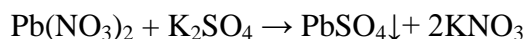
1) Окислительный обжиг:



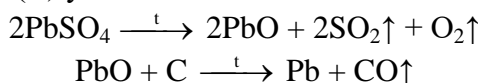
После обработки твердого остатка азотной кислотой получаем в растворе нитраты свинца, цинка и железа(III):



Добавляем к раствору сульфат калия и отделяем осадок малорастворимого сульфата свинца:

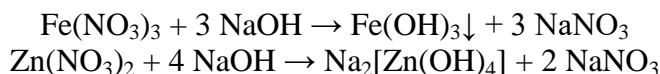


Прокаливаем сульфат свинца при высокой температуре и восстанавливаем образовавшийся оксид свинца(II) углем:

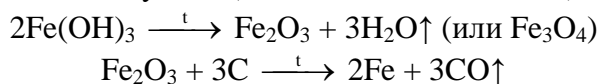


Свинец выделен.

2) К оставшемуся раствору, содержащему соли железа(III) и цинка, добавляем избыток раствора гидроксида натрия:

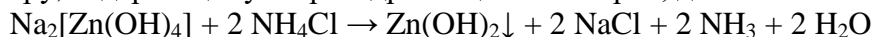


Образовавшийся осадок гидроксида железа(III) отделяем и прокаливаем. Полученный оксид железа(III) восстанавливаем углем (или  $\text{Al}$ , смесью  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ):

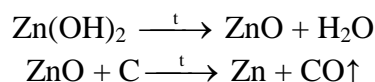


Железо выделено.

3) К раствору, содержащему тетрагидроксоцинкат натрия, добавляем хлорид аммония:



Образовавшийся осадок гидроксида цинка отделяем и прокаливаем. Восстанавливаем получившийся оксид цинка углем:

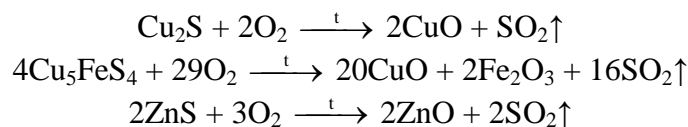


Цинк выделен.

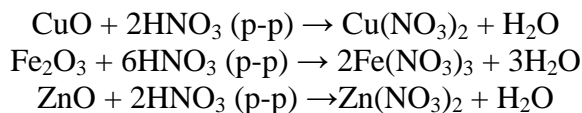
**6.** Минерал халькозин  $\text{Cu}_2\text{S}$  с примесями борнита  $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$  и сфалерита  $\text{ZnS}$  подвергли обжигу в токе кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после обжига смеси и получения из нее индивидуальных соединений меди, железа и цинка. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже приведен один из возможных вариантов решения.

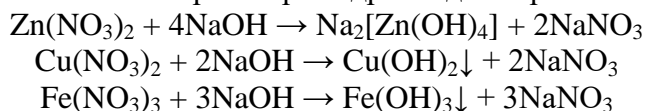
1) Окислительный обжиг:



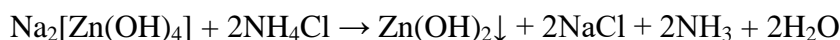
После обработки твердого остатка азотной кислотой получаем в растворе нитраты меди, железа(III) и цинка:



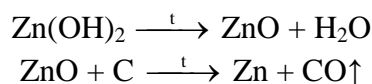
Добавляем избыток разбавленного раствора гидроксида натрия:



Осадок отделяем. К раствору, содержащему тетрагидроксоцинкат натрия, добавляем хлорид аммония:

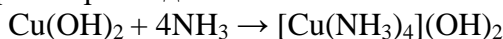


Отделяем и прокаливаем осадок гидроксида цинка. Восстанавливаем получившийся оксид цинка углем:

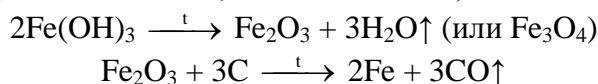


Цинк выделен.

2) Добавляем к осадку, содержащему гидроксиды меди и железа(III), раствор аммиака. При этом медь переходит в раствор в виде аммиачного комплекса:



Осадок гидроксида железа(III) отделяем и прокаливаем. Восстанавливаем полученный оксид железа(III) углем (или алюминием, смесью CO и H<sub>2</sub>):

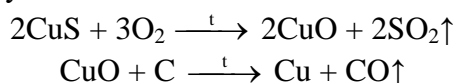


Железо выделено.

3) В раствор, содержащий аммиачный комплекс меди(II), пропускаем сероводород:



Подвергаем осадок сульфида меди(II) обжигу в токе кислорода и восстанавливаем получившийся оксид меди(II) углем:

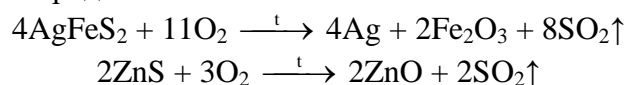


Медь получена.

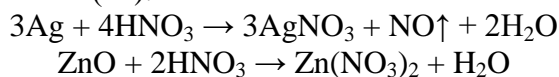
**7.** Минерал ленаит  $\text{AgFeS}_2$  с примесью вюрцита  $\text{ZnS}$  подвергли обжигу в токе кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после обжига смеси и получения из нее индивидуальных соединений серебра, цинка и железа. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

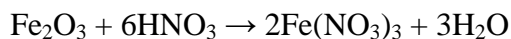
*Решение.* Ниже приведен один из возможных вариантов решения.

1) Обжиг в токе кислорода:

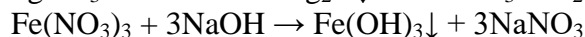


После обработки твердого остатка 30%-ной азотной кислотой получаем в растворе нитраты серебра, цинка и железа(III):

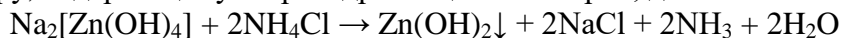




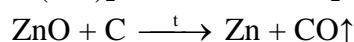
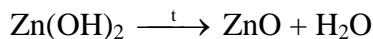
Добавляем избыток раствора гидроксида натрия:



К раствору, содержащему тетрагидроксоцинкат натрия, добавляем хлорид аммония:

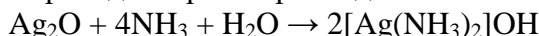


Отделяет и прокаливает осадок гидроксида цинка. Восстанавливаем получившийся оксид цинка углем:

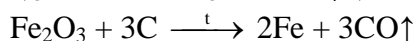
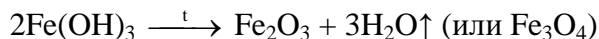


Цинк выделен.

2) Добавляем к осадку, содержащему оксид серебра(I) и гидроксид железа(III), раствор аммиака. При этом серебро переходит в раствор в виде аммиачного комплекса:

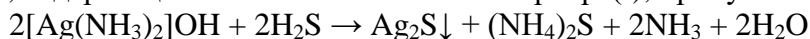


Осадок гидроксида железа(III) отделяем и прокаливает. Восстанавливаем полученный оксид железа(III) углем (или алюминием, смесью CO и H<sub>2</sub>):

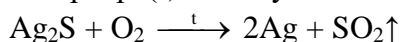


Железо выделено.

3) В раствор, содержащий аммиачный комплекс серебра(I), пропускаем сероводород:



Подвергаем осадок сульфида серебра(I) обжигу в токе кислорода:

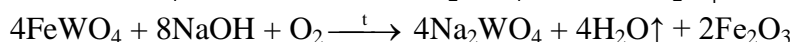
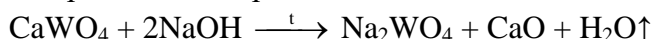


Серебро выделено.

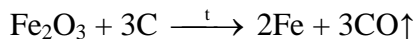
**8.** Минерал шеелит CaWO<sub>4</sub> с примесью ферберита FeWO<sub>4</sub> подвергли сплавлению с гидроксидом натрия в присутствии кислорода. Предложите путь разделения образовавшейся после сплавления смеси и получения из нее индивидуальных соединений кальция, железа и вольфрама. Предложите способы получения указанных металлов из этих индивидуальных соединений. Напишите уравнения всех предложенных Вами реакций.

*Решение.* Ниже приведен один из возможных вариантов решения.

1) Прокаливание с гидроксидом натрия:

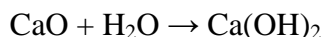


При последующем добавлении к твердому остатку избытка воды в осадке остается только оксид железа(III). Отделяем его и восстанавливаем углем (или алюминием, смесью CO и H<sub>2</sub>):

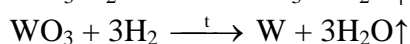
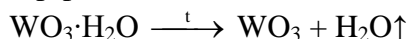
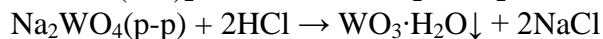
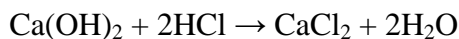


Железо выделено.

2) В растворе находятся вольфрамат натрия и гидроксид кальция, образовавшийся по реакции:

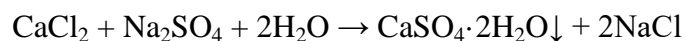


Добавляем к раствору соляную кислоту для выделения из него осадка вольфрамовой кислоты, прокаливает этот осадок и восстанавливаем получившийся оксид вольфрама(VI) водородом:

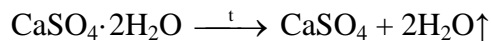


Вольфрам выделен.

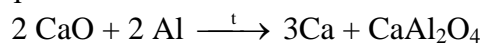
3) Добавляем к солянокислому раствору, содержащему хлорид кальция, сульфат натрия:



Выпавший осадок дигидрата сульфата кальция («гипс») сначала нагреваем до полного обезвоживания и получения  $\text{CaSO}_4$  («ангидрит»), а затем подвергаем очень сильному обжигу ( $>1200^\circ\text{C}$ ):



Восстановить кальций из образовавшегося оксида можно алюмотермией:

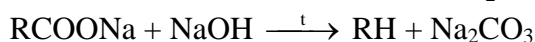
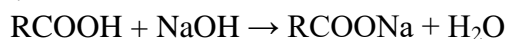


Кальций выделен.

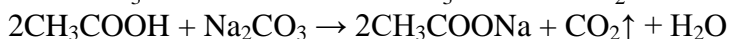
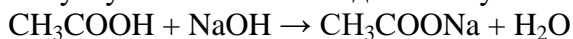
### Задание 8 (26 баллов)

1. К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора NaOH. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 4.89 л газа **A** (25°C, 1 атм), 25.2 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка уксусной кислоты выделилось 12.23 л газа **C** (25°C, 1 атм). Плотность смеси газов **A** и **C** по метану составила 3.0. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения 1,4-диаминобутана из вещества **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната натрия и избытка щелочи. При добавлении к этой смеси уксусной кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 12.23}{8.314 \cdot 298} = 0.5 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества **A**:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 4.89}{8.314 \cdot 298} = 0.2 \text{ моль.}$$

Плотность смеси по метану  $D_{\text{CH}_4} = 3$ . Отсюда  $M_{\text{cp}} = 3 \cdot 16 = 48$  г/моль.

$$M_{\text{cp}} = (vM_{\text{A}} + vM_{\text{C}}) / (v_{\text{A}} + v_{\text{C}}),$$

$$48 = (0.2M_{\text{A}} + 0.5 \cdot 44) / 0.7.$$

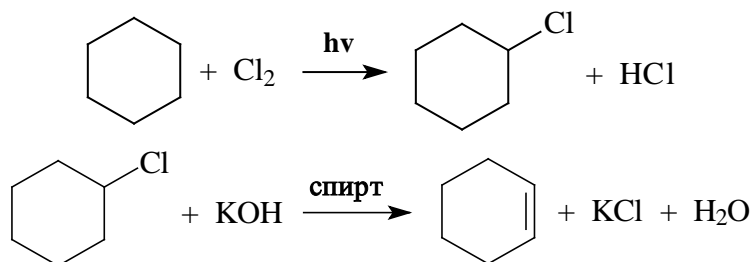
Отсюда  $M_{\text{A}} = 58$  г/моль – это  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ . Значит, формула соответствующей кислоты  $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ . Поскольку общее количество углекислого газа 0.5 моль, а количество  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  0.2 моль, то количество вещества **B** – 0.3 моль. Отсюда  $M_{\text{B}} = m / v = 25.2 / 0.3 = 84$  г/моль – это  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ . Тогда формула кислоты  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$ .

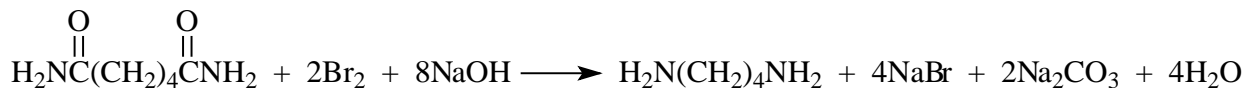
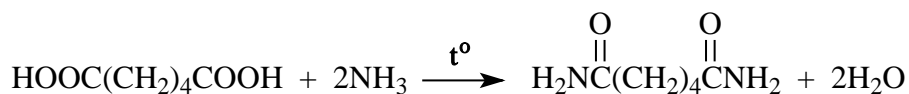
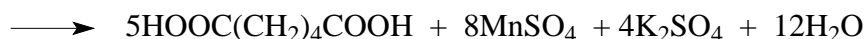
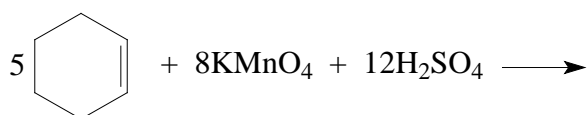
По условию задачи, одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$  – это циклогексанкарбоновая кислота,  $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$  – это 2,2-диметилпропановая (триметилуксусная) кислота  $(\text{CH}_3)_3\text{CCOOH}$ .

$$m(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}) = 0.3 \cdot 128 = 38.4 \text{ г.}$$

$$m(\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}) = 0.2 \cdot 102 = 20.4 \text{ г.}$$

Синтез 2,4-диаминобутана:

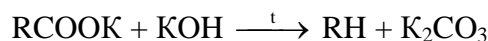
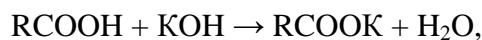




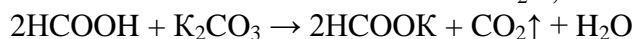
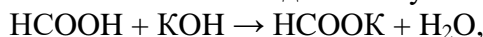
*Ответ:* 38.4 г циклогексанкарбоновой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$  и 20.4 г триметилуксусной  $\text{C}_4\text{H}_9\text{COOH}$ .

2. К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит третичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора KOH. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 9.79 л газа **A** (25°C, 1 атм), 16.8 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка муравьиной кислоты выделилось 14.68 л газа **C** (25°C, 1 атм). При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения циклопентанола из вещества **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната калия и щелочи. При добавлении к этой смеси муравьиной кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 14.68}{8.314 \cdot 298} = 0.6 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества **A**:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 9.79}{8.314 \cdot 298} = 0.4 \text{ моль.}$$

При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Следовательно молярные массы газов **A** и **C** равны. Газ **C** – это  $\text{CO}_2$ , тогда газ **A** – это углеводород с молярной массой 44 г/моль,  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Формула соответствующей кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.6 моль, а количество  $\text{C}_3\text{H}_8$  0.4 моль, то количество вещества **B** составляет  $0.6 - 0.4 = 0.2$  моль. Отсюда

$$M_{\text{B}} = m / v = 16.8 / 0.2 = 84 \text{ г/моль.}$$

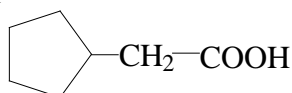
Это  $\text{C}_6\text{H}_{12}$ , тогда формула кислоты  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$ .

По условию задачи одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит третичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$  – это циклогексанкарбоновая кислота, а  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  – это бутановая (масляная) кислота  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ .

$$m(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}) = 0.2 \cdot 128 = 25.6 \text{ г,}$$

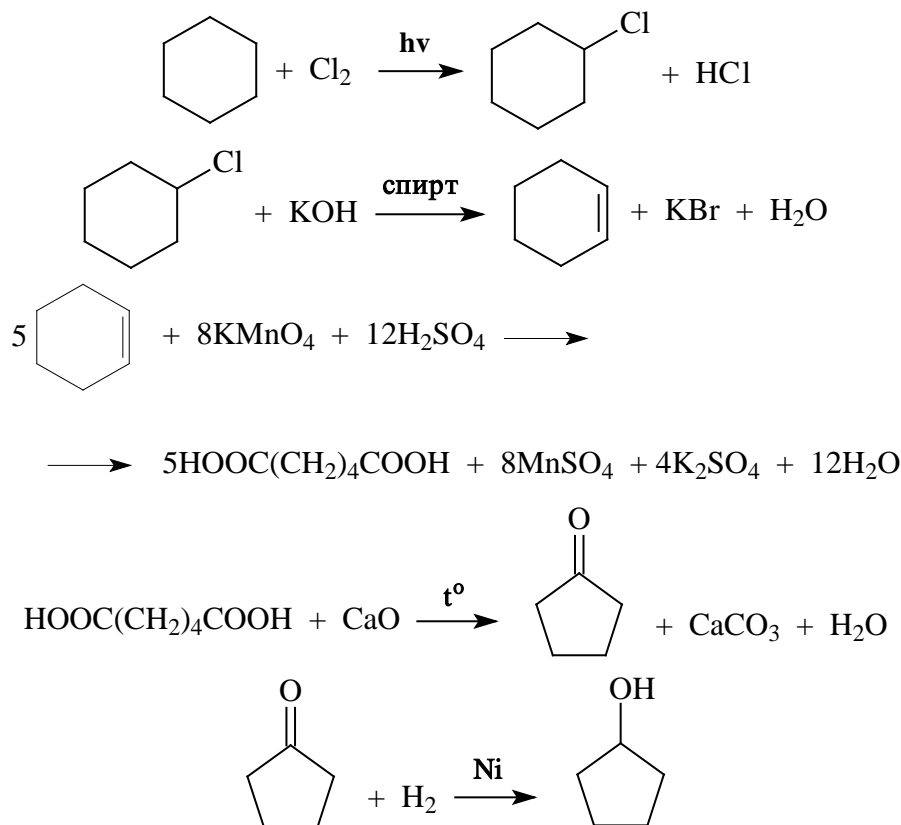
$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 0.4 \cdot 88 = 35.2 \text{ г.}$$

*Альтернативный вариант:* кислота, не содержащая первичных атомов углерода – циклопентилуксусная кислота  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$ :



Это решение принималось как верное.

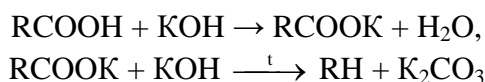
Синтез циклопентанола:



*Ответ:* 25.6 г циклогексанкарбоновой кислоты  $\text{C}_6\text{H}_{11}\text{COOH}$  и 35.2 г бутановой  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

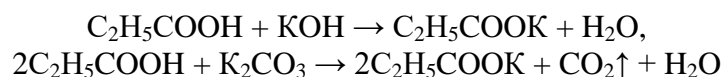
**3.** К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит третичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора KOH. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 7.34 л газа **A** (25°C, 1 атм), 18.4 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка пропионовой кислоты выделилось 12.23 л газа **C** (25°C, 1 атм). При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения фенилглицина (амино(фенил)уксусной кислоты) из вещества **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната калия и щелочи. При добавлении к этой смеси пропионовой кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).





Количество газа С:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 12.23}{8.314 \cdot 298} = 0.5 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества А:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 7.34}{8.314 \cdot 298} = 0.3 \text{ моль.}$$

При смешении газов А и С образовалась смесь с плотностью, равной плотности А. Следовательно молярные массы газов А и С равны. Газ С – это  $\text{CO}_2$ , тогда газ А – это углеводород с молярной массой 44 г/моль,  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Формула соответствующей кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.5 моль, а количество  $\text{C}_3\text{H}_8$  0.3 моль, то количество вещества В – 0.2 моль. Отсюда

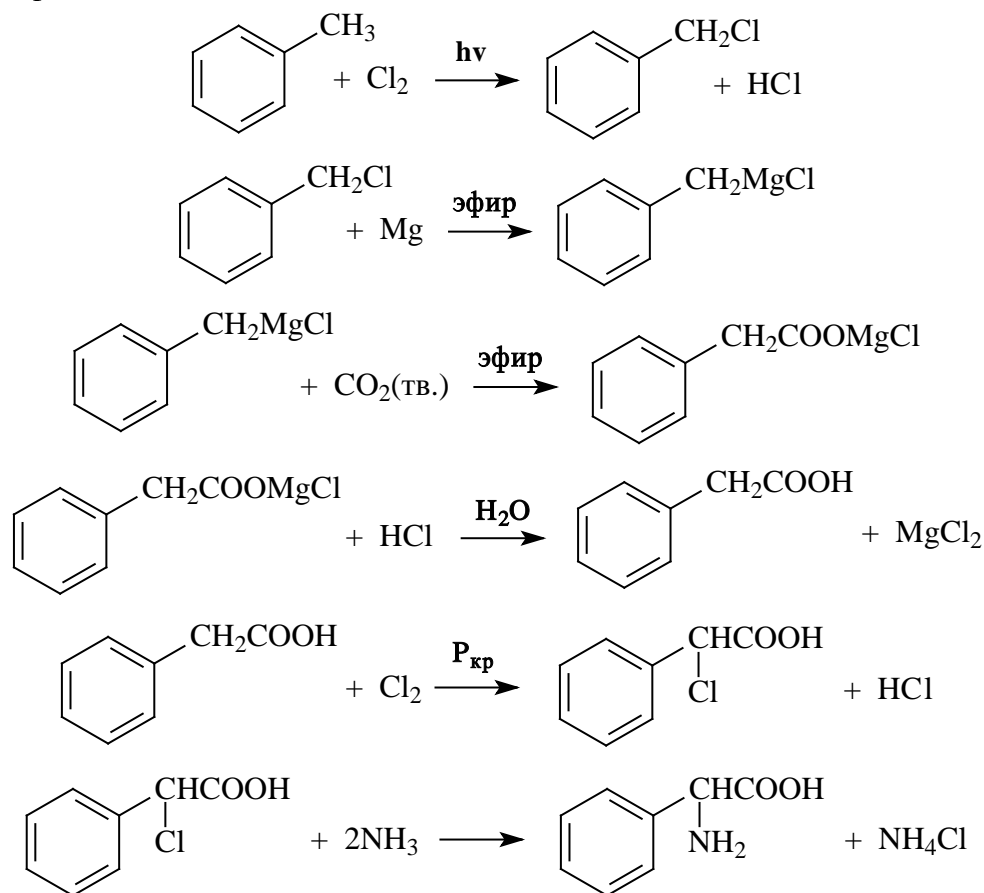
$$M_{\text{B}} = m / v = 18.4 / 0.2 = 92 \text{ г/моль.}$$

Это толуол  $\text{C}_7\text{H}_8$ . Тогда формула кислоты  $\text{C}_7\text{H}_7\text{COOH}$ . По условию задачи одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит третичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_7\text{H}_7\text{COOH}$  – это фенилуксусная кислота  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ , а  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  – это бутановая (масляная) кислота  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{COOH}$ . Массы кислот:

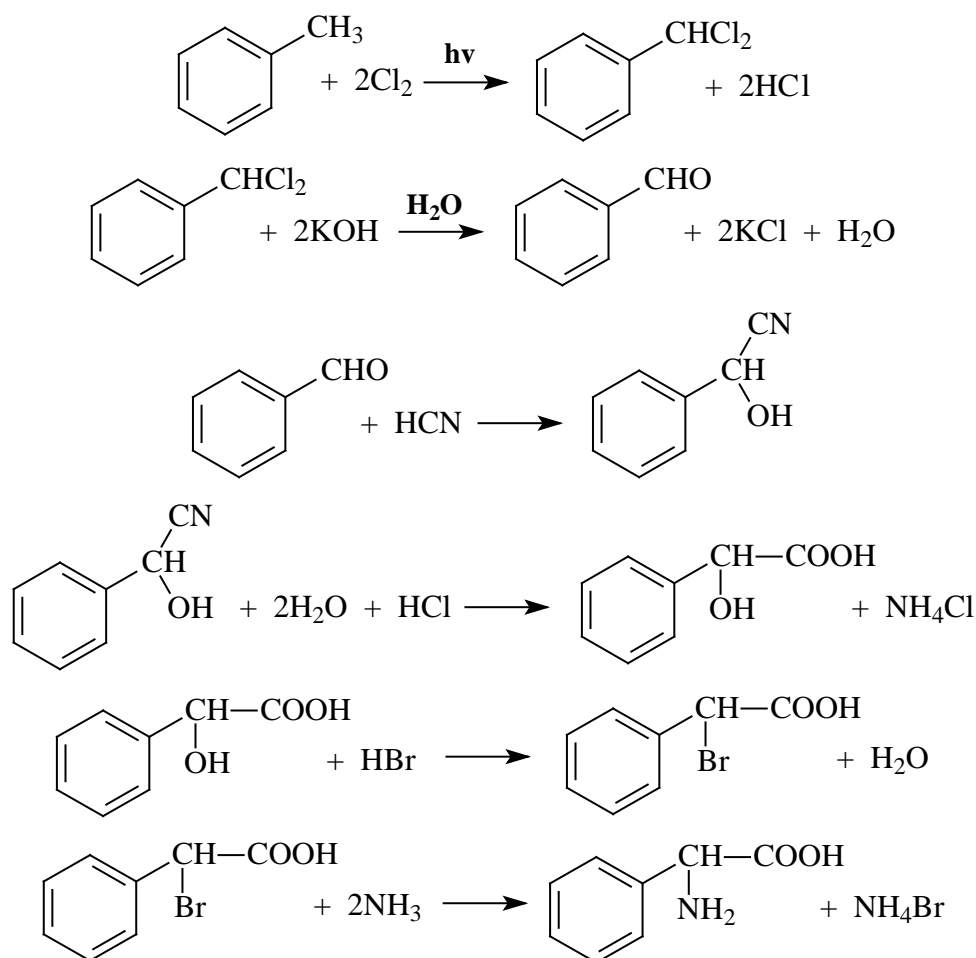
$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}) = 0.2 \cdot 136 = 27.2 \text{ г.}$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 0.3 \cdot 88 = 26.4 \text{ г.}$$

Синтез фенилглицина:



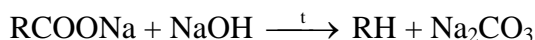
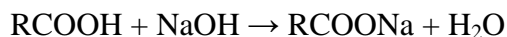
Альтернативный вариант решения:



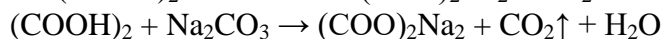
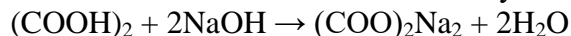
Ответ: 27.2 г фенилуксусной кислоты  $\text{C}_7\text{H}_7\text{COOH}$  и 26.4 г бутановой  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

4. К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора  $\text{NaOH}$ . Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 4.89 л газа **A** ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм), 27.6 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка щавелевой кислоты выделилось 12.23 л газа **C** ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм). При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения *m*-нитроминдальной (гидрокси(3-нитро-фенил)уксусной) кислоты из веществ **A** и **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната натрия и избытка щелочи. При добавлении к этой смеси щавелевой кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 12.23}{8.314 \cdot 298} = 0.5 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества А:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 4.89}{8.314 \cdot 298} = 0.2 \text{ моль.}$$

При смешении газов А и С образовалась смесь с плотностью, равной плотности А. Следовательно молярные массы газов А и С равны. Газ С – это  $\text{CO}_2$ , тогда газ А – это углеводород с молярной массой 44 г/моль, пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Формула соответствующей кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.5 моль, а количество  $\text{C}_3\text{H}_8$  0.2 моль, то количество вещества В – 0.3 моль. Отсюда

$$M_{\text{B}} = m / v = 27.6 / 0.3 = 92 \text{ г/моль.}$$

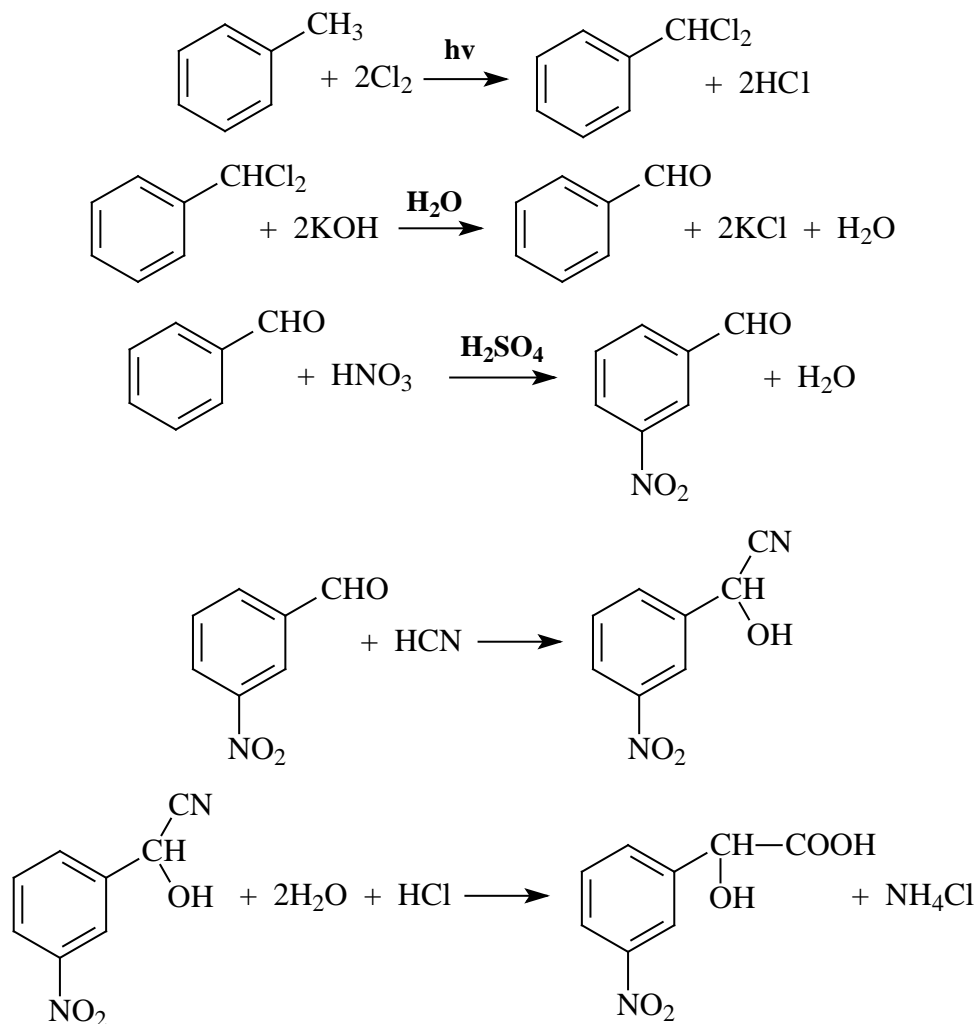
Это толуол  $\text{C}_7\text{H}_8$ . Тогда формула кислоты  $\text{C}_7\text{H}_7\text{COOH}$ .

По условию задачи одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_7\text{H}_7\text{COOH}$  – это фенилуксусная кислота  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ ,  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  – это метилпропановая (изомасляная) кислота  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$ .

$$m(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}) = 0.3 \cdot 136 = 40.8 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 0.2 \cdot 88 = 17.6 \text{ г.}$$

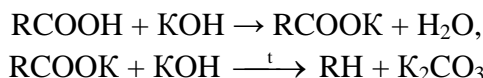
Синтез *m*-нитроминдальной кислоты:



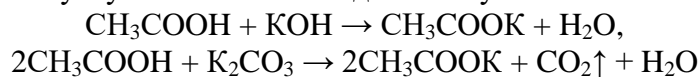
Ответ: 40.8 г фенилуксусной кислоты  $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{COOH}$ , 17.6 г метилпропановой кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

5. К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора КОН. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 8.56 л газа **A** (25°C, 1 атм), 17.5 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка уксусной кислоты выделилось 14.68 л газа **C** (25°C, 1 атм). При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения глутаминовой кислоты из вещества **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната калия и щелочи. При добавлении к этой смеси уксусной кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$\nu(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 14.68}{8.314 \cdot 298} = 0.6 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества **A**:

$$\nu(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 8.56}{8.314 \cdot 298} = 0.35 \text{ моль.}$$

При смешении газов **A** и **C** образовалась смесь с плотностью, равной плотности **A**. Следовательно, молярные массы газов **A** и **C** равны. Газ **C** – это  $\text{CO}_2$ , тогда газ **A** – это углеводород с молярной массой 44 г/моль, пропан  $\text{C}_3\text{H}_8$ . Формула соответствующей кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.6 моль, а количество  $\text{C}_3\text{H}_8$  – 0.35 моль, то количество вещества **B** – 0.25 моль. Отсюда

$$M_{\text{B}} = m / \nu = 17.5 / 0.25 = 70 \text{ г/моль.}$$

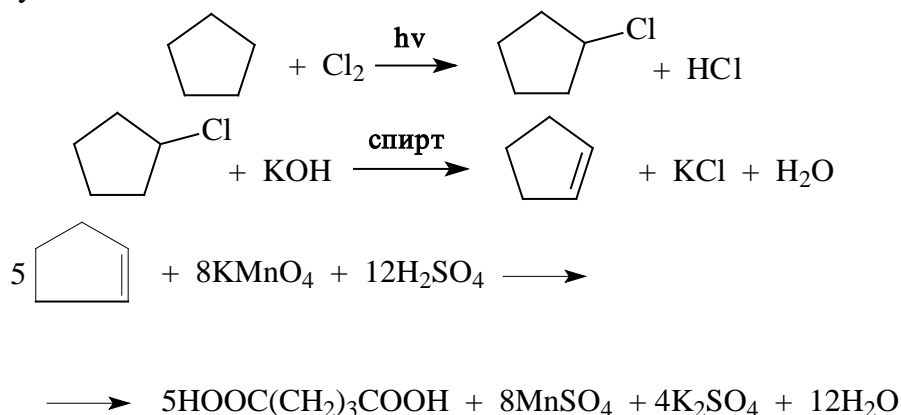
Это  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ . Тогда формула кислоты –  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$ .

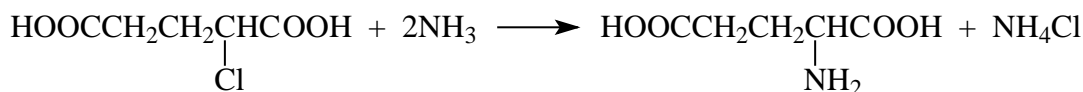
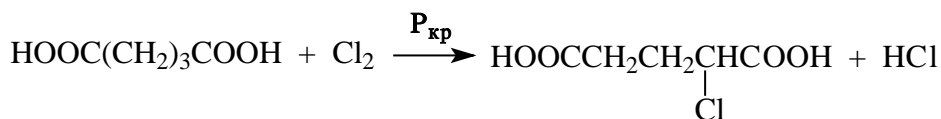
По условию задачи одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит третичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$  – это циклопентанкарбоновая кислота, а  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$  – это метилпропановая (изомасляная) кислота  $(\text{CH}_3)_2\text{CHCOOH}$ . Массы кислот:

$$m(\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}) = 0.25 \cdot 114 = 28.5 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}) = 0.35 \cdot 88 = 30.8 \text{ г.}$$

Синтез глутаминовой кислоты:

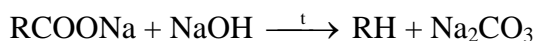
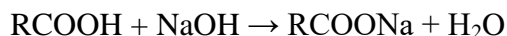




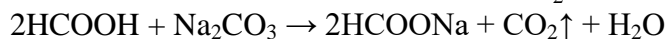
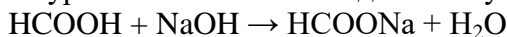
*Ответ:* 28.5 г циклопентановой кислоты  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$ , 30.8 г метилпропановой кислоты  $\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$ .

6. К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора NaOH. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 979 мл газа **A** (25°C, 1 атм), 4.2 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка муравьиной кислоты выделилось 2.445 л газа **C** (25°C, 1 атм). Плотность смеси газов **A** и **C** равна плотности аргона. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения -оксиглutarовой (2-гидроксипентандиовой) кислоты из вещества **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната натрия и избытка щелочи. При добавлении к этой смеси муравьиной кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 2.445}{8.314 \cdot 298} = 0.1 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества **A**:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.979}{8.314 \cdot 298} = 0.04 \text{ моль.}$$

Поскольку  $M_{\text{Ar}} = 40$  г/моль, значит,  $M_{\text{cp}} = 40$  г/моль.

$$M_{\text{cp}} = (v \cdot M_{\text{A}} + v \cdot M_{\text{C}}) / (v_{\text{A}} + v_{\text{C}}),$$

$$40 = (0.04M_{\text{A}} + 0.1 \cdot 44) / 0.14.$$

Отсюда  $M_{\text{A}} = 30$  г/моль. Это этан  $\text{C}_2\text{H}_6$ , тогда формула кислоты –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.1 моль, а количество  $\text{C}_2\text{H}_6$  – 0.04 моль, то количество вещества **B** – 0.06 моль. Отсюда

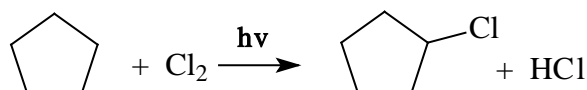
$$M_{\text{B}} = m / v = 4.2 / 0.06 = 70 \text{ г/моль.}$$

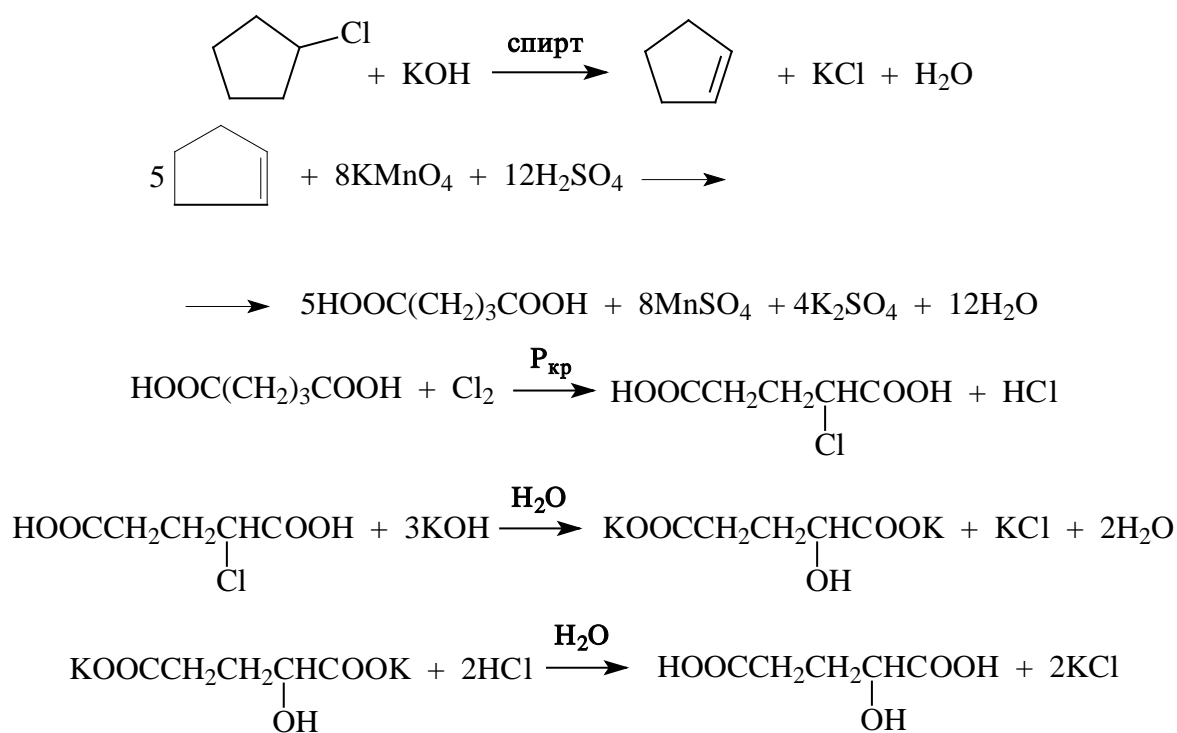
Это  $\text{C}_5\text{H}_{10}$ , тогда формула кислоты  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$ . По условию задачи, одна из кислот не содержит первичных атомов углерода. Тогда  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$  – это циклопентанкарбоновая кислота, а  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$  – это пропионовая кислота. Массы кислот:

$$m(\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}) = 0.06 \cdot 114 = 6.84 \text{ г,}$$

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}) = 0.04 \cdot 74 = 2.96 \text{ г.}$$

Синтез 2-гидроксипентандиовой кислоты:

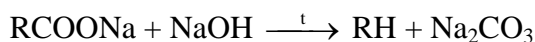
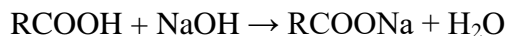




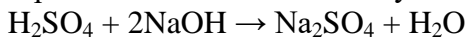
*Ответ:* 6.84 г циклопентанкарбоновой кислоты  $\text{C}_5\text{H}_9\text{COOH}$ , 2.96 г пропионовой кислоты  $\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH}$ .

**7.** К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора  $\text{NaOH}$ . Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 489 мл газа **A** ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм), 2.34 г жидкости **B** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка серной кислоты выделилось 1.223 л газа **C** ( $25^\circ\text{C}$ , 1 атм). Плотность смеси газов **A** и **C** по неону составила 2.0. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения пропиофенона (фенилэтилкетона) из веществ **A** и **B** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **A** – это газообразный углеводород, вещество **B** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната натрия и избытка щелочи. При добавлении к этой смеси серной кислоты выделяется углекислый газ (газ **C**).



Количество газа **C**:

$$v(\text{C}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 1.223}{8.314 \cdot 298} = 0.05 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества **A**:

$$v(\text{A}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.489}{8.314 \cdot 298} = 0.02 \text{ моль.}$$

Плотность смеси по неону  $D_{\text{Ne}} = 2$ , отсюда  $M_{\text{ср}} = 2 \cdot 20 = 40$  г/моль.

$$M_{\text{ср}} = (vM_{\text{A}} + vM_{\text{C}}) / (v_{\text{A}} + v_{\text{C}}),$$

$$40 = (0.02M_{\text{A}} + 0.05 \cdot 44) / 0.07.$$

Отсюда  $M_A = 30$  г/моль, это этан  $C_2H_6$ . Тогда формула кислоты –  $C_2H_5COOH$ .

Поскольку общее количество углекислого газа – 0.05 моль, а количество  $C_2H_6$  составляет 0.02 моль, то количество вещества **В** – 0.03 моль. Отсюда

$$M_B = m / \nu = 2.34 / 0.03 = 78 \text{ г/моль.}$$

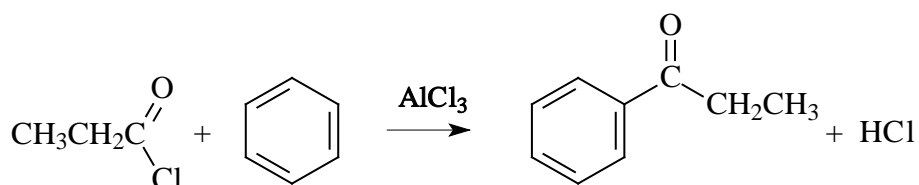
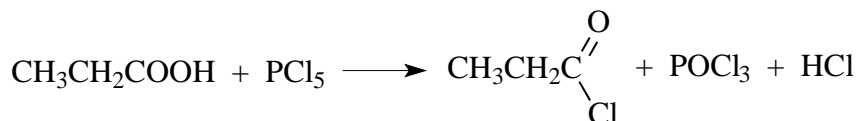
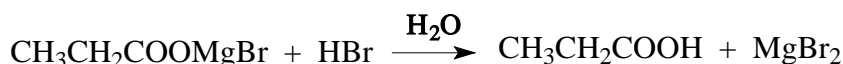
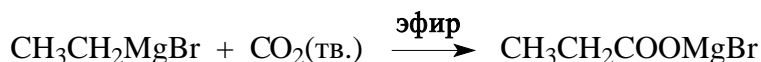
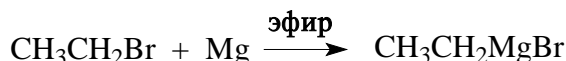
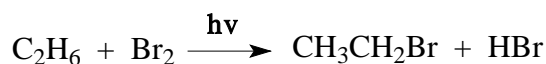
Это бензол  $C_6H_6$ . Тогда формула кислоты  $C_6H_5COOH$ .

По условию задачи одна из кислот не содержит первичных атомов углерода. Тогда  $C_6H_5COOH$  – это бензойная кислота, а  $C_2H_5COOH$  – это пропионовая кислота. Массы кислот:

$$m(C_6H_5COOH) = 0.03 \cdot 122 = 3.66 \text{ г,}$$

$$m(C_2H_5COOH) = 0.02 \cdot 74 = 1.48 \text{ г.}$$

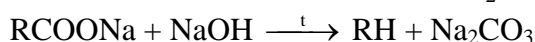
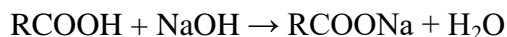
Синтез фенилэтилкетона:



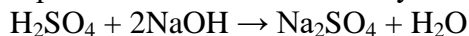
*Ответ:* 3.66 г бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$ , 1.48 г пропионовой кислоты  $C_2H_5COOH$ .

**8.** К смеси двух одноосновных карбоновых кислот, одна из которых не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода, добавили избыток концентрированного раствора NaOH. Раствор упарили, осадок прокалили со щелочью и получили 489 мл газа **А** (25°C, 1 атм), 7.8 г жидкости **В** и твердый остаток, при добавлении к которому избытка серной кислоты выделилось 2.936 л газа **С** (25°C, 1 атм). Плотность смеси газов **А** и **С** по неону составила 2.3. Установите строение и массы кислот. Предложите способ получения 5-бромсалициловой (5-бром-2-гидроксibenзойной) кислоты из вещества **В** с использованием только неорганических реагентов. Напишите уравнения протекающих реакций.

*Решение.* При добавлении к смеси одноосновных карбоновых кислот избытка щелочи образуются соли, которые при прокаливании со щелочью декарбоксилируются с образованием углеводородов:



Можно предположить, что вещество **А** – это газообразный углеводород, вещество **В** – это жидкий углеводород, а твердый остаток – это смесь карбоната натрия и избытка щелочи. При добавлении к этой смеси серной кислоты выделяется углекислый газ (газ **С**).



Количество газа **С**:

$$\nu(C) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 2.936}{8.314 \cdot 298} = 0.12 \text{ моль.}$$

Рассчитаем количество вещества А:

$$v(A) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.489}{8.314 \cdot 298} = 0.02 \text{ моль.}$$

Плотность смеси по неону  $D_{\text{Ne}} = 2.3$ , отсюда  $M_{\text{cp}} = 2.3 \cdot 20 = 46$  г/моль.

$$M_{\text{cp}} = (vM_A + vM_C) / (v_A + v_C),$$

$$46 = (0.02M_A + 0.12 \cdot 44) / 0.14.$$

Отсюда  $M_A = 58$  г/моль, это  $C_4H_{10}$ . Тогда формула кислоты –  $C_4H_9COOH$ .

Поскольку общее количество углекислого газа 0.12 моль, а количество  $C_4H_{10}$  0.02 моль, то количество вещества В – 0.1 моль. Отсюда

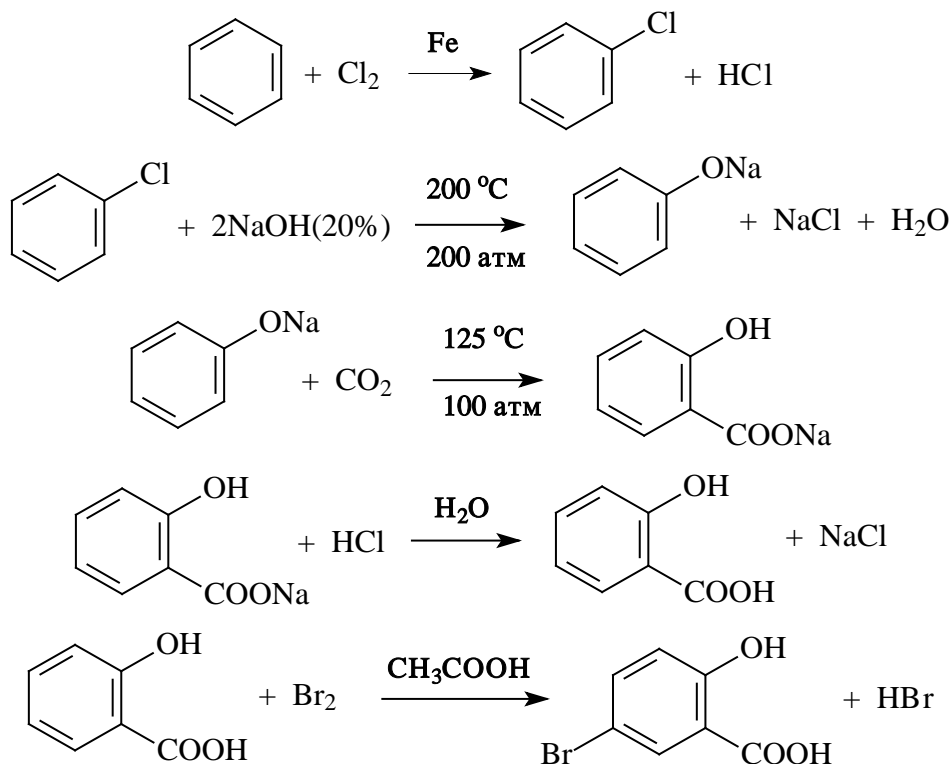
$$M_B = m / v = 7.8 / 0.1 = 78 \text{ г/моль.}$$

Это  $C_6H_6$ , тогда формула кислоты  $C_6H_5COOH$ . По условию задачи, одна из кислот не содержит первичных, а вторая не содержит вторичных атомов углерода. Тогда  $C_6H_5COOH$  – это бензойная кислота, а  $C_4H_9COOH$  – это 2,2-диметилпропановая (триметилуксусная) кислота  $(CH_3)_3CCOOH$ . Массы кислот:

$$m(C_6H_5COOH) = 0.1 \cdot 122 = 12.2 \text{ г,}$$

$$m(C_4H_9COOH) = 0.02 \cdot 102 = 2.04 \text{ г.}$$

Синтез 5-бромсалициловой кислоты:



Ответ: 12.2 г бензойной кислоты  $C_6H_5COOH$ , 2.04 г 2,2-диметилпропановой кислоты  $C_4H_9COOH$ .