

**ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ
ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» ПО ХИМИИ
2018/2019 учебный год**

Отборочный этап НОЯБРЬ 10-11 классы

Задание 1

1.1. Приведите электронную конфигурацию иона X^- , в котором общее число протонов, нейтронов и электронов равно 55, при этом число нейтронов на 2 больше числа электронов. (4 балла)

Решение. Составим уравнения:

$$\begin{aligned} N_p + N_n + N_e &= 55, \\ N_n &= N_e + 2. \end{aligned}$$

Кроме того, для иона $N_e = N_p + 1$. Выразим N_n и N_p через число электронов и подставим в первое уравнение. Получим $N_e = 18$, тогда $N_p = 17$, значит, элемент X – это хлор (изотоп ^{37}Cl). Электронная конфигурация иона Cl^- : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Ответ: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

1.2. Приведите электронную конфигурацию иона X^{2-} , в котором общее число протонов, нейтронов и электронов равно 50, при этом число нейтронов на 2 меньше числа электронов. (4 балла)

Решение. Составим уравнения:

$$\begin{aligned} N_p + N_n + N_e &= 50, \\ N_n &= N_e - 2. \end{aligned}$$

Кроме того, для иона $N_e = N_p + 2$. Выразим N_n и N_p через число электронов и подставим в первое уравнение. Получим $N_e = 18$, тогда $N_p = 16$, значит, элемент X – это сера (изотоп ^{32}S). Электронная конфигурация иона S^{2-} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Ответ: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

1.3. Приведите электронную конфигурацию иона X^+ , в котором общее число протонов, нейтронов и электронов равно 59, при этом число нейтронов на 4 больше числа электронов. (4 балла)

Решение. Составим уравнения:

$$\begin{aligned} N_p + N_n + N_e &= 59, \\ N_n &= N_e + 4. \end{aligned}$$

Кроме того, для иона $N_e = N_p - 1$. Выразим N_n и N_p через число электронов и подставим в первое уравнение. Получим $N_e = 18$, тогда $N_p = 19$, значит, элемент X – это калий (изотоп ^{41}K). Электронная конфигурация иона K^+ : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Ответ: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

1.4. Приведите электронную конфигурацию иона X^{2+} , в котором общее число протонов, нейтронов и электронов равно 62, при этом число нейтронов на 6 больше числа электронов. (4 балла)

Решение. Составим уравнения:

$$\begin{aligned} N_p + N_n + N_e &= 62, \\ N_n &= N_e + 6. \end{aligned}$$

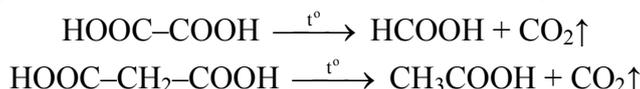
Кроме того, для иона $N_e = N_p - 2$. Выразим N_n и N_p через число электронов и подставим в первое уравнение. Получим $N_e = 18$, тогда $N_p = 20$, значит, элемент X – это кальций (изотоп ^{44}Ca). Электронная конфигурация иона Ca^{2+} : $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Ответ: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

Задание 2

2.1. Нагревание смеси двух карбоновых кислот, являющихся ближайшими гомологами, привело к выделению углекислого газа и образованию смеси двух новых карбоновых кислот, также являющихся ближайшими гомологами. Установите формулы исходных кислот и напишите уравнения протекающих реакций. (6 баллов)

Решение. Первые члены ряда дикарбоновых кислот – щавелевая и малоновая – легко подвергаются декарбоксилированию при нагревании до 130-150°C, при этом из щавелевой кислоты образуется муравьиная кислота, а из малоновой – уксусная:

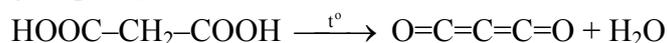


2.2. При нагревании с фосфорным ангидридом смеси двух карбоновых кислот, являющихся ближайшими гомологами, в результате дегидратации образовалась смесь трех соединений углерода с кислородом. Установите формулы исходных кислот и напишите уравнения протекающих реакций. (6 баллов)

Решение. Фосфорный ангидрид является дегидратирующим агентом. При нагревании щавелевой кислоты с фосфорным ангидридом образуется смесь двух оксидов углерода:

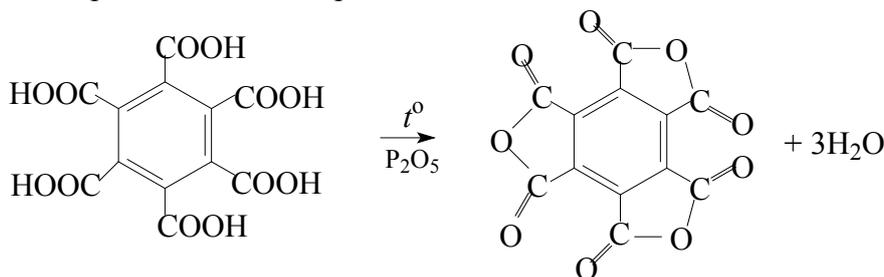


Ближайший гомолог щавелевой кислоты – малоновая кислота. При нагревании этой кислоты с P_2O_5 происходит дегидратация и образуется соединение C_3O_2 – диоксид триуглерода (недокись углерода):



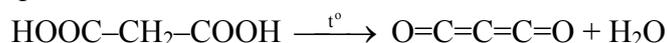
2.3. При нагревании с фосфорным ангидридом смеси двух карбоновых кислот в результате дегидратации образовалась смесь двух соединений углерода с кислородом, в которых соотношение атомов элементов равно 4:3 и 3:2. Установите формулы исходных кислот и напишите уравнения протекающих реакций. (6 баллов)

Решение. Меллитовая кислота $\text{C}_6(\text{COOH})_6$ при нагревании с фосфорным ангидридом дегидратируется с образованием ангидрида меллитовой кислоты C_{12}O_9 :



Соотношение атомов С и О в ангидриде – 4:3.

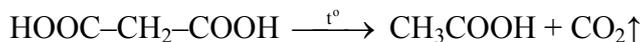
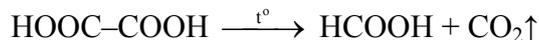
Малоновая кислота при нагревании с P_2O_5 отщепляет воду и образуется соединение C_3O_2 – диоксид триуглерода:



Соотношение атомов С и О соответствует условию (3:2).

2.4. Нагревание двухосновной карбоновой кислоты привело к выделению газа, при пропускании которого в воду образуется двухосновная кислота. Установите строение исходной кислоты и напишите уравнение протекающей реакции. Предложите два варианта решения. (6 баллов)

Решение. Первые члены гомологического ряда дикарбоновых кислот – щавелевая и малоновая – при нагревании до 130-150°C легко подвергаются декарбонизации, при этом выделяется углекислый газ:



При растворении углекислого газа в воде образуется двухосновная угольная кислота:



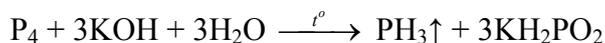
Задание 3

3.1. Нерастворимое в воде вещество **X** белого цвета вступает в реакцию с горячей концентрированной азотной кислотой, при этом наблюдается выделение газа **A**. При взаимодействии вещества **X** с горячей концентрированной щелочью выделяется газ **B**. Относительная плотность газа **A** по газу **B** составляет 1.353. Предложите формулу вещества **X**. Напишите уравнения реакций. (10 баллов)

Решение. Горячая концентрированная азотная кислота – сильный окислитель. Окисляя вещество **X**, она восстанавливается до оксида азота(IV). Газ **A** – NO₂, его плотность

$$D_{\text{B}}(\text{NO}_2) = 46 / M(\text{B}) = 1.353,$$

отсюда $M(\text{B}) = 46 / 1.353 = 34$ г/моль. Можно предположить, что газ **B** – фосфин (другой газ с такой же массой – сероводород – не подходит, т.к. никак не может образоваться при действии концентрированной HNO₃). Фосфин выделяется при нагревании фосфора с концентрированными щелочами. Тогда вещество **X** – белый фосфор P₄.



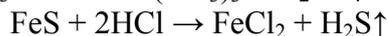
Ответ: **X** – P₄, **A** – NO₂, **B** – PH₃.

3.2. Малорастворимое в воде вещество **X**, в составе которого есть железо, вступает в реакцию с горячей концентрированной азотной кислотой, при этом наблюдается выделение газа **A**. При взаимодействии вещества **X** с соляной кислотой выделяется газ **B**. Относительная плотность газа **A** по газу **B** составляет 1.353. Предложите формулу вещества **X**. Напишите уравнения реакций. (10 баллов)

Решение. Горячая концентрированная азотная кислота – сильный окислитель. Окисляя вещество **X**, она восстанавливается до оксида азота(IV). Газ **A** – NO₂, его плотность

$$D_{\text{B}}(\text{NO}_2) = 46 / M(\text{B}) = 1.353,$$

отсюда $M(\text{B}) = 46 / 1.353 = 34$ г/моль. Можно предположить, что газ **B** – сероводород, который образуется при взаимодействии некоторых малорастворимых в воде сульфидов с соляной кислотой. Вещество **X** – FeS.

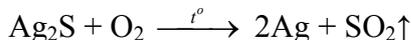


Ответ: **X** – FeS, **A** – NO₂, **B** – H₂S.

3.3. Малорастворимое в воде вещество **X**, в составе которого есть серебро, вступает в реакцию с горячей концентрированной азотной кислотой, при этом наблюдается выделение газа **A**. При сжигании вещества **X** в токе кислорода выделяется газ **B**. Относительная плотность газа **A** по газу **B** составляет 0.719. Предложите формулу вещества **X**. Напишите уравнения реакций. (10 баллов)

Решение. Горячая концентрированная азотная кислота – сильный окислитель. Окисляя вещество **X**, она восстанавливается до оксида азота(IV). Газ **A** – NO₂, его плотность $D_B(\text{NO}_2) = 46 / M(\text{B}) = 0.719$,

отсюда $M(\text{B}) = 46 / 0.719 = 64$ г/моль. Можно предположить, что газ **B** – оксид серы(IV). Он образуется при обжиге сульфидов в токе кислорода. Вещество **X** – Ag₂S.

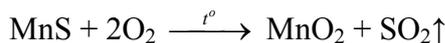


Ответ: **X** – Ag₂S, **A** – NO₂, **B** – SO₂.

3.4. Малорастворимое в воде вещество **X**, в составе которого есть марганец, вступает в реакцию с горячей концентрированной азотной кислотой, при этом наблюдается выделение газа **A**. При сжигании вещества **X** в токе кислорода выделяется газ **B**. Относительная плотность газа **A** по газу **B** составляет 0.719. Предложите формулу вещества **X**. Напишите уравнения реакций. (10 баллов)

Решение. Горячая концентрированная азотная кислота – сильный окислитель. Окисляя вещество **X**, она восстанавливается до оксида азота(IV). Газ **A** – NO₂, его плотность $D_B(\text{NO}_2) = 46 / M(\text{B}) = 0.719$,

отсюда $M(\text{B}) = 46 / 0.719 = 64$ г/моль. Можно предположить, что газ **B** – оксид серы(IV). Он образуется при обжиге сульфидов в токе кислорода. Вещество **X** – MnS.



Ответ: **X** – MnS, **A** – NO₂, **B** – SO₂.

Задание 4

4.1. Смесь трех газов, взятых в объемном соотношении 1:2:2, при 32°C и давлении 1.2 атм имеет плотность 2.110 г/л. После увеличения мольной доли первого газа в два раза и уменьшения мольной доли второго газа в полтора раза плотность смеси не изменилась. Предложите возможные формулы газов. (10 баллов)

Решение. Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что $M_{\text{см}} = \frac{\rho RT}{P}$, следовательно,

$$M_{\text{см}} = \frac{2.110 \cdot 0.082 \cdot 305}{1.2} = 44.01 \approx 44 \text{ г/моль}$$

Простейшим является решение, основанное на предположении, что три газа имеют одинаковую молярную массу, равную 44 г/моль. Тогда никакое изменение мольных долей газов не приведет к изменению молярной массы смеси, а значит, и ее плотности. Такими газами могут быть CO₂, N₂O, C₃H₆. Однако не исключено, что методом подбора могут быть найдены и другие решения.

Ответ: например, CO₂, N₂O, C₃H₆.

4.2. Смесь трех газов, взятых в объемном соотношении 2:1:2, при 28°C и давлении 0.98 атм имеет плотность 1.111 г/л. После увеличения мольной доли первого газа в полтора раза и уменьшения мольной доли второго газа в два раза плотность смеси не изменилась. Предложите возможные формулы газов. (10 баллов)

Решение. Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что $M_{\text{см}} = \frac{\rho RT}{P}$, следовательно,

$$M_{\text{см}} = \frac{1.111 \cdot 0.082 \cdot 301}{0.98} = 28.00 \text{ г/моль}$$

Простейшим является решение, основанное на предположении, что три газа имеют одинаковую молярную массу, равную 28 г/моль. Тогда никакое изменение мольных долей газов не приведет к изменению молярной массы смеси, а значит, и ее плотности. Такими газами могут быть CO, N₂, C₂H₄. Однако не исключено, что методом подбора могут быть найдены и другие решения.

Ответ: например, CO, N₂, C₂H₄.

4.3. Смесь трех газов, взятых в объемном соотношении 2:2:1, при 25°C и давлении 836 мм рт. ст. имеет плотность 1.350 г/л. После увеличения мольной доли первого газа в два раза и уменьшения мольной доли второго газа в 2.3 раза плотность смеси не изменилась. Предложите возможные формулы газов. (10 баллов)

Решение. Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что $M_{\text{см}} = \frac{\rho RT}{P}$, следовательно,

$$M_{\text{см}} = \frac{1.349 \cdot 0.082 \cdot 298}{\frac{835}{760}} = 30.02 \approx 30 \text{ г/моль}$$

Простейшим является решение, основанное на предположении, что три газа имеют одинаковую молярную массу, равную 30 г/моль. Тогда никакое изменение мольных долей газов не приведет к изменению молярной массы смеси, а значит, и ее плотности. Такими газами могут быть NO, CH₂O, C₂H₆. Однако не исключено, что методом подбора могут быть найдены и другие решения.

Ответ: например, NO, CH₂O, C₂H₆.

4.4. Смесь трех газов, взятых в объемном соотношении 2:1:2, при 27°C и давлении 684 мм рт. ст. имеет плотность 1.243 г/л. После уменьшения мольной доли первого газа в два раза и увеличения мольной доли второго газа в три раза плотность смеси не изменилась. Предложите возможные формулы газов. (10 баллов)

Решение. Из уравнения Менделеева-Клапейрона следует, что $M_{\text{см}} = \frac{\rho RT}{P}$, следовательно,

$$M_{\text{см}} = \frac{1.243 \cdot 0.082 \cdot 300}{\frac{684}{760}} = 34.00 \text{ г/моль}$$

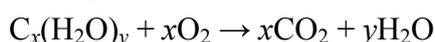
Простейшим является решение, основанное на предположении, что три газа имеют одинаковую молярную массу, равную 30 г/моль. Тогда никакое изменение мольных долей газов не приведет к изменению молярной массы смеси, а значит, и ее плотности. Такими газами могут быть PH₃, H₂S, CH₃F. Однако не исключено, что методом подбора могут быть найдены и другие решения.

Ответ: например, PH₃, H₂S, CH₃F.

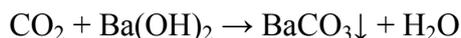
Задание 5

5.1. Углекислый газ, выделившийся при полном сжигании в токе кислорода образца некоторого моносахарида Y массой 1.8 г, был поглощен избытком баритовой воды с образованием 11.82 г белого осадка. При взаимодействии такого же образца Y со свежесажженным гидроксидом меди(II) при нагревании образуется 2.88 г красного осадка. Определите брутто-формулу Y. Приведите пример D- и L-изомеров Y в проекции Фишера. Сколько всего стереоизомеров имеет данный моносахарид? (10 баллов)

Решение. Запишем реакцию сгорания углеводов в общем виде:

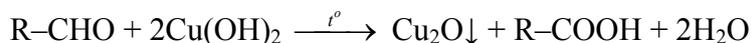


Углекислый газ поглощается избытком баритовой воды:



$$v(\text{CO}_2) = v(\text{BaCO}_3) = 11.87 / 197 = 0.06 \text{ моль.}$$

Поскольку **Y** вступает в реакцию с $\text{Cu}(\text{OH})_2$, значит, он относится к альдозам:



$$v(\text{Cu}_2\text{O}) = 2.88 / 144 = 0.02 \text{ моль}$$

$$v(\text{Y}) = v(\text{Cu}_2\text{O}) = 0.02 \text{ моль.}$$

Значит,

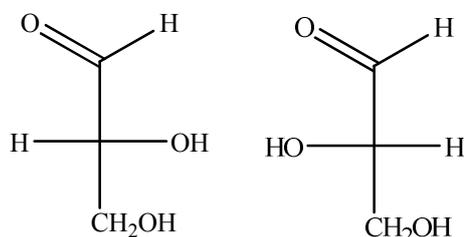
$$x = 0.06 / 0.02 = 3,$$

следовательно, моносахарид **Y** относится к трезам. Определим значение y :

$$M(\text{Y}) = 1.8 / 0.02 = 90 \text{ г/моль,}$$

$$y = (90 - 3 \cdot 12) / 18 = 3,$$

Y – это глицериновый альдегид $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$. Проекция Фишера:



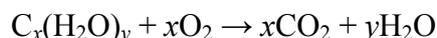
D-глицеральдегид *L*-глицеральдегид

Общее количество стереоизомеров соединения $N = 2^n$, где n – число асимметрических атомов углерода. Следовательно, для глицеринового альдегида $N = 2^1 = 2$.

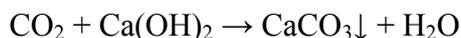
Ответ: глицеральдегид, 2.

5.2. Углекислый газ, выделившийся при полном сжигании в токе кислорода образца некоторого моносахарида **Y** массой 6 г, был поглощен избытком известковой воды с образованием 20 г белого осадка. При взаимодействии такого же образца **Y** с аммиачным раствором оксида серебра образуется 10.8 г серебра. Определите брутто-формулу **Y**. Приведите пример *D*- и *L*-изомеров любого представителя из класса **Y** в проекции Фишера. Сколько всего стереоизомеров имеет данный моносахарид? (**10 баллов**)

Решение. Запишем реакцию сгорания углеводов в общем виде:

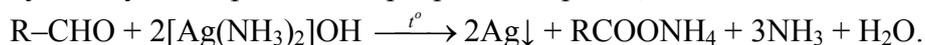


Углекислый газ поглощается раствором известковой воды:



$$v(\text{CO}_2) = v(\text{CaCO}_3) = 20 / 100 = 0.2 \text{ моль.}$$

Поскольку **Y** вступает в реакцию серебряного зеркала, он относится к альдозам:



$$v(\text{Ag}) = 10.8 / 108 = 0.1 \text{ моль.}$$

$$v(\text{Y}) = v(\text{Ag}) / 2 = 0.05 \text{ моль.}$$

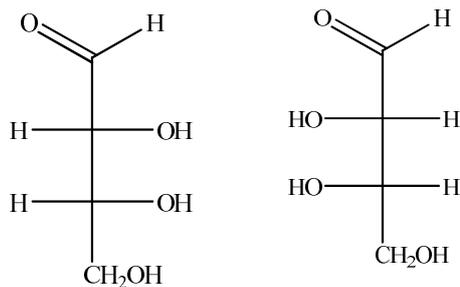
Значит, $M(\text{Y}) = 6 / 0.05 = 120 \text{ г/моль}$. Определим значение x :

$$x = 0.02 / 0.05 = 4.$$

Моносахарид **Y** относится к тетрозам. Для проверки определим значение y :

$$y = (120 - 4 \cdot 12) / 18 = 4,$$

Y – это $C_4H_8O_4$. Изобразим в качестве примера эритрозу:



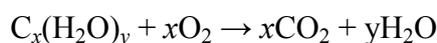
D – эритроза *L* – эритроза

Общее количество стереоизомеров $N = 2^n$, где n – число асимметрических атомов углерода в молекуле. Следовательно, для альдотетроз в открытой форме $N = 2^2 = 4$, в циклической – $N = 2^3 = 8$.

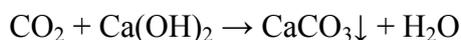
Ответ: альдотетроза, 4 или 8.

5.3. Углекислый газ, выделившийся при полном сжигании в токе кислорода образца некоторого моносахарида Y массой 3.75 г, был поглощен избытком известковой воды с образованием 12.5 г белого осадка. При взаимодействии такого же образца Y со свежесажженным гидроксидом меди(II) образуется 3.6 г красного осадка. Определите брутто-формулу Y. Приведите пример D- и L-изомеров любого представителя из класса Y в проекции Фишера. Сколько всего стереоизомеров имеет данный моносахарид? (10 баллов)

Решение. Запишем реакцию сгорания углеводов в общем виде:

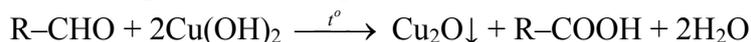


Углекислый газ поглощается раствором известковой воды:



$$v(CO_2) = v(CaCO_3) = 12.5 / 100 = 0.125 \text{ моль.}$$

Поскольку Y вступает в реакцию с гидроксидом меди, значит, он относится к альдозам.



$$v(Cu_2O) = 3.6 / 144 = 0.025 \text{ моль}$$

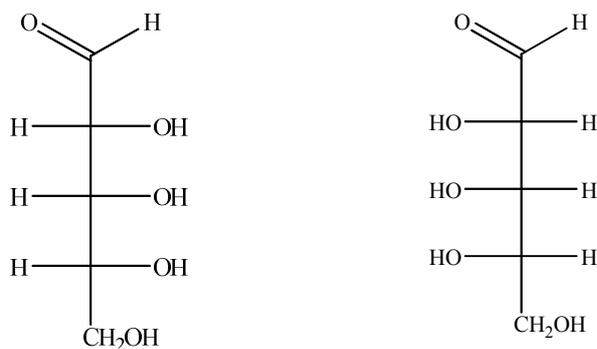
$$v(Y) = v(Cu_2O) = 0.025 \text{ моль}$$

$$x = 0.125 / 0.025 = 5,$$

следовательно, моносахарид Y относится к пентозам, $M(Y) = 3.75 / 0.025 = 150 \text{ г/моль}$. Для проверки определим y :

$$y = (150 - 5 \cdot 12) / 18 = 5.$$

Y – это $C_5H_{10}O_5$. Изобразим в качестве примера рибозу:

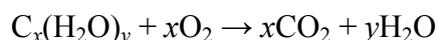
*D – рибоза**L – рибоза*

Общее количество стереоизомеров $N = 2^n$, где n – число асимметрических атомов углерода. Следовательно, для альдопентоз в открытой форме $N = 2^3 = 8$, в циклической – $N = 2^4 = 16$.

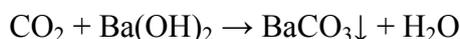
Ответ: альдопентоза, 8 или 16.

5.4. Углекислый газ, выделившийся при полном сжигании в токе кислорода образца некоторого моносахарида **Y** массой 2.7 г, был поглощен избытком баритовой воды с образованием 17.73 г белого осадка. При взаимодействии такого же образца **Y** с аммиачным раствором оксида серебра образуется 3.24 г серебра. Определите брутто-формулу моносахарида **Y**. Приведите пример D- и L-изомеров любого представителя из класса **Y** в проекции Фишера. Сколько всего стереоизомеров имеет данный моносахарид? (**10 баллов**)

Решение. Запишем реакцию сгорания углеводов в общем виде:

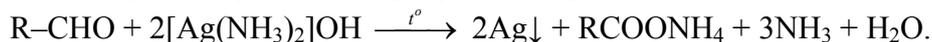


Углекислый газ поглощается раствором баритовой воды:



$$v(CO_2) = v(BaCO_3) = 17.73 / 197 = 0.09 \text{ моль}$$

Поскольку **Y** вступает в реакцию серебряного зеркала, он относится к альдозам:



$$v(Ag) = 3.24 / 108 = 0.03 \text{ моль}$$

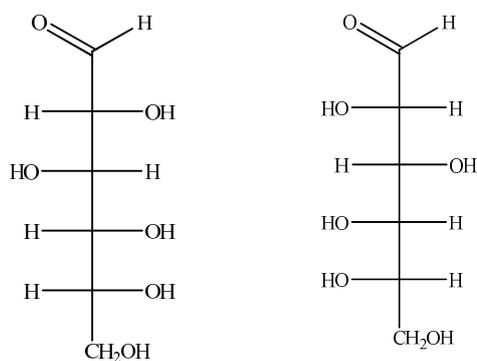
$$v(Y) = v(Ag) / 2 = 0.015 \text{ моль}$$

$$x = 0.09 / 0.015 = 6,$$

следовательно, моносахарид **Y** относится к гексозам, $M(Y) = 2.7 / 0.015 = 180 \text{ г/моль}$. Для проверки определим y :

$$y = (180 - 6 \cdot 12) / 18 = 6,$$

значит **Y** – это $C_6H_{12}O_6$. Изобразим в качестве примера глюкозу:

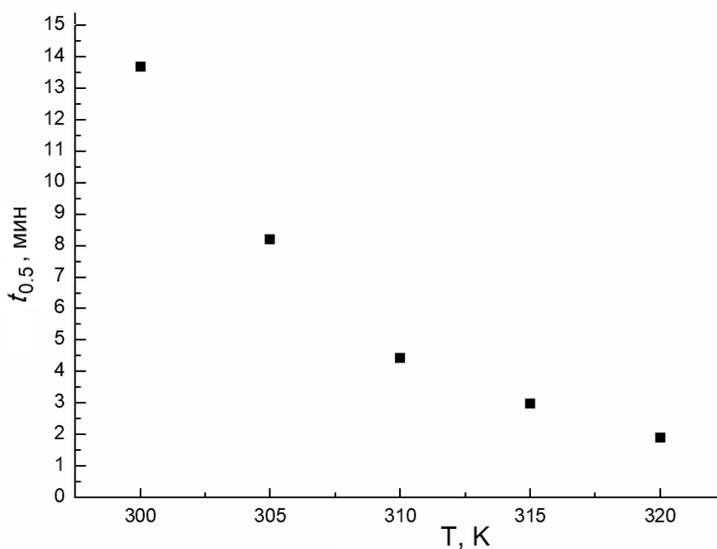
*D – глюкоза**L – глюкоза*

Общее количество стереоизомеров $N = 2^n$, где n – число асимметрических атомов углерода в молекуле. Следовательно, для альдогексоз в открытой форме $N = 2^4 = 16$, в циклической – $N = 2^5 = 32$.

Ответ: альдогексоза, 16 или 32.

Задание 6

6.1. Реакция $\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + 1/2\text{O}_2$ является реакцией первого порядка. Температурная зависимость периода полупревращения $t_{0.5}$ пероксида водорода представлена на графике. Определите энергию активации этой реакции и константу скорости при 30°C . Ответы подтвердите расчетами.



(20 баллов)

Решение. Определить энергию активации реакции можно из температурной зависимости константы скорости. Уравнение Аррениуса и его логарифмическая форма:

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

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}.$$

Для реакции первого порядка константа скорости связана с временем полупревращения следующим соотношением:

$$k = \frac{\ln 2}{t_{0.5}}$$

По возможности точно определим координаты точек на графике и составим таблицу.

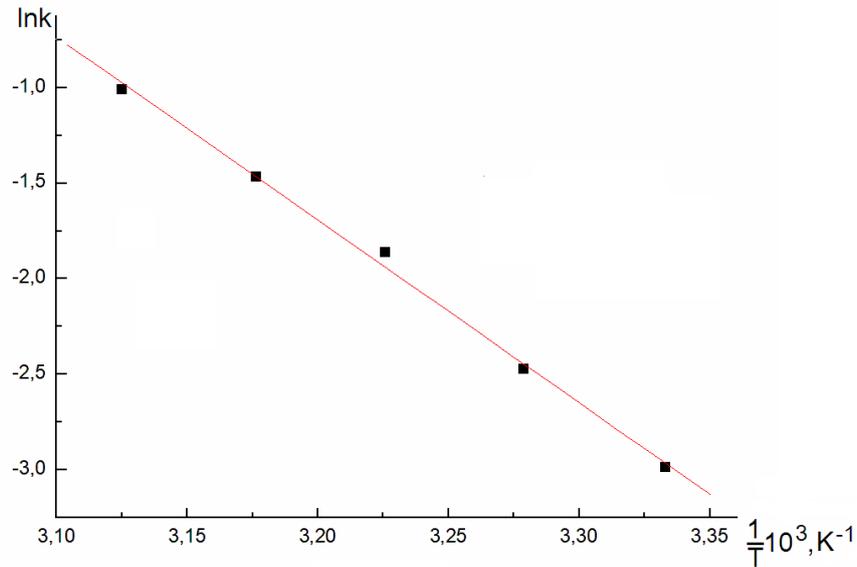
T, К	300	305	310	315	320
$t_{0.5}$, мин	13.7	8.2	4.45	3.0	1.9
$k \cdot 10^2$, мин ⁻¹	5.0595	8.4530	15.5763	23.105	36.4814
$\ln k$	-2.9839	-2.4706	-1.8594	-1.4651	-1.0084
$(1/T) \cdot 10^3$, К ⁻¹	3.333	3.2787	3.2258	3.1763	3.1250

Далее строим график и аппроксимируем линейной зависимостью $\ln k$ от $(1/T) \cdot 10^3$ (рисунок ниже). Результат аппроксимации – прямая $\ln k = 28.92693 - 9.56837(1/T) \cdot 10^3$.

Получаем

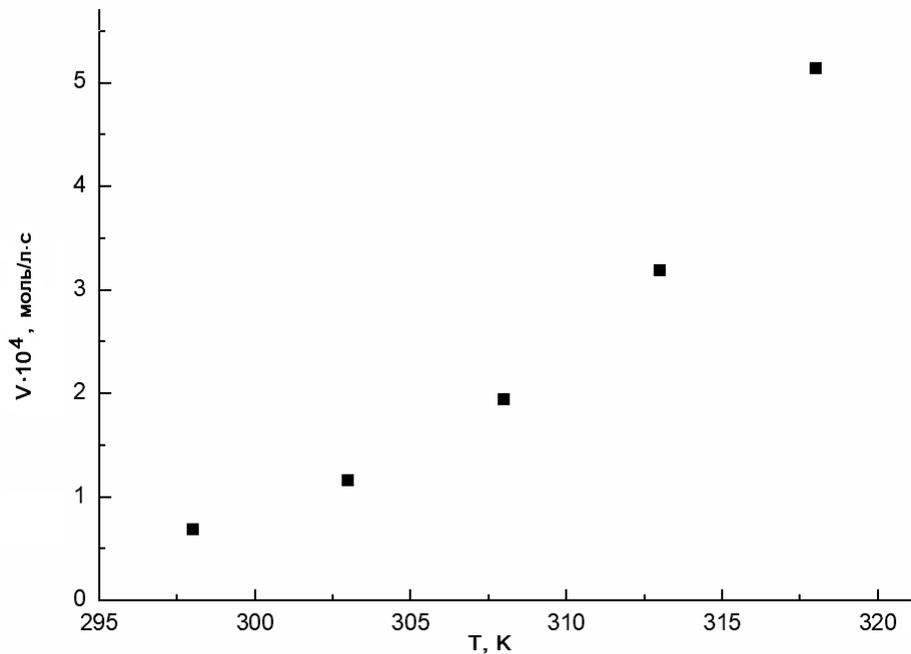
$$E_a = 956837 \cdot 8.314 = 79551 \text{ Дж/моль} = 79.55 \text{ кДж/моль};$$

$$k(303) = 0.07052 \text{ мин}^{-1} = 0.0011753 \text{ с}^{-1}.$$



Ответ: 79.55 кДж/моль; 0.07052 мин⁻¹.

6.2. Реакция $X \rightarrow G + J$ является реакцией первого порядка. Температурная зависимость начальной скорости данной реакции (концентрация X во всех случаях составляла 0.1 моль/л) представлена на графике.



На основе температурной зависимости константы скорости реакции определите энергию активации реакции и предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса для рассматриваемого температурного интервала. Ответы подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Определить энергию активации реакции можно из температурной зависимости константы скорости. Уравнение Аррениуса и его логарифмическая форма:

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

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

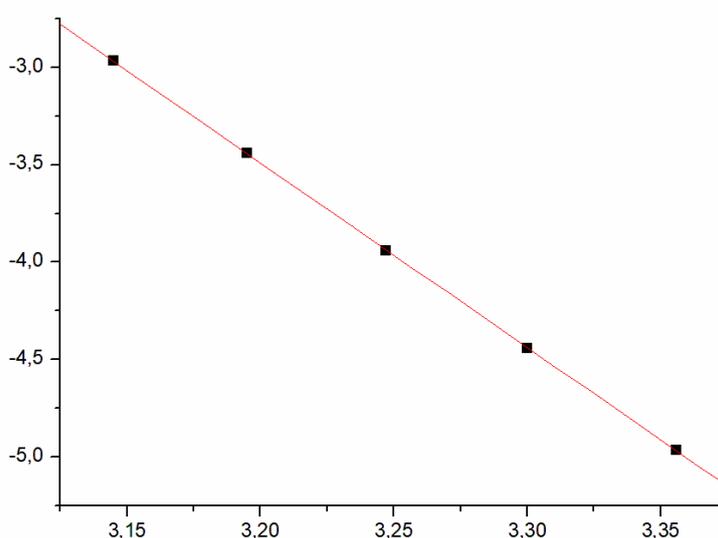
По возможности точно определим координаты точек на графике и составим таблицу.
По условию, $v = k \cdot 0.1$, следовательно, $k = v / 0.1$:

T, K	298	303	308	313	318
$v \cdot 10^4, \text{моль/л} \cdot \text{с}$	0.70	1.18	1.95	3.20	5.15
$k \cdot 10^4, \text{с}^{-1}$	7.0	11.8	19.4	32.0	51.5
$\ln k$	-4.962	-4.440	-3.942	-3.442	-2.966
$(1/T) \cdot 10^3, \text{K}^{-1}$	3.356	3.300	3.247	3.195	3.145

Далее строим график и аппроксимируем линейной зависимостью $\ln k$ от $(1/T) \cdot 10^3$ (рисунок ниже). Результат аппроксимации – прямая $\ln k = 26.806 - 9.46759(1/T) \cdot 10^3$.

$$E_a = 9467.59 \cdot 8.314 = 78714 \text{ Дж/моль} = 78.71 \text{ кДж/моль};$$

$$A = e^{26.806} = 4.38 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$$



Ответ: 78.71 кДж/моль, $4.38 \cdot 10^{11} \text{ с}^{-1}$.

6.3. Реакции разложения некоторого органического пероксида является реакцией первого порядка. Для нее при разных температурах были получены следующие значения константы скорости реакции.

$T, \text{°C}$	127	143	161	171	181
$k, \text{с}^{-1}$	0.00746	0.02969	0.22485	0.35021	1.00218

Используя температурную зависимость константы скорости реакции, определите энергию активации реакции и предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса для указанного температурного интервала. Ответы подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Определить энергию активации реакции можно из температурной зависимости константы скорости. Уравнение Аррениуса и его логарифмическая форма:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

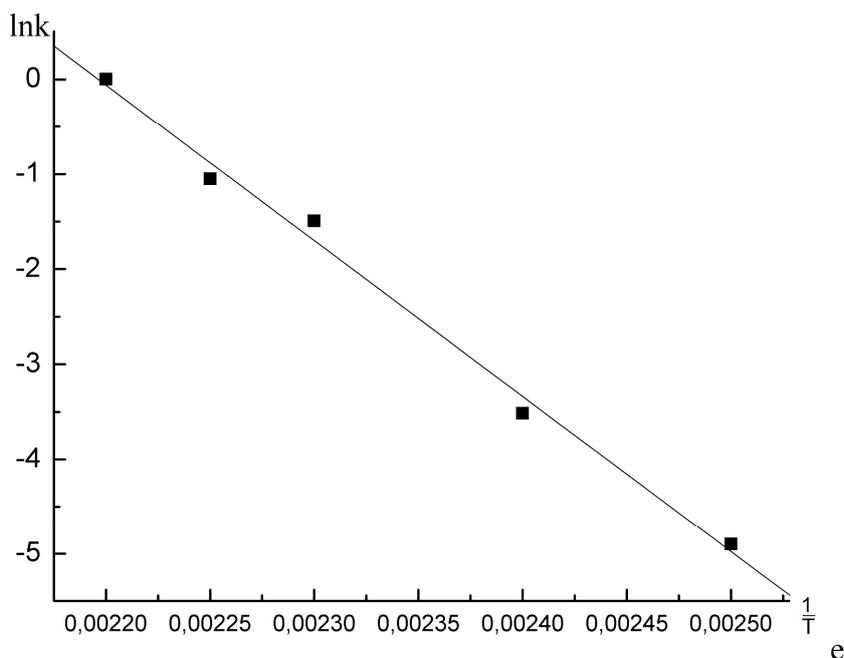
Необходимо построить (лучше на компьютере!) и обработать зависимость $\ln k$ от обратной температуры (график приведен ниже). Затем вычислить E_a и A из уравнения прямой, аппроксимирующей зависимость:

$$\ln k = 35.99119 - 16387.1567 \cdot (1/T)$$

$$E_a = 16387.1567 \cdot 8.314 = 136243 \text{ Дж/моль}$$

Предэкспоненциальный множитель A :

$$A = \exp(35.99119) = 4.2734 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$



Ответ: 136.243 кДж/моль, $4.2734 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

6.4. Реакции разложения некоторого органического пероксида является реакцией первого порядка. При изучении температурной зависимости скорости данной реакции были получены следующие значения периодов полупревращения ($t_{0.5}$) пероксида.

$T, \text{ К}$	400	416	434	444	454
$t_{0.5}, \text{ с}$	92.9152	23.3462	3.0827	1.9792	0.69164

Используя температурную зависимость константы скорости реакции, определите энергию активации реакции и предэкспоненциальный множитель уравнения Аррениуса для указанного температурного интервала. Ответы подтвердите расчетами. (20 баллов)

Решение. Определить энергию активации реакции можно из температурной зависимости константы скорости. Уравнение Аррениуса и его логарифмическая форма:

$$k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$$

$$\ln k = \ln A - \frac{E_a}{RT}$$

Для реакции первого порядка константа скорости связана с временем полупревращения следующим соотношением:

$$k = \frac{\ln 2}{t_{0.5}}$$

Необходимо построить (лучше на компьютере!) и обработать зависимость $\ln k$ от обратной температуры. Затем вычислить E_a и A из уравнения прямой, аппроксимирующей зависимость (см. решение задачи 6.1).

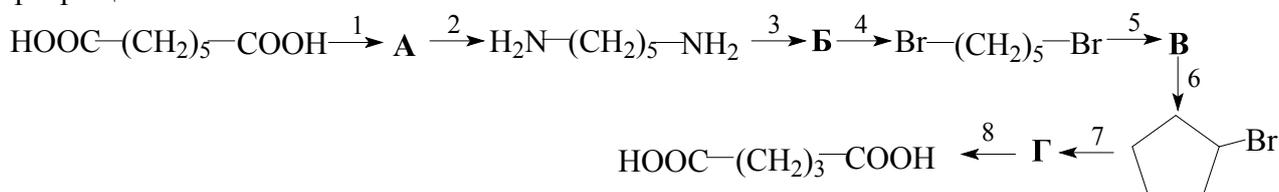
$$E_a = 137124 \text{ Дж/моль}$$

$$A = 5.70807 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$$

Ответ: 137.124 кДж/моль, $5.70807 \cdot 10^{15} \text{ с}^{-1}$.

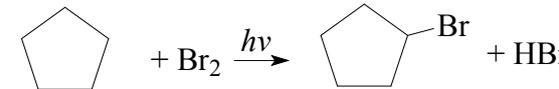
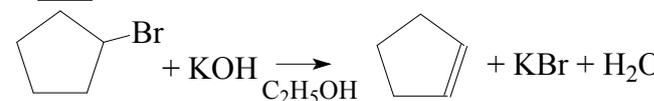
Задание 7

7.1. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

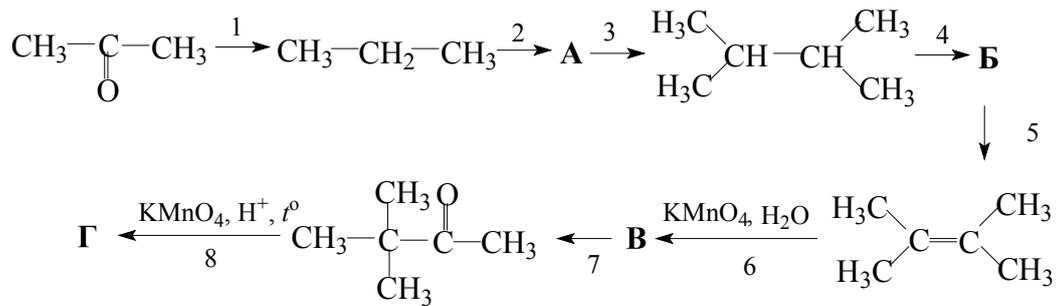


При записи уравнений используйте структурные формулы веществ, указывайте условия протекания реакций. (20 баллов)

Решение.

- 1) $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_5-\text{COOH} + 2\text{NH}_3 \xrightarrow{t^0} \text{H}_2\text{NOC}-(\text{CH}_2)_5-\text{CONH}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{H}_2\text{NOC}-(\text{CH}_2)_5-\text{CONH}_2 + 2\text{Br}_2 + 8\text{NaOH} \rightarrow \text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2 + 4\text{NaBr} + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$
(реакция Гофмана)
- 3) $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_5-\text{NH}_2 + 2\text{NaNO}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{HO}-(\text{CH}_2)_5-\text{OH} + 2\text{N}_2 + 2\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4) $\text{HO}-(\text{CH}_2)_5-\text{OH} + 2\text{HBr} \rightarrow \text{Br}-(\text{CH}_2)_5-\text{Br} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 5) $\text{Br}-(\text{CH}_2)_5-\text{Br} + \text{Zn} \rightarrow \text{Cyclopentane} + \text{ZnBr}_2$
- 6) 
- 7) 
- 8) $5 \text{ Cyclopentene} + 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH} + 8\text{MnSO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$

7.2. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

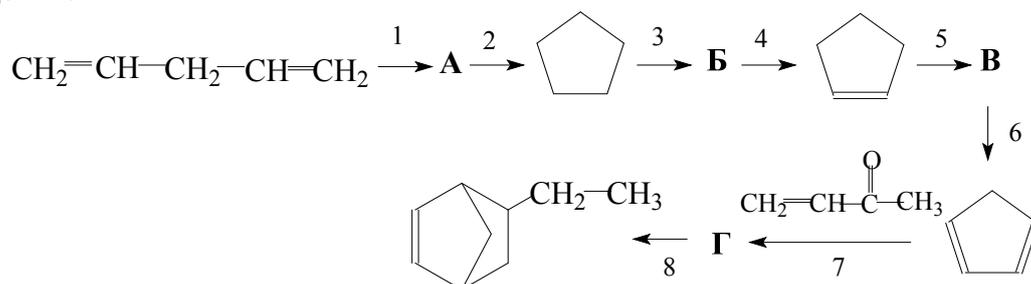


При записи уравнений используйте структурные формулы веществ, указывайте условия протекания реакций. (20 баллов)

Решение.

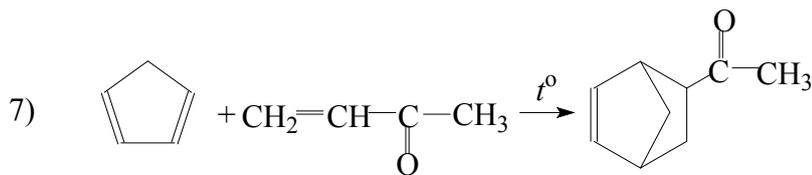
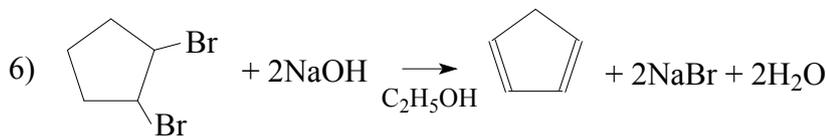
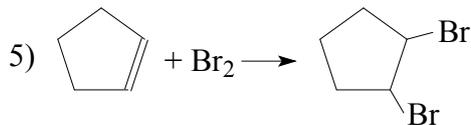
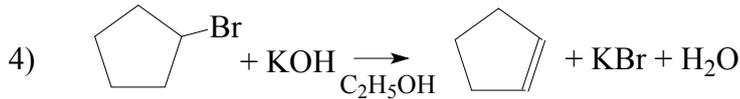
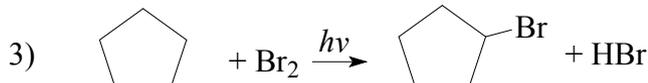
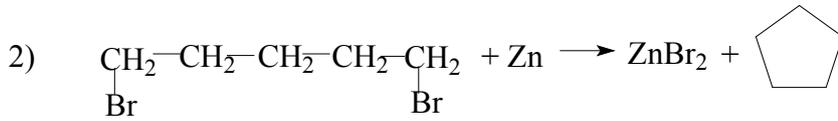
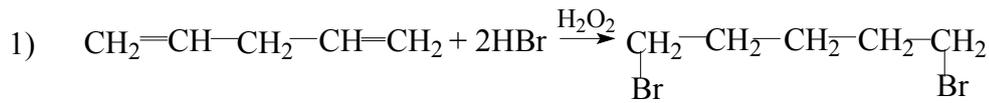
- 1) $\text{CH}_3-\text{C}-\text{CH}_3 + 2\text{Zn} + 4\text{HCl} \xrightarrow{\text{Hg}} \text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + 2\text{ZnCl}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_3 + \text{Br}_2 \xrightarrow{h\nu} \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{Br} \end{array} + \text{HBr}$
- 3) $2 \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \\ \text{Br} \end{array} + 2\text{Na} \rightarrow \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + 2\text{NaBr}$
- 4) $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CH}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{Br}_2 \xrightarrow{h\nu} \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CBr}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{HBr}$
- 5) $\begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{CBr}-\text{CH}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{KOH} \xrightarrow{\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}} \begin{array}{c} \text{CH}_3-\text{C}=\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + \text{KBr} + \text{H}_2\text{O}$
- 6) $3 \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ \diagdown \quad / \\ \text{C}=\text{C} \\ / \quad \diagdown \\ \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \end{array} + 2\text{KMnO}_4 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3 \begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} + 2\text{MnO}_2 + 2\text{KOH}$
- 7) $\begin{array}{c} \text{CH}_3 \quad \text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \quad | \\ \text{OH} \quad \text{OH} \end{array} \xrightarrow{\text{H}^+} \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \quad || \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \end{array} + \text{H}_2\text{O}$
(пинаколиновая перегруппировка)
- 8) $5 \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_3 \\ | \quad || \\ \text{CH}_3 \quad \text{O} \end{array} + 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \xrightarrow{t^\circ} 5 \begin{array}{c} \text{CH}_3 \\ | \\ \text{CH}_3-\text{C}-\text{COOH} \\ | \\ \text{CH}_3 \end{array} + 5\text{CO}_2 + 8\text{MnSO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 17\text{H}_2\text{O}$

7.3. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений:

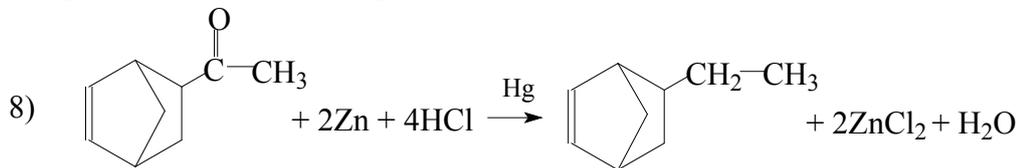


При записи уравнений используйте структурные формулы веществ, указывайте условия протекания реакций. (20 баллов)

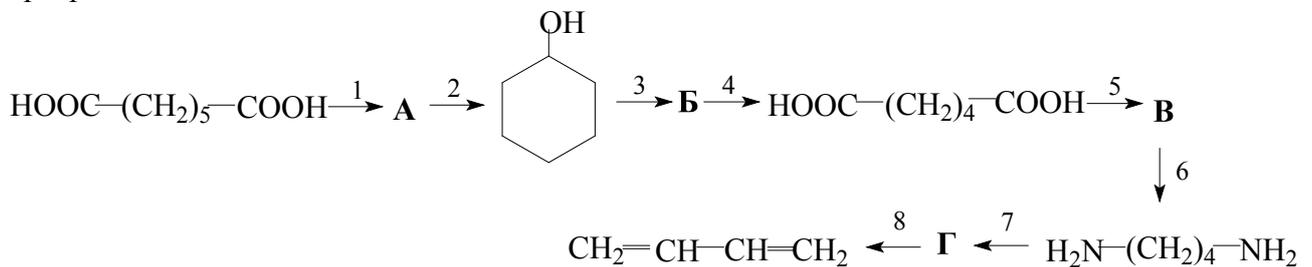
Решение.



(реакция Дильса-Альдера)

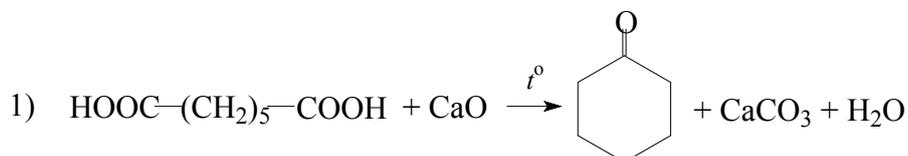


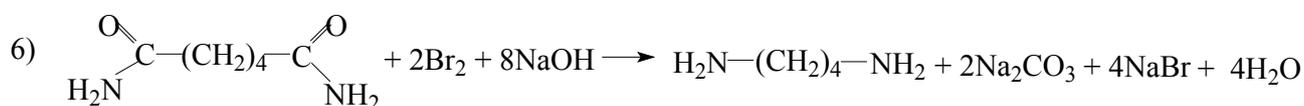
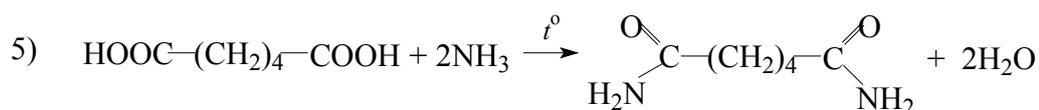
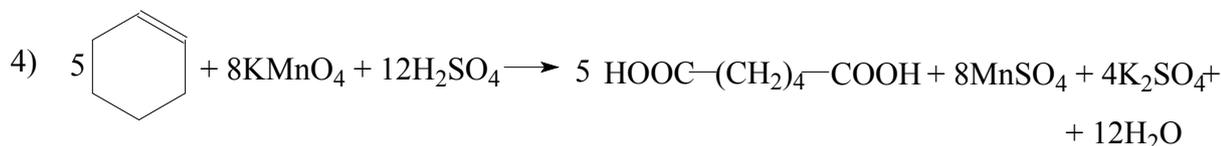
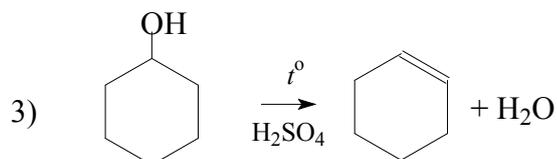
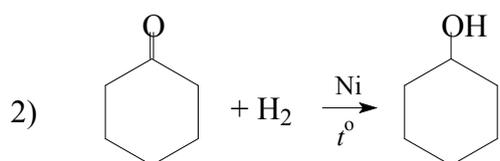
7.4. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений:



При записи уравнений используйте структурные формулы веществ, указывайте условия протекания реакций. (20 баллов)

Решение.

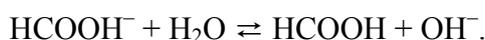




Задание 8

8.1. Раствор формиата натрия с концентрацией 0.5 моль/л имеет рН 8.725. Чем обусловлено отклонение значения рН от нейтрального? Рассчитайте константу диссоциации муравьиной кислоты. Сколько граммов 100%-ой муравьиной кислоты нужно добавить к 10 л этого раствора, чтобы получить раствор с рН 7? (**20 баллов**)

Решение. Значение рН > 7 соответствует щелочной среде раствора, которая обусловлена гидролизом соли HCOONa по аниону (анион слабой муравьиной кислоты):



Константа равновесия этой реакции:

$$K_c = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}_2\text{O}]}$$

Константа гидролиза в этом случае равна:

$$K_{\text{гидр}} = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-]}$$

Умножим числитель и знаменатель этой дроби на число, равное концентрации протонов, от чего дробь не изменится. Тогда:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}^+]}$$

В числителе $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ – ионное произведение воды, а величина $\frac{[\text{HCOOH}]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}^+]} = \frac{1}{K_{\text{дисс}}}$ обратно пропорциональна константе диссоциации муравьиной кислоты. Поэтому

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}},$$

откуда, учитывая, что $[\text{НСООН}] = [\text{ОН}^-]$,

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w}{K_{\text{гидр}}} = \frac{K_w[\text{НСОО}^-]}{[\text{ОН}^-]^2} = \frac{K_w(c_0 - [\text{ОН}^-])}{[\text{ОН}^-]^2},$$

c_0 – исходная концентрация соли. Из значения рН в растворе вычислим концентрацию $[\text{ОН}^-]$:

$$\text{pOH} = 14 - 8.725 = 5.275,$$

следовательно,

$$[\text{ОН}^-] = 10^{-5.275} = 5.309 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л.}$$

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w(c_0 - [\text{ОН}^-])}{[\text{ОН}^-]^2} = \frac{10^{-14}(0.5 - 5.309 \cdot 10^{-6})}{[5.309 \cdot 10^{-6}]^2} = 1.774 \cdot 10^{-4}$$

При добавлении в раствор 100%-ной муравьиной кислоты происходит ее диссоциация:



Пусть для того, чтобы концентрация протонов стала равной 10^{-7} моль/л, нужно к 1 л исходного раствора прибавить x моль кислоты, тогда ее начальная концентрация будет x моль/л. Концентрация формиат-ионов, возникшая в растворе при диссоциации кислоты, равна концентрации протонов (10^{-7} моль/л). Тогда:

$$K_{\text{дисс}} = 1.774 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{НСОО}^-]}{[\text{НСООН}]} = \frac{10^{-7} \cdot (0.5 + 10^{-7})}{x - 10^{-7}}$$

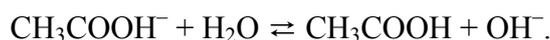
Отсюда $x = 2.818 \cdot 10^{-4}$ моль. Следовательно, к 10 л раствора нужно добавить $2.818 \cdot 10^{-3}$ моль муравьиной кислоты или

$$m = 2.818 \cdot 10^{-3} \cdot 46 = 0.1296 \text{ г.}$$

Ответ: Константа диссоциации $1.774 \cdot 10^{-4}$, 0.1296 г.

8.2. Раствор ацетата натрия с концентрацией 0.3 моль/л имеет рН 9.119. Чем обусловлено отклонение значения рН от нейтрального? Рассчитайте константу диссоциации уксусной кислоты. Сколько граммов ледяной уксусной кислоты нужно добавить к 5 л этого раствора, чтобы получить раствор с рН 7? (20 баллов)

Решение. Значение рН > 7 соответствует щелочной среде раствора, которая обусловлена гидролизом соли CH_3COONa по аниону (анион слабой уксусной кислоты):



Константа равновесия этой реакции:

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{ОН}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_2\text{O}]}.$$

Константа гидролиза в этом случае равна:

$$K_{\text{гидр}} = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{ОН}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Умножим числитель и знаменатель этой дроби на число, равное концентрации протонов, от чего дробь не изменится. Тогда:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{ОН}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}$$

В числителе $[\text{H}^+][\text{ОН}^-] = K_w$ – ионное произведение воды, а величина $\frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}$ обратна пропорциональна константе диссоциации уксусной кислоты. Поэтому

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}},$$

откуда, учитывая, что $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-]$,

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w}{K_{\text{гидр}}} = \frac{K_w[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{K_w(c_0 - [\text{OH}^-])}{[\text{OH}^-]^2}$$

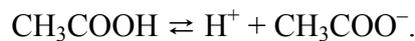
c_0 – исходная концентрация соли. Из значения pH в растворе вычислим концентрацию $[\text{OH}^-]$:

$$\text{pOH} = 14 - 9.119 = 4.881,$$

следовательно, $[\text{OH}^-] = 10^{-4.881} = 1.315 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w(c_0 - [\text{OH}^-])}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{10^{-14}(0.3 - 1.315 \cdot 10^{-5})}{[1.315 \cdot 10^{-5}]^2} = 1.735 \cdot 10^{-5}$$

При добавлении в раствор ледяной (100%-ной) уксусной кислоты происходит ее диссоциация:



Пусть для того, чтобы концентрация протонов стала равной 10^{-7} моль/л, нужно к 1 л исходного раствора прибавить x моль кислоты, тогда ее начальная концентрация будет x моль/л. Концентрация ацетат-ионов, возникшая в растворе при диссоциации кислоты, равна концентрации протонов (10^{-7} моль/л). Тогда:

$$K_{\text{дисс}} = 1.735 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{10^{-7} \cdot (0.3 + 10^{-7})}{x - 10^{-7}}$$

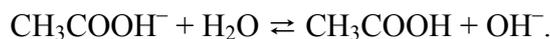
Отсюда $x = 1.729 \cdot 10^{-3}$ моль. Следовательно, к 5 л раствора нужно добавить $8.645 \cdot 10^{-3}$ моль уксусной кислоты или

$$m = 8.645 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0.5187 \text{ г.}$$

Ответ: константа диссоциации $1.735 \cdot 10^{-5}$, 0.5187 г.

8.3. Раствор ацетата калия с концентрацией 0.5 моль/л имеет pH 9.229. Чем обусловлено отклонение значения pH от нейтрального? Рассчитайте константу диссоциации уксусной кислоты. Сколько граммов ледяной уксусной кислоты нужно добавить к 10 л этого раствора, чтобы получить раствор с pH 7? (20 баллов)

Решение. Значение pH > 7 соответствует щелочной среде раствора, которая обусловлена гидролизом соли CH_3COONa по аниону (анион слабой уксусной кислоты):



Константа равновесия этой реакции:

$$K_c = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}_2\text{O}]}.$$

Константа гидролиза в этом случае равна:

$$K_{\text{гидр}} = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-]}$$

Умножим числитель и знаменатель этой дроби на число, равное концентрации протонов, от чего дробь не изменится. Тогда:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{CH}_3\text{COOH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]}$$

В числителе $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ – ионное произведение воды, а величина $\frac{[\text{CH}_3\text{COOH}]}{[\text{CH}_3\text{COO}^-][\text{H}^+]} = \frac{1}{K_{\text{дисс}}}$ обратно пропорциональна константе диссоциации уксусной кислоты. Поэтому

$$K_{\text{гидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}},$$

откуда, учитывая, что $[\text{CH}_3\text{COOH}] = [\text{OH}^-]$,

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w}{K_{\text{гидр}}} = \frac{K_w[\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{K_w(c_0 - [\text{OH}^-])}{[\text{OH}^-]^2}$$

c_0 – исходная концентрация соли. Из значения pH в растворе вычислим концентрацию $[\text{OH}^-]$:

$$\text{pOH} = 14 - 9.229 = 4.771,$$

следовательно, $[\text{OH}^-] = 10^{-4.771} = 1.694 \cdot 10^{-5}$ моль/л.

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w(c_0 - [\text{OH}^-])}{[\text{OH}^-]^2} = \frac{10^{-14}(0.5 - 1.694 \cdot 10^{-5})}{[1.694 \cdot 10^{-5}]^2} = 1.742 \cdot 10^{-5}$$

При добавлении в раствор ледяной (100%-ной) уксусной кислоты происходит ее диссоциация:



Пусть для того, чтобы концентрация протонов стала равной 10^{-7} моль/л, нужно к 1 л исходного раствора прибавить x моль кислоты, тогда ее начальная концентрация будет x моль/л. Концентрация ацетат-ионов, возникшая в растворе при диссоциации кислоты, равна концентрации протонов (10^{-7} моль/л). Тогда:

$$K_{\text{дисс}} = 1.742 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{COO}^-]}{[\text{CH}_3\text{COOH}]} = \frac{10^{-7} \cdot (0.5 + 10^{-7})}{x - 10^{-7}}$$

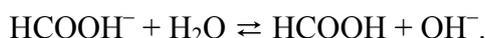
Отсюда $x = 2.870 \cdot 10^{-3}$ моль. Следовательно, к 10 л раствора нужно добавить $2.870 \cdot 10^{-2}$ моль уксусной кислоты или

$$m = 2.870 \cdot 10^{-2} \cdot 60 = 1.722 \text{ г.}$$

Ответ: константа диссоциации $1.742 \cdot 10^{-5}$, 1.722 г.

8.4. Раствор формиата калия с концентрацией 0.7 моль/л имеет pH 8.798. Чем обусловлено отклонение значения pH от нейтрального? Рассчитайте константу диссоциации муравьиной кислоты. Сколько граммов 100%-ой муравьиной кислоты нужно добавить к 15 л этого раствора, чтобы получить раствор с pH 7? (**20 баллов**)

Решение. Значение $\text{pH} > 7$ соответствует щелочной среде раствора, которая обусловлена гидролизом соли HCOONa по аниону (анион слабой муравьиной кислоты):



Константа равновесия этой реакции:

$$K_c = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}_2\text{O}]}.$$

Константа гидролиза в этом случае равна:

$$K_{\text{гидр}} = K_c[\text{H}_2\text{O}] = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-]}{[\text{HCOO}^-]}$$

Умножим числитель и знаменатель этой дроби на число, равное концентрации протонов, от чего дробь не изменится. Тогда:

$$K_{\text{гидр}} = \frac{[\text{HCOOH}][\text{OH}^-][\text{H}^+]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}^+]}$$

В числителе $[\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$ – ионное произведение воды, а величина $\frac{[\text{HCOOH}]}{[\text{HCOO}^-][\text{H}^+]} = \frac{1}{K_{\text{дисс}}}$

обратно пропорциональна константе диссоциации муравьиной кислоты. Поэтому

$$K_{\text{зидр}} = \frac{K_w}{K_{\text{дисс}}},$$

откуда, учитывая, что $[\text{НСООН}] = [\text{ОН}^-]$,

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w}{K_{\text{зидр}}} = \frac{K_w[\text{НСОО}^-]}{[\text{ОН}^-]^2} = \frac{K_w(c_0 - [\text{ОН}^-])}{[\text{ОН}^-]^2},$$

c_0 – исходная концентрация соли. Из значения рН в растворе вычислим концентрацию $[\text{ОН}^-]$:

$$\text{pOH} = 14 - 8.798 = 5.202,$$

следовательно, $[\text{ОН}^-] = 10^{-5.202} = 6.281 \cdot 10^{-6}$ моль/л.

$$K_{\text{дисс}} = \frac{K_w(c_0 - [\text{ОН}^-])}{[\text{ОН}^-]^2} = \frac{10^{-14}(0.7 - 6.281 \cdot 10^{-6})}{[6.281 \cdot 10^{-6}]^2} = 1.774 \cdot 10^{-4}$$

При добавлении в раствор 100%-ной муравьиной кислоты происходит ее диссоциация:



Пусть для того, чтобы концентрация протонов стала равной 10^{-7} моль/л, нужно к 1 л исходного раствора прибавить x моль кислоты, тогда ее начальная концентрация будет x моль/л. Концентрация формиат-ионов, возникшая в растворе при диссоциации кислоты, равна концентрации протонов (10^{-7} моль/л). Тогда:

$$K_{\text{дисс}} = 1.774 \cdot 10^{-4} = \frac{[\text{H}^+][\text{НСОО}^-]}{[\text{НСООН}]} = \frac{10^{-7} \cdot (0.7 + 10^{-7})}{x - 10^{-7}}$$

Отсюда $x = 3.946 \cdot 10^{-4}$ моль. Следовательно, к 15 л раствора нужно добавить муравьиной кислоты

$$v = 3.946 \cdot 10^{-4} \cdot 15 = 5.919 \cdot 10^{-3} \text{ моль}$$

или

$$m = 5.919 \cdot 10^{-3} \cdot 46 = 0.2722 \text{ г.}$$

Ответ: константа диссоциации $1.774 \cdot 10^{-4}$ моль/л, 0.2722 г.

Отборочный тур ДЕКАБРЬ, 10-11 классы

Задание 1

1.1. Приведите пример соединения, в котором валентность кислорода равна трем. (3 балла)

Решение. Валентность кислорода равна III, например, в молекуле угарного газа CO ($\text{C}\equiv\text{O}$) и в ионе гидроксония H_3O^+ .

1.2. Приведите пример соединения, в котором валентность углерода равна трем. (3 балла)

Решение. Валентность углерода равна III, например, в молекуле угарного газа CO ($\text{C}\equiv\text{O}$).

1.3. Приведите пример соединения, в котором валентность цинка равна четырем. (3 балла)

Решение. Примером подобного соединения может, например, служить комплексное соединение – тетрагидроксоцинкат натрия $\text{Na}_2[\text{Zn}(\text{OH})_4]$.

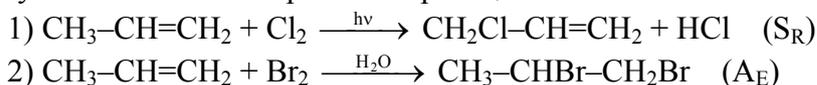
1.4. Приведите пример соединения, в котором валентность железа равна пяти. (3 балла)

Решение. Например, пентакарбонил железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$.

Задание 2

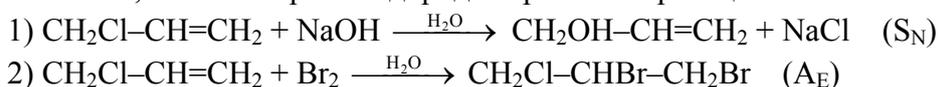
2.1. Вещество **X** легче углекислого газа способно в одних условиях вступать в реакцию радикального замещения (S_R), а в других условиях – в реакцию электрофильного присоединения (A_E). Предложите возможную структуру вещества **X**, запишите упомянутые реакции с его участием, укажите условия их проведения. (5 баллов)

Решение. Вещество **X** – пропен C_3H_6 . Его молярная масса 42 г/моль, следовательно, он легче углекислого газа. Уравнения реакций:



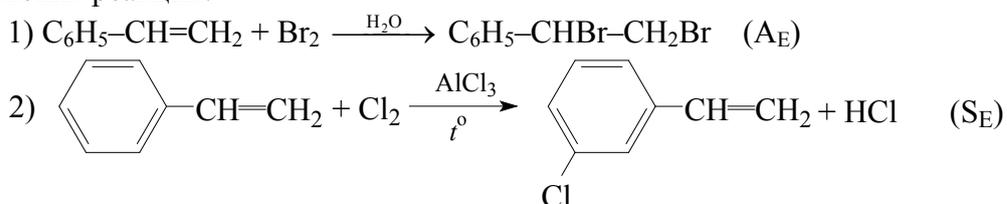
2.2. Вещество **X** легче бромоводорода способно в одних условиях вступать в реакцию нуклеофильного замещения (S_N), а в других условиях – в реакцию электрофильного присоединения (A_E). Предложите возможную структуру вещества **X**, запишите упомянутые реакции с его участием, укажите условия их проведения. (5 баллов)

Решение. Вещество **X** – 3-хлорпропен C_3H_5Cl . Его молярная масса 76.5 г/моль, следовательно, он легче бромоводорода. Уравнения реакций:



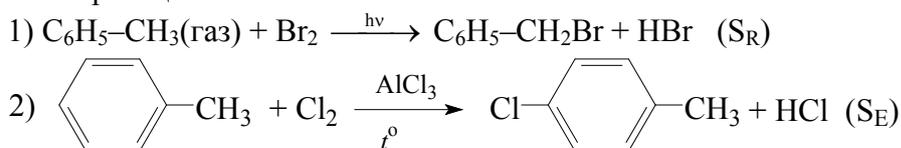
2.3. Жидкое при нормальных условиях вещество **X** способно в одних условиях вступать в реакцию электрофильного присоединения (A_E), а в других условиях – в реакцию электрофильного замещения (S_E). Предложите возможную структуру вещества **X**, запишите упомянутые реакции с его участием, укажите условия их проведения. (5 баллов)

Решение. Вещество **X** – жидкий при нормальных условиях стирол $C_6H_5-CH=CH_2$. Уравнения реакций:



2.4. Жидкое при нормальных условиях вещество **X** способно в одних условиях вступать в реакцию радикального замещения (S_R), а в других условиях – в реакцию электрофильного замещения (S_E). Предложите возможную структуру вещества **X**, запишите упомянутые реакции с его участием, укажите условия их проведения. (5 баллов)

Решение. Вещество **X** – жидкий при нормальных условиях толуол $C_6H_5-CH_3$. Уравнения реакций:



Задание 3

3.1. Для приготовления раствора использовали 32.8 г ортофосфата натрия и 500 мл 0.5 М раствора ортофосфорной кислоты. Рассчитайте молярные концентрации веществ в конечном растворе. *Указание:* изменением объема раствора при растворении соли можно пренебречь. **(10 баллов)**

Решение. Найдем количества исходных веществ:

$$v(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 32.8 / 164 = 0.2 \text{ моль,}$$

$$v(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0.5 \cdot 0.5 = 0.25 \text{ моль.}$$

Протекают две реакции с образованием двух разных солей:



$$x \quad 0.5x \quad 1.5x$$



$$0.2-x \quad 2(0.2-x) \quad 3(0.2-x)$$

$$v(\text{H}_3\text{PO}_4) = 0.25 = 0.5x + 2(0.2 - x),$$

$$x = 0.1 \text{ моль.}$$

Количества полученных солей:

$$v(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.15 \text{ моль,}$$

$$v(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.3 \text{ моль.}$$

Молярные концентрации:

$$c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.15 / 0.5 = 0.3 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.3 / 0.5 = 0.6 \text{ моль/л.}$$

Ответ: 0.3 М Na_2HPO_4 , 0.6 М NaH_2PO_4 .

3.2. Мышьяковая кислота является аналогом ортофосфорной кислоты, немного отличаясь от нее по силе. Для приготовления раствора было взято 30.2 г ее полугидрата ($\text{H}_3\text{AsO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$) и 200 мл 0.8 М раствора арсената натрия (плотность 1.1029 г/мл). Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе. **(10 баллов)**

Решение. Найдем количества исходных веществ:

$$v(\text{H}_3\text{AsO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}) = 30.2 / 151 = 0.2 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Na}_3\text{AsO}_4) = 0.8 \cdot 0.2 = 0.16 \text{ моль.}$$

Протекают две реакции с образованием двух разных солей:



$$x \quad 0.5x \quad 1.5x$$



$$0.16-x \quad 2(0.16-x) \quad 3(0.16-x)$$

$$v(\text{H}_3\text{AsO}_4) = 0.2 = 0.5x + 2(0.16 - x),$$

$$x = 0.08 \text{ моль.}$$

Количества полученных солей:

$$v(\text{Na}_2\text{HAsO}_4) = 0.12 \text{ моль,}$$

$$v(\text{NaH}_2\text{AsO}_4) = 0.24 \text{ моль.}$$

Их массы:

$$m(\text{Na}_2\text{HAsO}_4) = 186 \cdot 0.12 = 22.32 \text{ г,}$$

$$m(\text{NaH}_2\text{AsO}_4) = 164 \cdot 0.24 = 39.36 \text{ г.}$$

Масса раствора $m = 30.2 + 200 \cdot 1.1029 = 250.78 \text{ г.}$

Массовые доли солей в растворе:

$$\omega(\text{Na}_2\text{HAsO}_4) = 22.32 / 250.78 = 0.089 \text{ (или 8.9\%),}$$

$$\omega(\text{NaH}_2\text{AsO}_4) = 39.36 / 250.78 = 0.157 \text{ (или 15.7\%).}$$

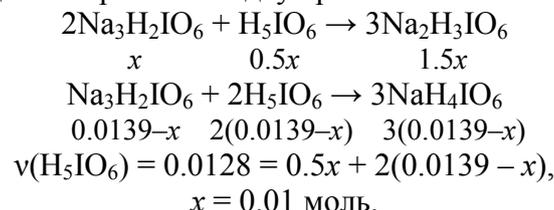
Ответ: 8.9% Na_2HAsO_4 , 15.7% NaH_2AsO_4 .

3.3. Ортоиодная кислота H_5IO_6 в водном растворе при взаимодействии со щелочью образует три ряда солей – одно, двух и трехзамещенные. Смешали 2.918 г ортоиодной кислоты, 4.087 г дигидроортопериодата натрия и 1000 мл воды. Определите молярные концентрации веществ в конечном растворе (плотность раствора 1.001 г/мл). **(10 баллов)**

Решение. Найдем количества исходных веществ:

$$\begin{aligned}v(\text{H}_5\text{IO}_6) &= 2.918 / 228 = 0.0128 \text{ моль,} \\v(\text{Na}_3\text{H}_2\text{IO}_6) &= 4.087 / 294 = 0.0139 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Протекают две реакции с образованием двух разных солей:



Количества полученных солей:

$$\begin{aligned}v(\text{Na}_2\text{H}_3\text{IO}_6) &= 0.015 \text{ моль,} \\v(\text{NaH}_4\text{IO}_6) &= 0.0117 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Масса раствора $m = 2.918 + 4.087 + 1000 = 1007.0 \text{ г,}$
его объем: $V = 1007.0 / 1.001 = 1006 \text{ мл} = 1.006 \text{ л.}$

Молярные концентрации:

$$\begin{aligned}c(\text{Na}_2\text{H}_3\text{IO}_6) &= 0.015 / 1.006 = 0.0149 \text{ моль/л,} \\c(\text{NaH}_4\text{IO}_6) &= 0.0117 / 1.006 = 0.0116 \text{ моль/л.}\end{aligned}$$

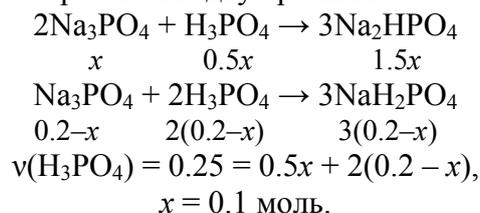
Ответ: 0.0149 М $\text{Na}_2\text{H}_3\text{IO}_6$, 0.0116 М NaH_4IO_6 .

3.4. Для приготовления раствора использовали 76 г кристаллогидрата ортофосфата натрия состава $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и 500 мл 0.5 М раствора ортофосфорной кислоты. Рассчитайте молярные концентрации веществ в конечном растворе. *Указание:* изменением объема раствора при растворении соли можно пренебречь. **(10 баллов)**

Решение. Найдем количества исходных веществ:

$$\begin{aligned}v(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) &= 76 / 380 = 0.2 \text{ моль,} \\v(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 0.5 \cdot 0.5 = 0.25 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Протекают две реакции с образованием двух разных солей:



Количества полученных солей:

$$\begin{aligned}v(\text{Na}_2\text{HPO}_4) &= 0.15 \text{ моль,} \\v(\text{NaH}_2\text{PO}_4) &= 0.3 \text{ моль.}\end{aligned}$$

Молярные концентрации:

$$\begin{aligned}c(\text{Na}_2\text{HPO}_4) &= 0.15 / 0.5 = 0.3 \text{ моль/л,} \\c(\text{NaH}_2\text{PO}_4) &= 0.3 / 0.5 = 0.6 \text{ моль/л.}\end{aligned}$$

Ответ: 0.3 М Na_2HPO_4 , 0.6 М NaH_2PO_4 .

Задание 4

4.1. Сколько времени необходимо проводить анодную обработку (травление) поверхности медной пластины, чтобы сформировать в ней кольцеобразную выемку глубиной 1 мм и шириной 2 мм при внутреннем диаметре кольца 10 см? Электролит – сульфат меди, сила тока 5 А, выход по току 94%. Плотность меди равна 8.94 г/см³. **(10 баллов)**

Решение. Найдем массу меди, которую нужно растворить для того, чтобы образовалась выемка. Внутренний радиус цилиндра $r = 5$ см, внешний радиус $R = 5.2$ см, высота цилиндра $h = 0.1$ см:

$$V = h \cdot \pi \cdot (R^2 - r^2) = 0.1 \cdot 3.14 \cdot (5.2^2 - 5^2) = 0.641 \text{ см}^3.$$

$$m(\text{Cu}) = \rho \cdot V = 8.94 \cdot 0.641 = 5.73 \text{ г.}$$

Растворение меди: $\text{Cu}^0 - 2e \rightarrow \text{Cu}^{2+}$, $n = 2$.

Закон Фарадея (η – выход по току):

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t \cdot \eta}{n \cdot F},$$

отсюда
$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I \cdot \eta} = \frac{5.73 \cdot 2 \cdot 96500}{64 \cdot 5 \cdot 0.94} = 3676.8 \text{ с} = 61.28 \text{ мин.}$$

Ответ: 61.28 мин.

4.2. Сколько времени потребуется для электрохимического покрытия всей поверхности отрезка металлической трубы толщиной 5 мм, длиной 10 см и внутренним диаметром 10 см слоем никеля толщиной 5 мкм? Электролит – сульфат никеля, сила тока 6 А, выход по току 75%. Плотность никеля равна 8.9 г/см^3 . **(10 баллов)**

Решение. Найдем массу никеля, который нужно осадить на трубку, чтобы получить покрытие нужной толщины. Для этого найдем сначала площадь всей поверхности трубки (полого цилиндра с внутренним радиусом $r = 5$ см, внешним радиусом $R = 5.5$ см и высотой $h = 10$ см). Необходимо сложить площади четырех элементов поверхности – двух торцов (одинаковых колец с внешним радиусом R и внутренним радиусом r) и боковые поверхности двух цилиндров высотой h (с радиусом R и с радиусом r):

$$S_{\text{пов}} = 2S_{\text{кольца}} + S_{\text{внеш}} + S_{\text{внутр}} = 2 \cdot \pi(R^2 - r^2) + 2\pi Rh + 2\pi rh = 2\pi(R^2 - r^2 + h(R + r)) = 692.37 \text{ см}^2.$$

Теперь рассчитаем объем покрытия, умножив площадь на толщину слоя $d = 5 \text{ мкм} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ см}$.

$$V = d \cdot S_{\text{пов}} = 5 \cdot 10^{-4} \cdot 692.37 = 0.3462 \text{ см}^3.$$

$$m(\text{Ni}) = \rho \cdot V = 8.9 \cdot 0.3462 = 3.081 \text{ г.}$$

Осаждение никеля: $\text{Ni}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Ni}^0$.

Закон Фарадея (η – выход по току):

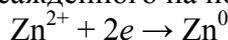
$$m = \frac{M \cdot I \cdot t \cdot \eta}{n \cdot F},$$

отсюда
$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I \cdot \eta} = \frac{3.081 \cdot 2 \cdot 96500}{59 \cdot 6 \cdot 0.75} = 2239.7 \text{ с} = 37.33 \text{ мин.}$$

Ответ: 37.33 мин.

4.3. Какова толщина цинкового покрытия, которое нанесли электрохимическим способом на всю поверхность металлической полусферы внутренним радиусом 10 см и толщиной 5 мм за 90 минут обработки при силе тока 5 А и выходе по току 80%? Электролит – сульфат цинка, плотность цинка равна 7.14 г/см^3 . **(10 баллов)**

Решение. Найдем массу цинка, осажденного на поверхность полусферы. Идет процесс:



Используем закон Фарадея (η – выход по току):

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t \cdot \eta}{n \cdot F} = \frac{65 \cdot 5 \cdot 5400 \cdot 0.8}{2 \cdot 96500} = 7.275 \text{ г.}$$

Тогда объем цинкового покрытия составляет

$$V = m / \rho = 7.275 / 7.14 = 1.019 \text{ см}^3.$$

Чтобы рассчитать площадь всей поверхности полусферы, необходимо сложить площади трех элементов поверхности – внешней поверхности полусферы радиусом $R = 10.5$ см, внутренней поверхности радиусом $r = 10$ см и торца, который представляет собой кольцо с внешним радиусом R и внутренним радиусом r :

$$S_{\text{пов}} = S_{\text{внеш}} + S_{\text{внутр}} + S_{\text{кольца}} = \frac{4\pi R^2}{2} + \frac{4\pi r^2}{2} + \pi(R^2 - r^2) = \pi(3R^2 + r^2) = 1353 \text{ см}^2.$$

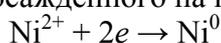
Обозначим искомую толщину цинкового покрытия через x . Тогда

$$x = \frac{V}{S_{\text{пов}}} = \frac{1.019}{1353} = 7.5 \cdot 10^{-4} \text{ см.}$$

Ответ: $7.5 \cdot 10^{-4}$ см.

4.4. Какова толщина никелевого покрытия, которое нанесли электрохимическим способом на всю поверхность металлического кольца с внутренним диаметром 5 см, внешним диаметром 10 см и высотой 5 мм за 140 минут обработки при силе тока 4 А и выходе по току 90%? Электролит – сульфат никеля, плотность никеля равна 8.9 г/см^3 . **(10 баллов)**

Решение. Найдем массу никеля, осажденного на поверхность кольца. Идет процесс:



Используем закон Фарадея (η – выход по току):

$$m = \frac{M \cdot I \cdot t \cdot \eta}{n \cdot F} = \frac{59 \cdot 4 \cdot 8400 \cdot 0.9}{2 \cdot 96500} = 9.244 \text{ г.}$$

Тогда объем никелевого покрытия составляет

$$V = m / \rho = 9.244 / 8.9 = 1.039 \text{ см}^3.$$

Чтобы рассчитать площадь всей поверхности металлического кольца (полого цилиндра), необходимо сложить площади четырех элементов поверхности – двух одинаковых плоских колец с внешним радиусом $R = 5$ см и внутренним радиусом $r = 2.5$ см и боковые поверхности двух цилиндров высотой $h = 0.5$ см (с радиусом R и с радиусом r):

$$S_{\text{пов}} = 2S_{\text{кольца}} + S_{\text{внеш}} + S_{\text{внутр}} = 2 \cdot \pi(R^2 - r^2) + 2\pi R h + 2\pi r h = 2\pi(R^2 - r^2 + h(R + r)) = 141.3 \text{ см}^2.$$

Обозначим искомую толщину цинкового покрытия через x . Тогда

$$x = \frac{V}{S_{\text{пов}}} = \frac{1.039}{141.3} = 7.35 \cdot 10^{-3} \text{ см.}$$

Ответ: $7.35 \cdot 10^{-3}$ см.

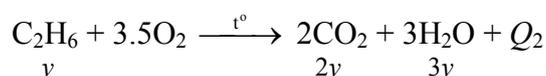
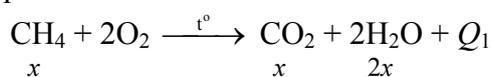
Задание 5

5.1. Объем углекислого газа, выделившегося в результате сжигания в избытке кислорода 117 г смеси метана и этана, оказался в 1.25 раза больше объема исходной смеси углеводородов. Сколько теплоты выделилось при сгорании данной смеси? Теплоты образования CH_4 , C_2H_6 , CO_2 и H_2O составляют 74.8, 84.7, 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(12 баллов)**

Решение. Пусть смесь состояла из x моль метана и y моль этана. Тогда масса смеси равна

$$m(\text{смеси}) = 16x + 30y = 117$$

Запишем уравнения сгорания газов:



По условию,

$$\frac{x + 2y}{x + y} = 1.25$$

Отсюда $x = 3y$, подстановка в уравнение для массы смеси дает решение $x = 4.5$, $y = 1.5$.

В соответствии с законом Гесса, рассчитаем количества теплоты, выделившейся при сгорании 1 моль метана и 1 моль этана:

$$Q_1 = 393.5 + 2 \cdot 285.8 - 74.8 = 890.3 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = 2 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - 84.7 = 1559.7 \text{ кДж}$$

Тогда при сгорании данной смеси выделится

$$Q = 4.5 \cdot Q_1 + 1.5 \cdot Q_2 = 4006.35 + 2339.55 = 6345.9 \text{ кДж.}$$

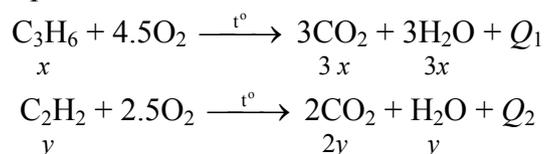
Ответ: 6345.9 кДж.

5.2. Объем углекислого газа, выделившегося в результате сжигания в избытке кислорода 120 г смеси пропена и ацетилен, оказался в 2.25 раза больше объема исходной смеси углеводородов. Сколько теплоты выделилось при сгорании данной смеси? Теплоты образования C_3H_6 , C_2H_2 , CO_2 и H_2O составляют -20.4 , -226.7 , 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(12 баллов)**

Решение. Пусть смесь состояла из x моль пропена и y моль ацетилен. Тогда масса смеси равна

$$m(\text{смеси}) = 42x + 26y = 120$$

Запишем уравнения сгорания газов:



По условию,

$$\frac{3x + 2y}{x + y} = 2.25$$

Отсюда $y = 3x$, подстановка в уравнение для массы смеси дает решение $x = 1$, $y = 3$.

В соответствии с законом Гесса, рассчитаем количества теплоты, выделившейся при сгорании 1 моль пропена и 1 моль ацетилен:

$$Q_1 = 3 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - (-20.4) = 2058.3 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = 2 \cdot 393.5 + 285.8 - (-226.7) = 1299.5 \text{ кДж}$$

Тогда при сгорании данной смеси выделится

$$Q = Q_1 + 3 \cdot Q_2 = 2058.3 + 3898.5 = 5956.8 \text{ кДж.}$$

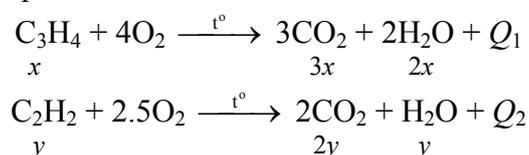
Ответ: 5956.8 кДж.

5.3. Объем углекислого газа, выделившегося в результате сжигания в избытке кислорода 99 г смеси пропина и ацетилен, оказался в 2.5 раза больше объема исходной смеси углеводородов. Сколько теплоты выделилось при сгорании данной смеси? Теплоты образования C_3H_4 , C_2H_2 , CO_2 и H_2O составляют 185.4 , -226.7 , 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(12 баллов)**

Решение. Пусть смесь состояла из x моль пропина и y моль ацетилен. Тогда масса смеси равна

$$m(\text{смеси}) = 40x + 26y = 99$$

Запишем уравнения сгорания газов:



По условию,

$$\frac{3x + 2y}{x + y} = 2.5$$

Отсюда $x = y$, подстановка в уравнение для массы смеси дает решение $x = y = 1.5$.

В соответствии с законом Гесса, рассчитаем количества теплоты, выделившейся при сгорании 1 моль пропина и 1 моль ацетилена:

$$Q_1 = 3 \cdot 393.5 + 2 \cdot 285.8 - (185.4) = 1566.7 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = 2 \cdot 393.5 + 285.8 - (-226.7) = 1299.5 \text{ кДж}$$

Тогда при сгорании данной смеси выделится

$$Q = 1.5 \cdot Q_1 + 1.5 \cdot Q_2 = 2350.05 + 1949.25 = 4299.3 \text{ кДж.}$$

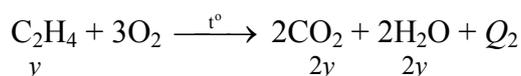
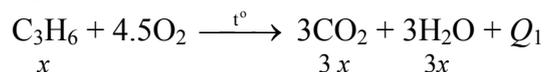
Ответ: 4299.3 кДж.

5.4. Объем углекислого газа, выделившегося в результате сжигания в избытке кислорода 77 г смеси пропена и этилена, оказался в 2.2 раза больше объема исходной смеси углеводородов. Сколько теплоты выделилось при сгорании данной смеси? Теплоты образования C_3H_6 , C_2H_4 , CO_2 и H_2O составляют -20.4 , -52.3 , 393.5 и 285.8 кДж/моль соответственно. **(12 баллов)**

Решение. Пусть смесь состояла из x моль пропена и y моль этилена. Тогда масса смеси равна

$$m(\text{смеси}) = 42x + 28y = 77$$

Запишем уравнения сгорания газов:



По условию,

$$\frac{3x + 2y}{x + y} = 2.2$$

Отсюда $y = 4x$, подстановка в уравнение для массы смеси дает решение $x = 0.5$, $y = 2$.

В соответствии с законом Гесса, рассчитаем количества теплоты, выделившейся при сгорании 1 моль пропена и 1 моль этилена:

$$Q_1 = 3 \cdot 393.5 + 3 \cdot 285.8 - (-20.4) = 2058.3 \text{ кДж}$$

$$Q_2 = 2 \cdot 393.5 + 2 \cdot 285.8 - (-52.3) = 1410.9 \text{ кДж}$$

Тогда при сгорании данной смеси выделится

$$Q = 0.5 \cdot Q_1 + 2 \cdot Q_2 = 1029.15 + 2821.8 = 3850.95 \text{ кДж.}$$

Ответ: 3850.95 кДж.

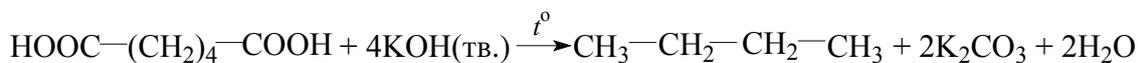
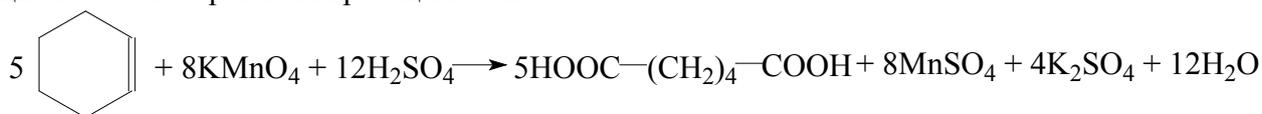
Задание 6

6.1. В каждом из трех углеводородов **A**, **B** и **C** массовая доля углерода составляет 87.8%. При действии подкисленного раствора перманганата калия углеводороды образуют соответственно вещества **X**, **Y** и **Z**. Вещества **X** и **Y** под действием некоторого реагента превращаются в бутан, а из вещества **Z** в этих условиях образуется этан. Установите строение всех шести зашифрованных соединений, запишите уравнения протекающих реакций. **(20 баллов)**

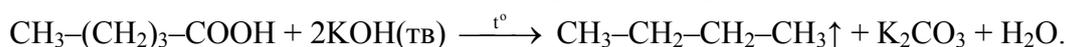
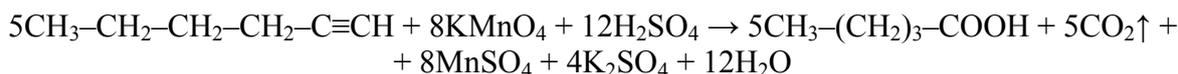
Решение. Из условия задачи можно предположить, что углеводороды **A**, **B** и **C** являются изомерами. Определим простейшую формулу C_xH_y :

$$x : y = \frac{87.8}{12} : \frac{12.2}{1} = 7.317 : 12.2 = 1 : 1.667 = 3 : 5.$$

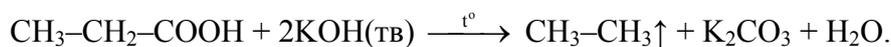
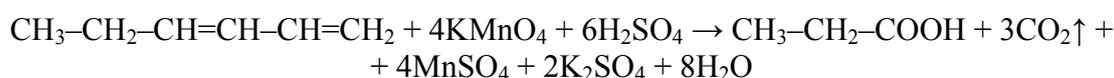
C_3H_5 – простейшая формула, а истинной формулой может быть C_6H_{10} . Тогда изомеры могут относиться к классам алкинов, алкадиенов или к циклоалкенам. Пусть вещество **A** – циклогексен. Уравнения реакций с ним:



B – изомерный циклогексену алкин. В нем тройная связь должна располагаться так, чтобы после реакции продукта реакции окисления с KOH мог получиться бутан:



Тогда вещество **C** – или алкин (изомерный **B**), или алкадиен:



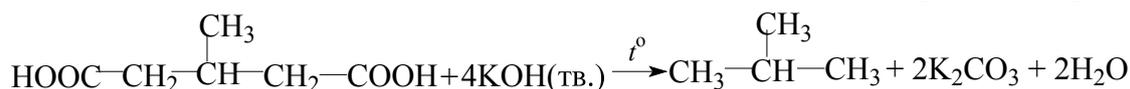
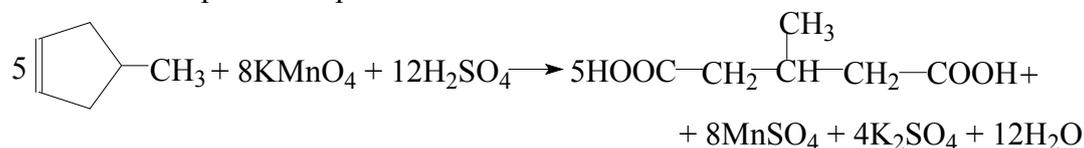
Ответ: **A** – циклогексен, **B** – гексин-1, **C** – гексадиен 1,3, **X** – гександиовая (адипиновая) кислота, **Y** – пентановая кислота, **Z** – пропионовая кислота, неизвестный реагент – твердая щелочь.

6.2. В каждом из трех углеводородов **A**, **B** и **C** массовая доля углерода составляет 87.8%. При действии подкисленного раствора перманганата калия углеводороды образуют соответственно вещества **X**, **Y** и **Z**. Вещества **X** и **Y** под действием некоторого реагента превращаются в метилпропан, а из вещества **Z** в этих условиях образуется этан. Установите возможное строение всех шести зашифрованных соединений, запишите уравнения протекающих реакций. (20 баллов)

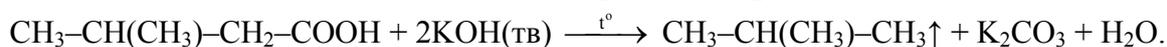
Решение. Из условия задачи можно предположить, что углеводороды **A**, **B** и **C** являются изомерами. Определим простейшую формулу C_xH_y :

$$x : y = \frac{87.8}{12} : \frac{12.2}{1} = 7.317 : 12.2 = 1 : 1.667 = 3 : 5$$

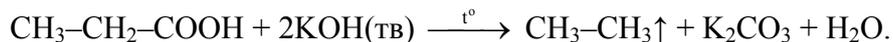
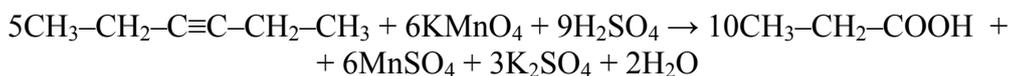
C_3H_5 – простейшая формула, а истинной формулой может быть C_6H_{10} . Тогда изомеры могут относиться к классам алкинов, алкадиенов или к циклоалкенам. Пусть вещество **A** – метилциклопентен. Уравнения реакций с ним:



B – изомерный метилциклопентену алкин. В нем тройная связь должна располагаться так, чтобы после реакции продукта реакции окисления с KOH мог получиться метилпропан:



Тогда вещество **C** – алкин (изомерный **B**):

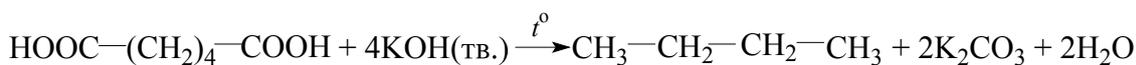
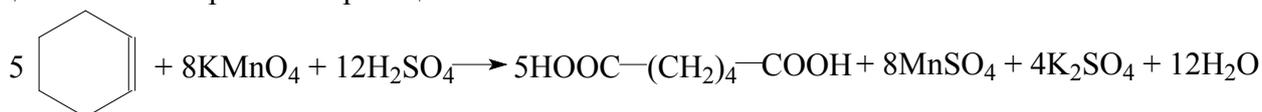


Ответ: **A** – метилциклопентен, **B** – 4-метилпентин-1, **C** – гексин-3, **X** – 3-метилпентандиовая кислота, **Y** – 3-метилбутановая кислота, **Z** – пропионовая кислота, неизвестный реагент – твердая щелочь.

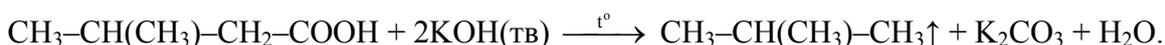
6.3. В каждом из трех углеводородов **A**, **B** и **C** массовая доля углерода составляет 87.8%. При действии подкисленного раствора перманганата калия углеводороды образуют соответственно вещества **X**, **Y** и **Z**. Вещество **X** под действием некоторого реагента превращаются в бутан, из вещества **Y** в этих условиях образуется метилпропан, а из вещества **Z** – этан. Установите возможное строение всех шести зашифрованных соединений, запишите уравнения протекающих реакций. **(20 баллов)**

$$x : y = \frac{87.8}{12} : \frac{12.2}{1} = 7.317 : 12.2 = 1 : 1.667 = 3 : 5$$

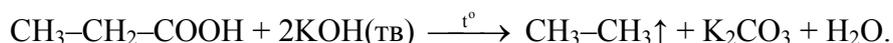
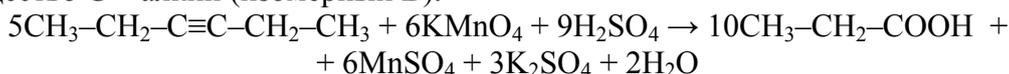
C_3H_5 – простейшая формула, а истинной формулой может быть C_6H_{10} . Тогда изомеры могут относиться к классам алкинов, алкадиенов или к циклоалкенам. Пусть вещество **A** – циклогексен. Уравнения реакций с ним:



B – изомерный циклогексену алкин. В нем тройная связь должна располагаться так, чтобы после реакции продукта реакции окисления с KOH мог получиться метилпропан:



Тогда вещество **C** – алкин (изомерный **B**):



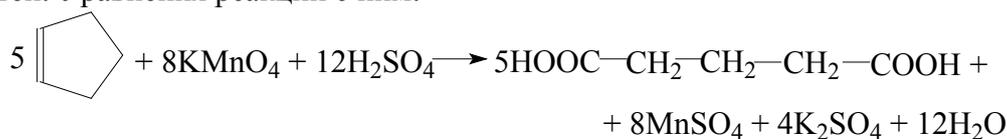
Ответ: **A** – циклогексен, **B** – 4-метилпентин-1, **C** – гексин-3, **X** – гександиовая кислота, **Y** – 3-метилбутановая кислота, **Z** – пропионовая кислота, неизвестный реагент – твердая щелочь.

6.4. В каждом из трех углеводородов **A**, **B** и **C** массовая доля углерода составляет 88.235%. При действии подкисленного раствора перманганата калия углеводороды образуют соответственно вещества **X**, **Y** и **Z**. Вещества **X** и **Y** под действием некоторого реагента превращаются в пропан, а из вещества **Z** в этих условиях образуется метан. Установите возможное строение всех шести зашифрованных соединений, запишите уравнения протекающих реакций. **(20 баллов)**

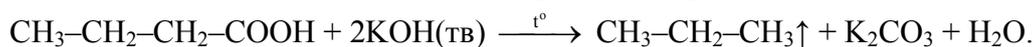
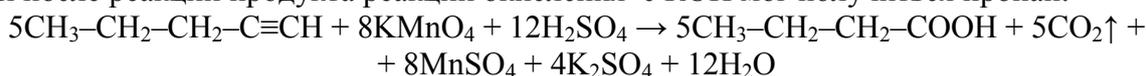
Решение. Из условия задачи можно предположить, что углеводороды **A**, **B** и **C** являются изомерами. Определим простейшую формулу C_xH_y :

$$x : y = \frac{88.235}{12} : \frac{11.765}{1} = 7.3529 : 11.765 = 1 : 1.6 = 5 : 8$$

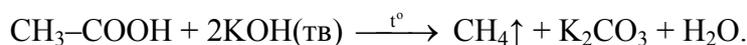
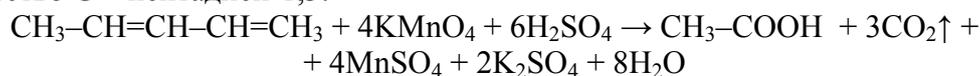
C_5H_8 – простейшая формула, она может соответствовать истинной. Тогда изомеры могут относиться к классам алкинов, алкадиенов или к циклоалкенам. Пусть вещество **A** – циклопентен. Уравнения реакций с ним:



B – изомерный циклопентену алкин. В нем тройная связь должна располагаться так, чтобы после реакции продукта реакции окисления с KOH мог получиться пропан:



Тогда вещество **C** – пентадиен-1,3:



Ответ: **A** – циклопентен, **B** – пентин-1, **C** – пентадиен-1,3, **X** – пентандиовая кислота, **Y** – бутановая кислота, **Z** – уксусная кислота, неизвестный реагент – твердая щелочь.

Задача 7

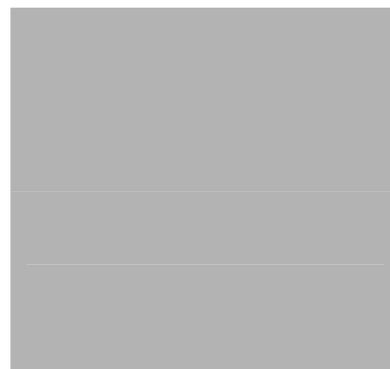
7.1. Для проведения химической олимпиады в школьной лаборатории заранее, за несколько дней до экспериментального тура, были подготовлены пробирки, стаканы, штативы, горелки. Также заранее для качественного анализа в открытые неподписанные пробирки для каждого участника были разлиты водные растворы ортофосфата натрия, сульфида натрия, карбоната натрия и хлорида натрия. Чтобы распознать растворы этих веществ, участникам были выданы в подписанных колбах растворы гидроксида бария и нитрата свинца, а также соляная кислота. Однако школьникам не удалось правильно определить содержимое пробирок.

Как, по мнению организаторов, предполагалось проводить качественное определение содержимого пробирок? Приведите уравнения реакций, кратко опишите наблюдаемые явления. Что помешало школьникам успешно справиться с заданием? (**20 баллов**)

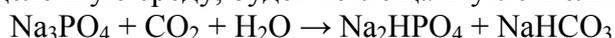
Решение. Организаторы олимпиады планировали следующую процедуру качественного анализа (представим ее в виде таблицы). Начинать рациональнее всего с испытания отобранных порций неизвестных растворов соляной кислотой – в двух случаях (Na_2S и Na_2CO_3) будут наблюдаться пузырьки газа, в двух других случаях реакции не протекают. После этого к растворам, в которых наблюдалось образование газа, можно добавить нитрат свинца, и по цвету осадка (белый или черный) однозначно определить растворенные вещества (реакции, относящиеся к описанным действиям, выделены жирным шрифтом). Затем к порциям оставшихся не определенными двух растворов можно прибавить нитрат свинца (в обоих случаях – белые осадки) и раствор гидроксида бария (белый осадок только в пробирке с фосфатом натрия). Таким образом, все четыре раствора однозначно определены.

	HCl	$Pb(NO_3)_2$	$Ba(OH)_2$
Na_3PO_4	–	$2Na_3PO_4 + 3Pb(NO_3)_2 \rightarrow Pb_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaNO_3$ образование белого осадка	$2Na_3PO_4 + 3Ba(OH)_2 \rightarrow Ba_3(PO_4)_2\downarrow + 6NaOH$ образование белого осадка

Na_2S	$\text{Na}_2\text{S} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{S}\uparrow + 2\text{NaCl}$ выделение пузырьков газа с характерным запахом	$\text{Na}_2\text{S} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbS}\downarrow + 2\text{NaNO}_3$ образование черного осадка	
Na_2CO_3	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow 2\text{NaCl} + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$ выделение пузырьков газа	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbCO}_3\downarrow + 2\text{NaNO}_3$ (или $\text{Pb}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2\downarrow$) образование белого осадка	
NaCl	–	$2\text{NaCl} + \text{Pb}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbCl}_2\downarrow + 2\text{NaNO}_3$ образование белого осадка	–



Ошибкой организаторов олимпиады явилось решение разлить приготовленные растворы в пробирки заранее, таким образом, растворы в течение нескольких дней содержались в открытых пробирках в контакте с воздухом. Ортофосфат натрия, имеющий из-за гидролиза сильнощелочную среду, будет поглощать углекислый газ из воздуха:



Это приведет к тому, что при испытании соляной кислотой в этой пробирке также будут наблюдаться пузырьки газа:



Протекание этой реакции сделает трудноразличимыми растворы ортофосфата и карбоната натрия.

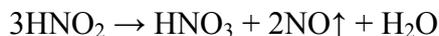
7.2. Для проведения химической олимпиады в школьной лаборатории заранее, за несколько дней до экспериментального тура, были подготовлены пробирки, стаканы, штативы, горелки. Также заранее для качественного анализа в открытые неподписанные пробирки для каждого участника были разлиты водные растворы нитрата свинца, гидроксида натрия, гидрофосфата калия, а также подкисленный серной кислотой раствор нитрита натрия. Чтобы распознать растворы этих веществ, участникам были выданы растворы гидроксида бария, иодида калия и хлорида аммония в подписанных колбах. Однако школьникам не удалось правильно определить содержимое пробирок.

Как, по мнению организаторов, предполагалось проводить качественное определение содержимого пробирок? Приведите уравнения реакций, кратко опишите наблюдаемые явления. Что помешало школьникам успешно справиться с заданием? **(20 баллов)**

Решение. Организаторы олимпиады планировали следующую процедуру качественного анализа (представим ее в виде таблицы). Можно начинать распознавание с добавления гидроксида бария к отобраным порциям растворов. Осадок не образуется лишь в одном случае – с NaOH. Этот раствор можно дополнительно испытать раствором хлорида аммония, зафиксировав образование пузырьков газа – аммиака. К оставшимся трем растворам можно прилить растворы KI и NH₄Cl и наблюдать в случае нитрата свинца образование желтого и белого осадков, в случае подкисленного раствора нитрита натрия – образование темного осадка и газа при взаимодействии с KI. Гидрофосфат калия в обоих случаях не даст признаков реакции. Таким образом, все четыре неизвестных раствора однозначно определены.

	Ba(OH)₂	KI	NH₄Cl
Pb(NO₃)₂	$\text{Pb(NO}_3)_2 + \text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{Pb(OH)}_2\downarrow + \text{Ba(NO}_3)_2$ образование белого осадка	$2\text{KI} + \text{Pb(NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbI}_2\downarrow + 2\text{KNO}_3$ образование желтого осадка («золотой дождь»)	$2\text{NH}_4\text{Cl} + \text{Pb(NO}_3)_2 \rightarrow \text{PbCl}_2\downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ образование белого осадка $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NaOH} \rightarrow \text{NH}_3\uparrow + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$ выделение пузырьков газа с характерным запахом
NaOH	–	–	
K₂HPO₄	$2\text{K}_2\text{HPO}_4 + 3\text{Ba(OH)}_2 \rightarrow \text{Ba}_3(\text{PO}_4)_2\downarrow + 4\text{KOH} + 2\text{H}_2\text{O}$ образование белого осадка	–	–
NaNO₂ + H₂SO₄	$\text{Ba(OH)}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{H}_2\text{O}$ образование белого осадка	$2\text{KI} + 2\text{NaNO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2\downarrow + 2\text{NO}\uparrow + \text{K}_2\text{SO}_4 + \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ образование темного осадка, выделение газа, быстро бурящего на воздухе ($2\text{NO} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{NO}_2$)	–

Ошибкой организаторов олимпиады явилось решение разлить приготовленные растворы в пробирки заранее, таким образом, растворы в течение нескольких дней содержались в открытых пробирках в контакте с воздухом. За это время неустойчивая азотистая кислота, образующаяся в растворе нитрита натрия, разложится:



Поэтому не будет наблюдаться реакция этого раствора с KI, и растворы гидрофосфата калия и нитрита натрия окажутся трудноразличимыми.

7.3. Для проведения химической олимпиады в школьной лаборатории заранее, за несколько дней до экспериментального тура, были подготовлены пробирки, стаканы, штативы, горелки. Также заранее для качественного анализа в открытые неподписанные пробирки для каждого участника были разлиты водные растворы сульфида аммония, хлорида натрия, глицерина и нитрата аммония. Чтобы распознать растворы этих веществ, участникам были выданы растворы гидроксида натрия, нитрата серебра и нитрата меди в подписанных колбах. Однако школьникам не удалось правильно определить содержимое пробирок.

Как, по мнению организаторов, предполагалось проводить качественное определение содержимого пробирок? Приведите уравнения реакций, кратко опишите наблюдаемые явления. Что помешало школьникам успешно справиться с заданием? **(20 баллов)**

Решение. Организаторы олимпиады планировали следующую процедуру качественного анализа (представим ее в виде таблицы). Начать определение можно, добавив к порциям исследуемых растворов щелочь. Растворы разделяются на две группы – в двух растворах происходит выделение газа (сульфид и нитрат), в двух других нет. Первые два раствора однозначно различаем при помощи нитрата серебра (черный осадок в случае сульфида аммония). Оставшиеся два раствора можно определить по реакциям с нитратом серебра и щелочным раствором $\text{Cu(NO}_3)_2$. Таким образом, неизвестные растворы однозначно определены.

	NaOH	AgNO₃	Cu(NO₃)₂
(NH₄)₂S	$(\text{NH}_4)_2\text{S} + 2\text{NaOH} \rightarrow 2\text{NH}_3\uparrow + \text{Na}_2\text{S}$ выделение пузырьков газа с характерным запахом	$(\text{NH}_4)_2\text{S} + 2\text{AgNO}_3 \rightarrow \text{Ag}_2\text{S}\downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ образование черного осадка	$(\text{NH}_4)_2\text{S} + \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \rightarrow \text{CuS}\downarrow + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$ образование черного осадка Образование в растворе комплексного соединения василькового цвета при реакции со свежееосажденным гидроксидом меди $(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + 2\text{NaNO}_3)$
C₃H₈O₃	–	–	
NaCl	–	$\text{NaCl} + \text{AgNO}_3 \rightarrow \text{AgCl}\downarrow + \text{NaNO}_3$ образование белого осадка	–
NH₄NO₃	$\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{NaOH} \rightarrow \text{NH}_3\uparrow + \text{NaNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ выделение пузырьков газа с характерным запахом	–	–

Ошибкой организаторов олимпиады явилось решение разлить приготовленные растворы в пробирки заранее, таким образом, растворы в течение нескольких дней содержались в открытых пробирках в контакте с воздухом. Раствор сульфида аммония разложится, сероводород улетучится, в пробирке останется раствор аммиака.



Соответственно, этот раствор не даст черных осадков с нитратами серебра и меди, и растворы сульфида аммония и нитрата аммония окажутся неразличимыми.

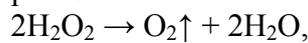
7.4. Для проведения экспериментального тура химической олимпиады в школьной лаборатории заранее, за несколько дней до тура, были подготовлены пробирки, стаканы, штативы, горелки. Также заранее для качественного анализа в открытые неподписанные пробирки для каждого участника были разлиты водные растворы пероксида водорода, карбоната натрия, нитрата железа(III) и сульфата железа(II). Чтобы распознать растворы этих веществ, участникам были выданы реактивы в подписанных емкостях: растворы перманганата калия и иодида натрия, соляная кислота, а также оксид марганца(IV). Однако школьникам не удалось правильно определить содержимое пробирок.

Как, по мнению организаторов, предполагалось проводить качественное определение содержимого пробирок? Приведите уравнения реакций, кратко опишите наблюдаемые явления. Что помешало школьникам успешно справиться с заданием? **(20 баллов)**

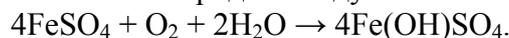
Решение. Организаторы олимпиады планировали следующую процедуру качественного анализа (представим ее в виде таблицы). Сначала порции всех четырех растворов можно испытать с помощью порошка MnO₂. это вещество является катализатором разложения перекиси, и мы будем наблюдать образование пены. Затем оставшиеся три раствора надо испытать соляной кислотой и определить карбонат натрия, по выделению пузырьков углекислого газа. Оставшиеся два раствора можно однозначно определить по их реакциям с подкисленным соляной кислотой перманганатом и с иодидом натрия. Таким образом, все четыре раствора определены.

	MnO_2	HCl	KMnO_4	NaI
H_2O_2	$2\text{H}_2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MnO}_2} \rightarrow \text{O}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ бурное выделение пузырьков газа			
Na_2CO_3	—	$\text{Na}_2\text{CO}_3 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{CO}_2\uparrow + 2\text{NaCl}$ выделение пузырьков газа	—	—
$\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$	—	—	—	$2\text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 6\text{NaI} \rightarrow 2\text{FeI}_2 + \text{I}_2\downarrow + 6\text{NaNO}_3$ образование темного осадка
FeSO_4	—	—	$15\text{FeSO}_4 + 3\text{KMnO}_4 + 24\text{HCl} \rightarrow 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 5\text{FeCl}_3 + 3\text{KCl} + 3\text{MnCl}_2 + 12\text{H}_2\text{O}$ обесцвечивание раствора перманганата	—

Ошибкой организаторов олимпиады явилось решение разлить приготовленные растворы в пробирки заранее, таким образом, растворы в течение нескольких дней содержались в открытых пробирках на свету в контакте с воздухом. За это время под действием света перекись водорода разложилась:



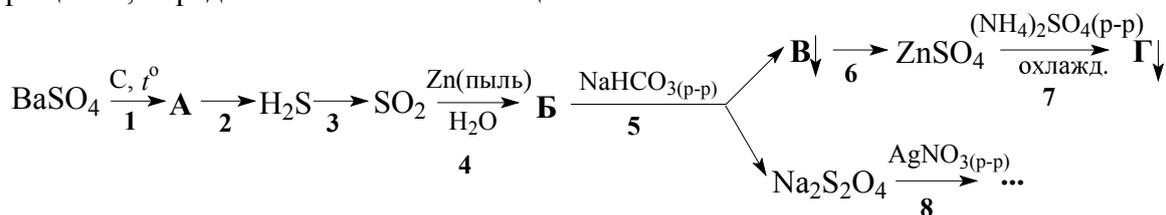
а двухвалентное железо окислилось кислородом воздуха:



В результате растворы солей железа становятся неразличимыми, кроме того, становится невозможным определение перекиси при помощи диоксида марганца.

Задание 8

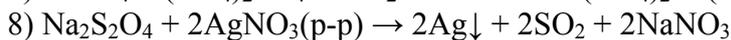
8.1. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений, определите неизвестные вещества:



(20 баллов)

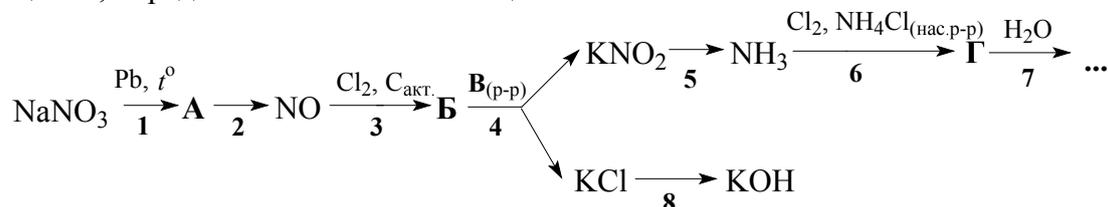
Решение.

- $\text{BaSO}_4 + 4\text{C} \xrightarrow{t^\circ} \text{BaS} + 4\text{CO}\uparrow$
- $\text{BaS} + 2\text{HNO}_3(\text{разб.}) \rightarrow \text{Ba}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S}\uparrow$
- $2\text{H}_2\text{S} + 3\text{O}_2(\text{изб.}) \xrightarrow{t^\circ} 2\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{SO}_2 + \text{Zn} \xrightarrow{\text{H}_2\text{O}} \text{ZnS}_2\text{O}_4$
- $\text{ZnS}_2\text{O}_4 + 2\text{NaHCO}_3(\text{p-p}) \rightarrow \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4 + \text{ZnCO}_3\downarrow + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- $\text{ZnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{p-p}) \rightarrow \text{ZnSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$



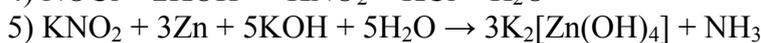
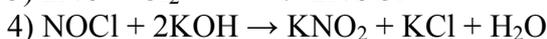
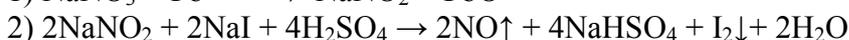
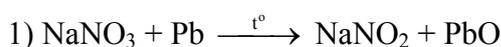
Ответ: А – BaS, Б – ZnS₂O₄, В – ZnCO₃, Г – (NH₄)₂Zn(SO₄)₂ · 6H₂O.

8.2. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений, определите неизвестные вещества:



(20 баллов)

Решение.

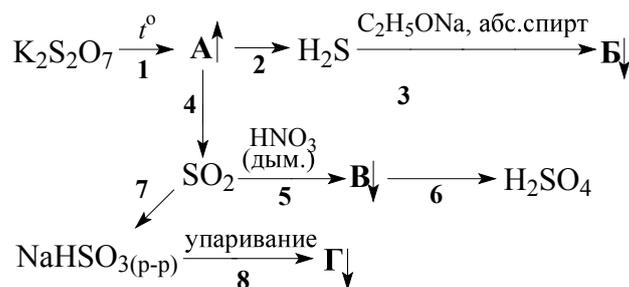


⚡



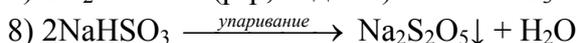
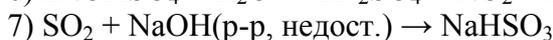
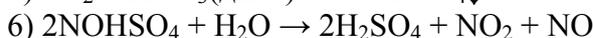
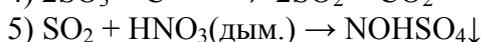
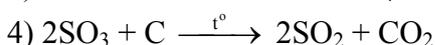
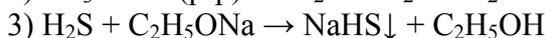
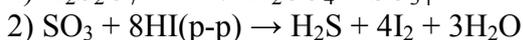
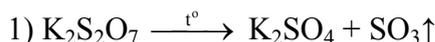
Ответ: А – NaNO₂, Б – NOCl, В – KOH, Г – NCl₃.

8.3. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений, определите неизвестные вещества:



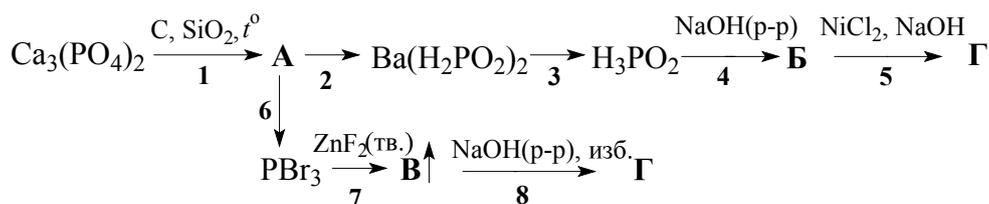
(20 баллов)

Решение.



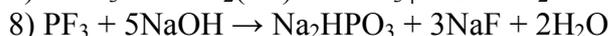
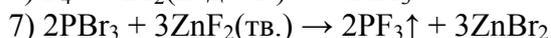
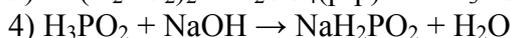
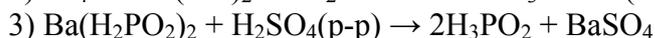
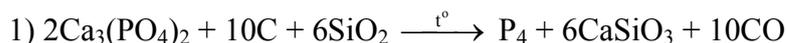
Ответ: А – SO₃, Б – NaHS, В – NOHSO₄, Г – Na₂S₂O₅.

8.4. Приведите уравнения восьми реакций, соответствующих следующей схеме превращений, определите неизвестные вещества:



(20 баллов)

Решение.



Ответ: А – P₄, Б – NaH₂PO₂, В – PF₃, Г – Na₂HPO₃.

Отборочный тур НОЯБРЬ, 5-9 классы

Задание 1

1.1. Массовая доля водорода в кристаллогидрате гидрофосфата натрия находится между 5.4 и 5.8%. Определите формулу кристаллогидрата. (8 баллов)

Решение. Пусть формула соединения Na₂HPO₄·nH₂O. Используя массовую долю водорода, записываем неравенство для n:

$$0.054 < \frac{(2n+1) \cdot 1}{142+18n} < 0.058,$$

откуда 6.49 < n < 7.57. Единственное целочисленное решение: n = 7.

Ответ. Na₂HPO₄ · 7H₂O.

1.2. Массовая доля водорода в кристаллогидрате сульфата железа(II) находится между 3.0 и 4.0%. Определите формулу кристаллогидрата. (8 баллов)

Решение. Пусть формула соединения FeSO₄·nH₂O. Используя массовую долю водорода, записываем неравенство для n:

$$0.03 < \frac{2n \cdot 1}{152+18n} < 0.04.$$

откуда 3.12 < n < 4.75. Единственное целочисленное решение: n = 4.

Ответ. FeSO₄ · 4H₂O.

1.3. Массовая доля водорода в безводном гидрофосфате металла находится между 0.8 и 0.9%. Определите формулу кристаллогидрата. (8 баллов)

Решение. Формула соединения – $MHPO_4$ (M – двухвалентный металл) или M_2HPO_4 (M – одновалентный металл). Обозначим атомную массу металла X и используя массовую долю водорода, записываем два возможных неравенства для X .

$$0.008 < \frac{1}{X + 96} < 0.009 \quad \text{или} \quad 0.008 < \frac{1}{2X + 96} < 0.009.$$

В первом случае находим: $15.1 < X < 29$, во втором случае: $7.6 < X < 14.5$. В первом случае решение $X = 24$ ($M = Mg$), во втором случае химически правильного решения нет.

Ответ. $MgHPO_4$.

1.4. Массовая доля кислорода в кристаллогидрате сульфата меди находится между 60 и 62%. Определите формулу кристаллогидрата. (8 баллов)

Решение. Пусть формула соединения $CuSO_4 \cdot nH_2O$. Используя массовую долю кислорода, записываем неравенство для n :

$$0.60 < \frac{16 \cdot (4 + n)}{160 + 18n} < 0.62.$$

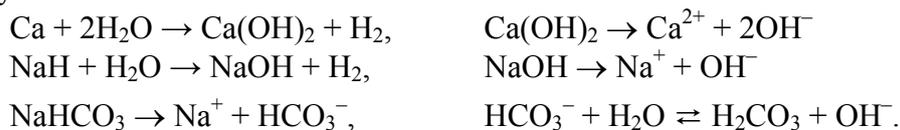
откуда $6.15 < n < 7.27$. Единственное целочисленное решение: $n = 7$.

Ответ. $CuSO_4 \cdot 7H_2O$.

Задание 2

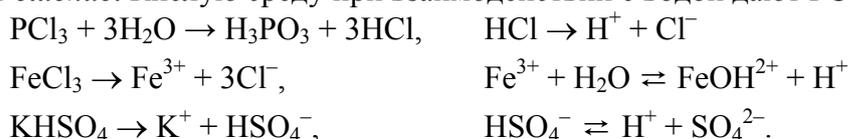
2.1. Какие из перечисленных веществ при добавлении к воде образуют раствор с $pH > 7$: Fe, Ca, NaH, $NaNO_3$, $NaHCO_3$, $NaHSO_4$? Напишите молекулярные или ионные уравнения реакций, подтверждающие Ваш ответ. (10 баллов)

Решение. Щелочную среду при взаимодействии с водой дают Ca, NaH, $NaHCO_3$. В первых двух случаях в растворе образуется щелочь, в третьем случае идет гидролиз по аниону.



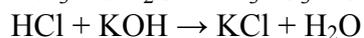
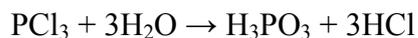
2.2. Какие из перечисленных веществ при добавлении к воде образуют раствор с $pH < 7$: $LiCl$, PCl_3 , SiO_2 , $FeCl_3$, $KHCO_3$, $KHSO_4$? Напишите молекулярные или ионные уравнения реакций, подтверждающие Ваш ответ. (10 баллов)

Решение. Кислую среду при взаимодействии с водой дают PCl_3 , $FeCl_3$, $KHSO_4$.

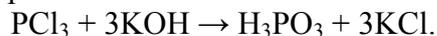


2.3. Некоторое вещество реагирует с гидроксидом калия в соотношении 1:3, при этом образуется раствор, имеющий кислую среду. Определите возможную формулу вещества, напишите уравнение реакции с гидроксидом калия и объясните, почему среда полученного раствора – кислая. (10 баллов)

Решение. Возможный вариант – PCl_3 . В воде это вещество полностью гидролизуеться до H_3PO_3 и HCl . Последняя кислота – сильная, и именно она в первую очередь взаимодействует с KOH :



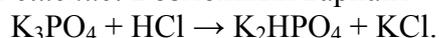
Суммарно:



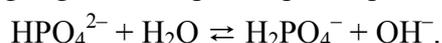
Фосфористая кислота H_3PO_3 создает в растворе кислую среду.

2.4. Некоторая соль реагирует с соляной кислотой в соотношении 1:1, при этом образуется раствор, имеющий щелочную среду. Определите возможную формулу соли, напишите уравнение реакции с соляной кислотой и объясните, почему среда полученного раствора – щелочная. **(10 баллов)**

Решение. Возможный вариант – K_3PO_4 .



Гидрофосфат-ион в растворе гидролизуеться и создает слабощелочную среду:



Задание 3

3.1. Фторид неизвестного металла, представляющий собой летучее твердое вещество, содержит 32.4% фтора по массе. При небольшом нагревании вещество возгоняется, а плотность полученного газа равна 12.5 г/л при давлении 1 атм и температуре 70°C. Установите формулу фторида. **(10 баллов)**

Решение. По плотности найдем молярную массу:

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{12.5 \cdot 8.314 \cdot 343}{101.3} = 352 \text{ г/моль.}$$

Содержание фтора в одном моле фторида:

$$m(\text{F}) = 352 \cdot 0.324 = 114 \text{ г, т.е. 6 моль. Масса металла в одном моле фторида:}$$

$$352 - 114 = 238 \text{ г,}$$

Это – уран. Формула фторида: UF_6 .

Ответ. UF_6 .

3.2. Фторид неизвестного металла, представляющий собой желтые кристаллы, содержит 37.5% фтора по массе. При небольшом нагревании вещество плавится, а затем испаряется. Плотность полученного газа равна 10.2 г/л при давлении 1 атм и температуре 90°C. Установите формулу фторида. **(10 баллов)**

Решение. По плотности найдем молярную массу:

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{10.2 \cdot 8.314 \cdot 363}{101.3} = 304 \text{ г/моль.}$$

Содержание фтора в одном моле фторида:

$$m(\text{F}) = 304 \cdot 0.375 = 114 \text{ г, т.е. 6 моль. Масса металла в одном моле фторида:}$$

$$304 - 114 = 190 \text{ г,}$$

Это – осмий. Формула фторида: OsF_6 .

Ответ. OsF_6 .

3.3. Хлорид неизвестного металла, представляющий собой белый гигроскопичный порошок, содержит 79.8% хлора по массе. При нагревании вещество возгоняется, а плотность полученного газа равна 6.88 г/л при давлении 1 атм и температуре 200°C. Установите формулу вещества в газовой фазе. **(10 баллов)**

Решение. По плотности найдем молярную массу хлорида:

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{6.88 \cdot 8.314 \cdot 473}{101.3} = 267 \text{ г/моль.}$$

Содержание хлора в одном моле хлорида:

$$m(\text{Cl}) = 267 \cdot 0.798 = 213 \text{ г, т.е. 6 моль. Масса металла в одном моле хлорида:}$$

$$267 - 213 = 54 \text{ г. Шестивалентного металла с такой молярной массой нет, приходится}$$

брать 2 моля металла с вдвое меньшей молярной массой, т.е. 27 г/моль. Это – алюминий. Формула хлорида: Al_2Cl_6 .

Ответ. Al_2Cl_6 .

3.4. Хлорид неизвестного металла – вещество молекулярного строения, содержит 60.4% хлора по массе. При температуре 250°C и нормальном атмосферном давлении представляет собой газ с плотностью 8.21 г/л. Установите формулу хлорида. **(10 баллов)**

Решение. По плотности найдем молярную массу хлорида:

$$M = \frac{\rho RT}{P} = \frac{8.21 \cdot 8.314 \cdot 523}{101.3} = 352.4 \text{ г/моль.}$$

Содержание хлора в одном моле хлорида:

$$m(\text{Cl}) = 352.4 \cdot 0.604 = 213 \text{ г, т.е. 6 моль. Масса металла в одном моле хлорида:}$$

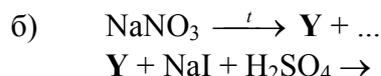
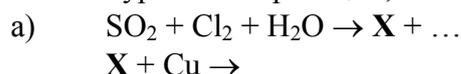
$$352.4 - 213 = 139.4 \text{ г. Шестивалентного металла с такой молярной массой нет,}$$

приходится брать 2 моля металла с вдвое меньшей молярной массой, т.е. 69.7 г/моль, это – галлий. Формула хлорида: Ga_2Cl_6 .

Ответ. Ga_2Cl_6 .

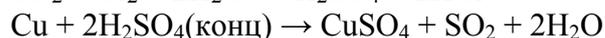
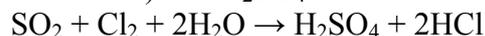
Задание 4

4.1. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

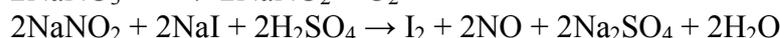
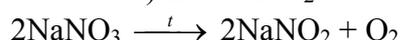


Определите неизвестные вещества. **(16 баллов)**

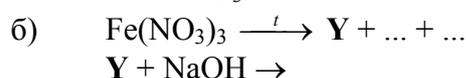
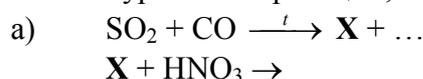
Решение. а) $\mathbf{X} - \text{H}_2\text{SO}_4$:



б) $\mathbf{Y} - \text{NaNO}_2$:

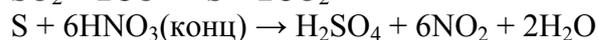
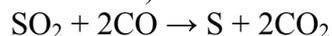


4.2. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:



Определите неизвестные вещества. **(16 баллов)**

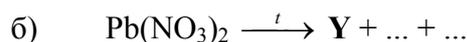
Решение. а) X – S:



б) Y – NO₂:

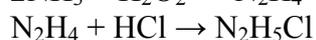
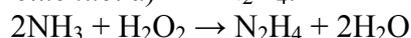


4.3. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

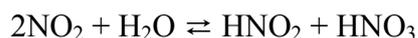


Определите неизвестные вещества. (16 баллов)

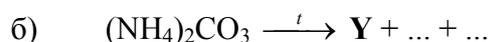
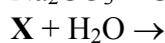
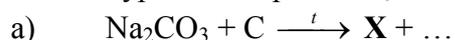
Решение. а) X – N₂H₄:



б) Y – NO₂:

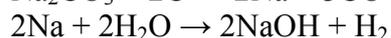
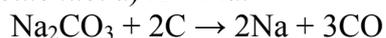


4.4. Напишите уравнения реакций, соответствующих схемам превращений:

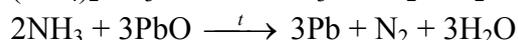


Определите неизвестные вещества. (16 баллов)

Решение. а) X – Na:



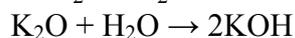
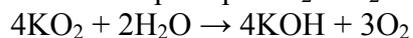
б) Y – NH₃:



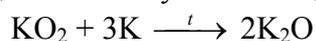
Задание 5

5.1. Два элемента – металл и неметалл – образуют химические соединения состава A_xB_y и A_yB_x . Приведите пример таких соединений. С каким веществом реагируют оба соединения? Напишите уравнения реакций. Предложите способ превращения одного из этих соединений в другое. (16 баллов)

Решение. Пример: KO_2 и K_2O . Оба вещества реагируют с водой:

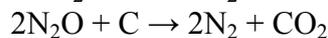
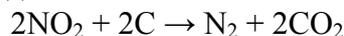


Оксид можно получить из надпероксида нагреванием с избытком калия:

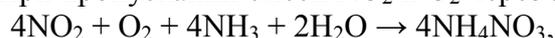


5.2. Два элемента-неметалла образуют химические соединения состава A_xB_y и A_yB_x . Приведите пример таких соединений. С каким веществом реагируют оба соединения? Напишите уравнения реакций. Предложите способ превращения одного из этих соединений в другое. (16 баллов)

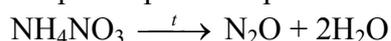
Решение. Пример: NO_2 и N_2O . Оба вещества – сильные окислители и реагируют с углеродом:



При пропускании смеси NO_2 и O_2 через аммиачную воду образуется нитрат аммония:

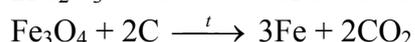
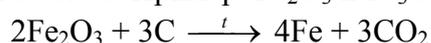


который при нагревании разлагается:

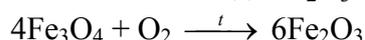


5.3. Два элемента – металл и неметалл – образуют химические соединения состава A_xB_y и $A_{x+1}B_{y+1}$. Приведите пример таких соединений. С каким веществом реагируют оба соединения? Напишите уравнения реакций. Предложите способ превращения одного из этих соединений в другое. (16 баллов)

Решение. Пример: Fe_2O_3 и Fe_3O_4 . Оба вещества реагируют с углеродом:

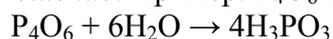


Fe_3O_4 можно окислить до Fe_2O_3 :



5.4. Два элемента-неметалла образуют химические соединения состава A_xB_y и A_xB_{y+4} . Приведите пример таких соединений. С каким веществом реагируют оба соединения? Напишите уравнения реакций. Предложите способ превращения одного из этих соединений в другое. (16 баллов)

Решение. Пример: P_4O_6 и P_4O_{10} . Оба вещества реагируют с водой:



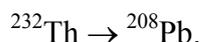
P_4O_6 можно окислить до P_4O_{10} :



Задание 6

6.1. Горная порода содержит 508 г тория-232 и 100 г свинца-208, который образовался из тория в результате цепочки радиоактивных распадов. Сколько процентов тория, изначально содержавшегося в породе, распалось? Сколько литров гелия (н. у.) при этом образовалось? (20 баллов)

Решение. Цепочка распадов тория-232 заканчивается устойчивым нуклидом свинец-208:



$$v(^{208}\text{Pb}) = 100 / 208 = 0.481 \text{ моль},$$

$$v_{\text{расп}}(^{232}\text{Th}) = v(^{208}\text{Pb}) = 0.481 \text{ моль},$$

$$m_{\text{расп}}(^{232}\text{Th}) = 0.481 \cdot 232 = 111.5 \text{ г}.$$

Изначально в породе содержалось $508 + 111.5 = 619.5$ г тория-232. Процент распавшегося изотопа: $111.5 / 619.5 = 0.180 = 18.0\%$.

Цепочка распадов включает α - и β -распады. Массовое число меняется только при α -распаде. Число α -распадов: $(232 - 208) / 4 = 6$.

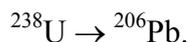
$$v(\text{He}) = 6 \cdot 0.481 = 2.886,$$

$$V(\text{He}) = 2.886 \cdot 22.4 = 64.6 \text{ л.}$$

Ответ. 18.0%. 64.6 л He.

6.2. Горная порода содержит 200 г урана-238 и 64 г свинца-206, который образовался из урана в результате цепочки радиоактивных распадов. Сколько процентов урана, изначально содержавшегося в породе, распалось? Сколько литров гелия (н. у.) при этом образовалось? **(20 баллов)**

Решение. Цепочка распадов урана-238 заканчивается устойчивым нуклидом свинец-206:



$$v({}^{206}\text{Pb}) = 64 / 206 = 0.311 \text{ моль,}$$

$$v_{\text{расп}}({}^{238}\text{U}) = v({}^{206}\text{Pb}) = 0.311 \text{ моль,}$$

$$m_{\text{расп}}({}^{238}\text{U}) = 0.311 \cdot 238 = 73.9 \text{ г.}$$

Изначально в породе содержалось $200 + 73.9 = 273.9$ г урана-238. Процент распавшегося изотопа: $73.9 / 273.9 = 0.270 = 27.0\%$.

Цепочка распадов включает α - и β -распады. Массовое число меняется только при α -распаде. Число α -распадов: $(238 - 206) / 4 = 8$.

$$v(\text{He}) = 8 \cdot 0.311 = 2.49,$$

$$V(\text{He}) = 2.49 \cdot 22.4 = 55.7 \text{ л.}$$

Ответ. 27.0%. 55.7 л He.

6.3. Горная порода содержит 50 г урана-235, период полураспада которого составляет 700 млн лет. Сколько граммов урана-235 останется в породе через 1.4 млрд лет? Сколько литров гелия (н. у.) при этом образуется, если цепочка радиоактивных распадов, начинающаяся с урана-235, заканчивается свинцом-207? **(20 баллов)**

Решение. 1.4 млрд лет – это 2 периода полураспада, поэтому через 1.4 млрд лет останется $(1/2)^2 = 1/4$ исходного количества урана, т.е. 12.5 г. За это время распадется

$$50 - 12.5 = 37.5 \text{ г урана-235.}$$



$$v_{\text{расп}}({}^{235}\text{U}) = 37.5 / 235 = 0.160 \text{ моль.}$$

Цепочка распадов включает α - и β -распады. Массовое число меняется только при α -распаде. Число α -распадов: $(235 - 207) / 4 = 7$.

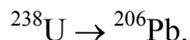
$$v(\text{He}) = 7 \cdot 0.160 = 1.12 \text{ моль,}$$

$$V(\text{He}) = 1.12 \cdot 22.4 = 25.0 \text{ л.}$$

Ответ. 12.5 г ${}^{235}\text{U}$. 25.0 л He.

6.4. Образец минерала клевета по данным химического анализа содержит 15.0 г урана-238 и 0.672 г гелия, который образовался из урана в результате цепочки радиоактивных распадов, заканчивающейся свинцом-206. Сколько процентов урана-238, изначально содержавшегося в породе, распалось? Сколько граммов свинца-206 содержится в образце? Считайте, что гелий из минерала не улетучивался, а свинец образовался только при распаде урана. **(20 баллов)**

Решение. Цепочка распадов урана-238 заканчивается устойчивым нуклидом свинец-206:



Цепочка распадов включает α - и β -распады. Массовое число меняется только при α -распаде. Число α -распадов: $(238 - 206) / 4 = 8$.

$$v(\text{He}) = 0.672/4 = 0.168,$$

$$v_{\text{расп}}(^{238}\text{U}) = v(\text{He}) / 8 = 0.021 \text{ моль},$$

$$m_{\text{расп}}(^{238}\text{U}) = 0.021 \cdot 238 = 5.0 \text{ г}.$$

Изначально в породе содержалось $15.0 + 5.0 = 20.0$ г урана-238. Процент распавшегося изотопа: $5.0 / 25.0 = 0.25 = 25\%$.

$$v(^{206}\text{Pb}) = v_{\text{расп}}(^{238}\text{U}) = 0.021 \text{ моль},$$

$$m(^{206}\text{Pb}) = 0.021 \cdot 206 = 4.33 \text{ г}.$$

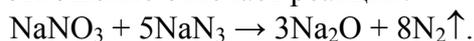
Ответ. 25.0%. 4.33 г ^{206}Pb .

Задание 7

7.1. Оксид натрия – довольно редкое соединение. Его можно получить прокаливанием смеси двух солей натрия, при этом дополнительно образуется только азот. На 10.0 г оксида натрия выделяется 9.63 л (н.у.) азота. Установите формулы солей и напишите уравнение реакции. Можно ли получить оксид натрия непосредственно из натрия? Если да, то приведите уравнение реакции. **(20 баллов)**

Решение. $v(\text{Na}_2\text{O}) : v(\text{N}_2) = (10.0/62) : (9.63/22.4) = 1 : 2.67 = 3 : 8$.

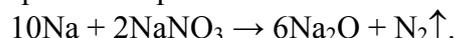
Это соотношение отвечает реакции:



Оксид натрия можно получить из натрия взаимодействием с пероксидом натрия:



или нитратом натрия:



7.2. Бинарное вещество **X** – бесцветная, дымящая жидкость. 27.5 г **X** испарили и пары пропустили над раскаленным углем. После охлаждения продуктов реакции получили раствор массой 29.3 г, содержащий 21.2% (по массе) простого вещества **Y**. Определите формулы веществ **X** и **Y**, ответ подтвердите расчетом. Напишите уравнения: реакции получения **Y** из **X** и реакций взаимодействия **X** и **Y** с раствором щелочи. **(20 баллов)**

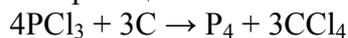
Решение. Бесцветная дымящая жидкость должна состоять из двух неметаллов. Один из них с углеродом образует растворитель, это – сера (с углеродом дает CS_2) или хлор (превращается в CCl_4). Второй элемент – **Y**.

$$m(\text{Y}) = 29.3 \cdot 0.212 = 6.2 \text{ г}.$$

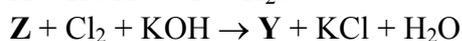
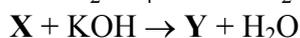
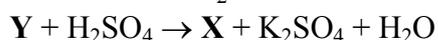
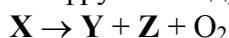
Вещество **X** имеет состав Y_2S_n или YCl_n и содержит 6.2 г **Y** и $27.5 - 6.2 = 21.3$ г S или Cl.

Простой проверкой можно убедиться, что **Y** – P (P_4), **X** – PCl_3 .

Уравнения реакции:

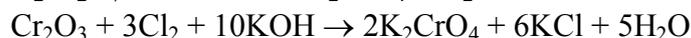
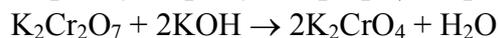


7.3. Расшифруйте следующую схему превращений:

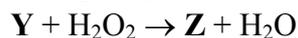
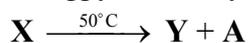


Вещества **X**, **Y** и **Z** содержат один и тот же элемент – *3d*-металл. Запишите формулы веществ **X**, **Y**, **Z** и напишите полные уравнения всех реакций. **(20 баллов)**

Решение. X – K₂Cr₂O₇, Y – K₂CrO₄, Z – Cr₂O₃.

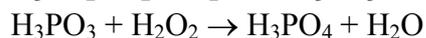
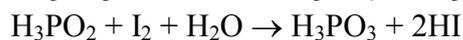
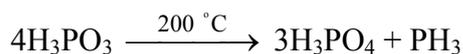
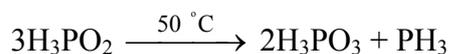


7.4. Расшифруйте следующую схему превращений:



Вещества X, Y и Z – кислоты разной основности. Все они, а также вещество A содержат один и тот же элемент III периода. Запишите формулы веществ X, Y, Z, A и напишите полные уравнения всех реакций. (20 баллов)

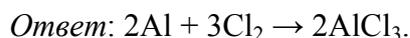
Решение. A – PH₃, X – H₃PO₂, Y – H₃PO₃, Z – H₃PO₄.



Отборочный тур ДЕКАБРЬ, 5-9 классы

Задание 1

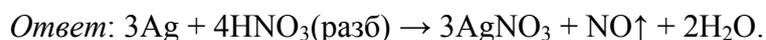
1.1. В окислительно-восстановительной реакции частица-окислитель принимает 2 электрона, а частица-восстановитель отдает 3 электрона. Приведите пример такой реакции, составьте электронный или электронно-ионный баланс и полное уравнение реакции. (8 баллов)



1.2. В окислительно-восстановительной реакции частица-окислитель принимает 6 электронов, а частица-восстановитель отдает 2 электрона. Приведите пример такой реакции, составьте электронный или электронно-ионный баланс и полное уравнение реакции. (8 баллов)



1.3. В окислительно-восстановительной реакции частица-окислитель принимает 3 электрона, а частица-восстановитель отдает 1 электрон. Приведите пример такой реакции, составьте электронный или электронно-ионный баланс и полное уравнение реакции. (8 баллов)



1.4. В окислительно-восстановительной реакции частица-окислитель принимает 8 электронов, а частица-восстановитель отдает 3 электрона. Приведите пример такой реакции, составьте электронный или электронно-ионный баланс и полное уравнение реакции. **(8 баллов)**



Задание 2

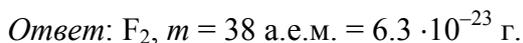
2.1. Молекула неизвестного вещества содержит столько же электронов, сколько ион кальция Ca^{2+} . Найдите самую легкую из таких молекул. Напишите ее формулу и рассчитайте массу в граммах и в атомных единицах массы. **(10 баллов)**



2.2. Молекула неизвестного вещества содержит столько же электронов, сколько ион алюминия Al^{3+} . Найдите самую легкую из таких молекул. Напишите ее формулу и рассчитайте массу в граммах и в атомных единицах массы. **(10 баллов)**



2.3. Молекула неизвестного вещества содержит столько же электронов, сколько хлорид-ион. Найдите самую тяжелую из таких молекул. Напишите ее формулу и рассчитайте массу в граммах и в атомных единицах массы. **(10 баллов)**



2.4. Молекула неизвестного вещества содержит столько же электронов, сколько нитрит-ион. Найдите самую легкую из таких молекул. Напишите ее формулу и рассчитайте массу в граммах и в атомных единицах массы. **(10 баллов)**



Задания 3

3.1. При длительном прокаливании 45.0 г кристаллогидрата нитрата двухвалентного металла получено 16.2 г твердого остатка, представляющего собой оксид. Определите состав кристаллогидрата, приведите расчеты. **(12 баллов)**



3.2. При длительном нагревании 20.7 г кристаллогидрата карбоната двухвалентного металла происходит полное обезвоживание и образуется 12.6 г безводной соли, которая при дальнейшем прокаливании превращается в 6.0 г твердого остатка, представляющего собой оксид. Определите состав исходного кристаллогидрата, приведите расчеты. **(12 баллов)**



3.3. При длительном нагревании 60.0 г кристаллогидрата нитрата трехвалентного металла получено 11.4 г твердого остатка, представляющего собой оксид. Определите состав исходного кристаллогидрата, приведите расчеты. **(12 баллов)**

Ответ: $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$.

3.4. При длительном прокаливании 98.5 г основного карбоната двухвалентного металла образовался твердый остаток массой 50.0 г, представляющий собой оксид. Определите формулу исходной соли, если известно, что число атомов металла в ней на 25% больше числа атомов углерода. Приведите расчеты. **(12 баллов)**

Ответ: $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$.

Задание 4

4.1. В атмосфере бесцветного газа **A** сгорает простое вещество **B**, при этом образуются два газообразных вещества – сложное (**D**) и простое (**E**). Вещества **D** и **E** входят в состав воздуха, оба они способны при нагревании реагировать с магнием. Напишите формулы веществ **A**, **B**, **D**, **E** и уравнения всех перечисленных реакций. **(16 баллов)**

Ответ: **A** – N_2O (принимается также NO), **B** – C , **D** – CO_2 , **E** – N_2 .

4.2. Серебристо-белый металл **A** реагирует с концентрированной азотной кислотой с образованием бесцветного раствора вещества **B**, из которого при действии раствора поваренной соли осаждается белое вещество **D**. Вещество **D** при облучении светом постепенно превращается в **A**, а при действии аммиака образует раствор вещества **E**. Напишите формулы веществ **A**, **B**, **D**, **E** и уравнения всех перечисленных реакций. **(16 баллов)**

Ответ: **A** – Ag , **B** – AgNO_3 , **D** – AgCl , **E** – $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}$.

4.3. Белое, твердое простое вещество **A** реагирует с окрашенным твердым простым веществом **B** с образованием твердого вещества **D**. Вещество **D** легко реагирует с водой с образованием двух кислот, одна из которых (**E**) – сильная. **E** также является сильным восстановителем и под действием бромной воды превращается в вещество **B**. Все описанные вещества имеют молекулярное строение. Напишите формулы веществ **A**, **B**, **D**, **E** и уравнения всех перечисленных реакций. **(16 баллов)**

Ответ: **A** – P_4 , **B** – I_2 , **D** – PI_3 , **E** – HI .

4.4. Твердое, хорошо растворимое в воде вещество **A** взаимодействует с гидроксидом калия, причем, в зависимости от соотношения реагентов, могут образоваться разные вещества – **B** или **D**. Раствор **B** имеет слабокислую среду, а раствор **D** – сильно щелочную. Смешение в водном растворе равных количеств **B** и **D** приводит к образованию вещества **E**. Напишите формулы веществ **A**, **B**, **D**, **E** и уравнения всех перечисленных реакций. **(16 баллов)**

Ответ: **A** – H_3PO_4 , **B** – KH_2PO_4 , **D** – K_3PO_4 , **E** – K_2HPO_4 .

Задача 5

5.1. По данным химического анализа, неизвестный минерал содержит 31.3% кремния, 53.6% кислорода (по массе), алюминий и бериллий. Найдите простейшую формулу минерала (приведите расчеты) и представьте ее в виде комбинации оксидов. Как называется этот минерал? **(16 баллов)**

Ответ: $\text{Be}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_3)_6$, $3\text{BeO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$, берилл.

5.2. По данным химического анализа, неизвестный минерал содержит 20.85% кремния, 47.65% кислорода (по массе), алюминий и магний (примите $A_r = 24.3$). Найдите простейшую формулу минерала (приведите расчеты) и представьте ее в виде комбинации оксидов. Как называется этот минерал? **(16 баллов)**

Ответ: $\text{Mg}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, $3\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$, пироп.

5.3. По данным химического анализа, неизвестный минерал содержит 15.56% кремния, 53.33% кислорода (по массе), алюминий и водород. Найдите простейшую формулу минерала (приведите расчеты) и представьте ее в виде комбинации оксидов. Как называется этот минерал? **(16 баллов)**

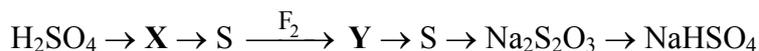
Ответ: $\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, топаз.

5.4. По данным химического анализа, неизвестный минерал содержит 16.8% кремния, 38.4% кислорода (по массе), хром и кальций. Найдите простейшую формулу минерала (приведите расчеты) и представьте ее в виде комбинации оксидов. Как называется этот минерал? **(16 баллов)**

Ответ: $\text{Ca}_3\text{Cr}_2(\text{SiO}_4)_3$, $3\text{CaO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$, уваровит.

Задание 6

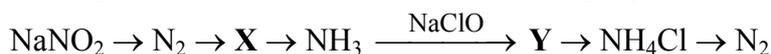
6.1. Составьте уравнения реакций, соответствующих схеме превращений:



Определите неизвестные вещества. **(18 баллов)**

Ответ: X – SO_2 , Y – SF_6 .

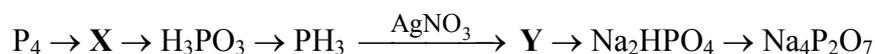
6.2. Составьте уравнения реакций, соответствующих схеме превращений:



Определите неизвестные вещества. **(18 баллов)**

Ответ: X – Ca_3N_2 , Y – N_2H_4 .

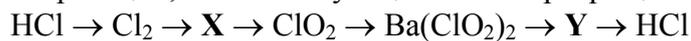
6.3. Составьте уравнения реакций, соответствующих схеме превращений:



Определите неизвестные вещества. **(18 баллов)**

Ответ: X – PCl_3 , Y – H_3PO_4 .

6.4. Составьте уравнения реакций, соответствующих схеме превращений:



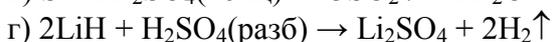
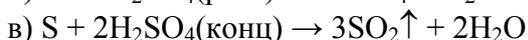
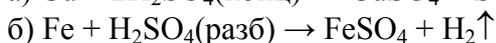
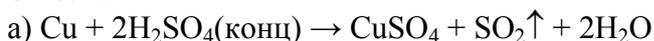
Определите неизвестные вещества. (18 баллов)

Ответ: X – KClO_3 , Y – BaCl_2 или HClO_2 .

Задача 7 (20 баллов)

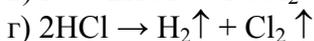
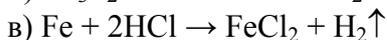
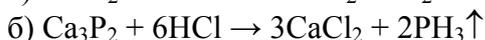
7.1. Как из 0.2 моль серной кислоты получить в одной реакции: а) 2.24 л, б) 4.48 л, в) 6.72 л, г) 8.96 л газа? Объемы газов измерены при нормальных условиях. Напишите уравнения всех реакций. Ответ подтвердите расчетом.

Ответ:



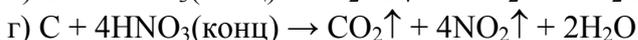
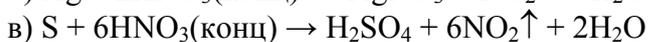
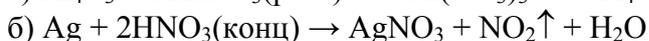
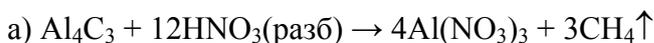
7.2. Как из соляной кислоты, содержащей 0.6 моль HCl , получить в одной реакции: а) 3.36 л, б) 4.48 л, в) 6.72 л, г) 13.44 л газа? Объемы газов измерены при нормальных условиях. Напишите уравнения всех реакций. Ответ подтвердите расчетом.

Ответ:



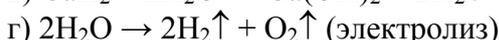
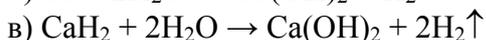
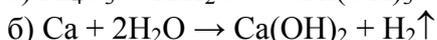
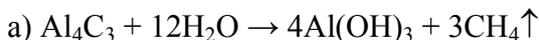
7.3. Как из 0.4 моль азотной кислоты получить в одной реакции: а) 2.24 л, б) 4.48 л, в) 8.96 л, г) 11.2 л газа? Объемы газов измерены при нормальных условиях. Напишите уравнения всех реакций. Ответ подтвердите расчетом.

Ответ:



7.4. Как из одного моля воды получить в одной реакции: а) 5.6 л, б) 11.2 л, в) 22.4 л, г) 33.6 л газа? Объемы газов измерены при нормальных условиях. Напишите уравнения всех реакций. Ответ подтвердите расчетом.

Ответ:



Заключительный этап, 10-11 классы

Вариант 1

1.5. Приведите пример реакции, среди продуктов которой – сразу два газа. (4 балла)

Ответ: $C + 2H_2SO_4(\text{конц}) \rightarrow CO_2\uparrow + 2SO_2\uparrow + 2H_2O$.

2.2. Плотность по гелию эквимольярной смеси трех газов при н. у. равна 10. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? (6 баллов)

Решение. Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$D_{He} = M_{cp} / M(He); \quad 10 = M_{cp} / 4$$

$$M_{cp} = 40 \text{ г/моль.}$$

$$M_{cp} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{cp} = 0.333(M_1 + M_2 + M_3)$$

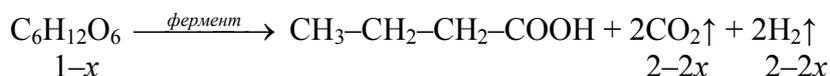
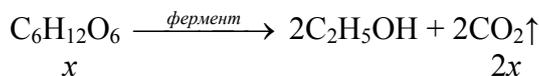
$$M_1 + M_2 + M_3 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н. у.). Это могут быть, например, Ne (20 г/моль), C_3H_8 (44 г/моль) и C_4H_8 (56 г/моль).

Ответ: например, Ne, C_3H_8 и C_4H_8 .

3.5. Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида кальция ее объем уменьшился в 5 раз. Какая часть глюкозы превратилась в масляную кислоту? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

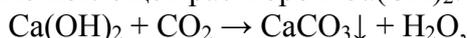
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ полностью поглощен раствором $Ca(OH)_2$:



а водород остался. Объем водорода по условию составил пятую часть объема смеси:

$$\varphi(H_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{5}$$

Отсюда получаем $x = 0.75$. Значит, в реакцию маслянокислого брожения вступило $100 - 75 = 25\%$ глюкозы.

Ответ: 25%.

4.4. При растворении безводной соли **A** в воде образовался зеленый раствор. Добавление раствора сульфида калия привело к выпадению серо-зеленого осадка, легко растворившегося затем в избытке водного раствора гидроксида калия. Пропускание хлора через образовавшийся ярко-зеленый раствор привело к изменению цвета раствора на желтый. После прокаливании **A** при $200^\circ C$ образовался твердый остаток, масса которого составила 31.9% от массы исходного вещества. Установите соль **A**, напишите уравнения всех реакций.

(12 баллов)

Решение. Можно предположить, что вещество **A** – растворимая в воде соль хрома(III). При взаимодействии с сульфидом калия из ее раствора выпадает серо-зеленый осадок гидроксида хрома(III), легко растворяющийся в водном растворе гидроксида калия.

Число ядер кюрия-244:

$$N = \nu \cdot N_A = 3.5 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 21.07 \cdot 10^{23}$$

Начальная тепловая мощность генератора равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 2386 \text{ Вт},$$

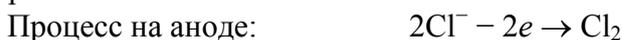
Отсюда кинетическая энергия α -частицы равна

$$E = \frac{P}{\lambda \cdot N} = \frac{2386}{1.22 \cdot 10^{-9} \cdot 21.07 \cdot 10^{23}} = 9.28 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 5.79 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

Ответ: 18 лет; $5.79 \cdot 10^6$ эВ.

6.1. Водный 2.4%-ный раствор хлорида лития объёмом 600 мл подвергли электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 1.43 А в течение 12 минут. Рассчитайте pH раствора после окончания электролиза. Примите, что в ходе электролиза объём раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

Решение. Запишем уравнения процессов на электродах, а также полное уравнение электролиза:



≠



По закону Фарадея
$$m = \frac{M \cdot I \cdot t}{n \cdot F}$$

отсюда

$$\nu = \frac{m}{M} = \frac{I \cdot t}{n \cdot F}.$$

Из уравнения катодного процесса видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

$$\nu(\text{OH}^-) = \frac{I \cdot t}{n \cdot F} = \frac{1.43 \cdot 12 \cdot 60}{1 \cdot 96500} = 0.0107 \text{ моль}.$$

Найдем молярную концентрацию ионов OH^- в растворе:

$$[\text{OH}^-] = \nu(\text{OH}^-) / V(\text{р-ра}) = 0.0107 / 0.6 = 0.0178 \text{ моль/л}$$

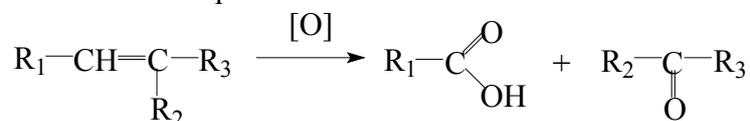
$$\text{pOH} = -\lg[\text{OH}^-] = 1.75$$

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 1.75 = 12.25.$$

Ответ: pH 12.25.

7.2. При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 11.1 г карбоновой кислоты **B** и 10.8 г кетона **B** (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объём раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

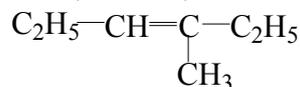


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{11.1}{M_1 + 45} = \frac{10.8}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду $1.0278(M_2 + M_3) - M_1 = 16.223$.

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать только определенные значения ($\text{CH}_3 - 15$, $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$, $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$ и т.д.). Тожество получается при значениях $M_1 = 29$, $M_2 = 15$ и $M_3 = 29$, значит, алкен **A** имел следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, а кетон **B** – формулу $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$. Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

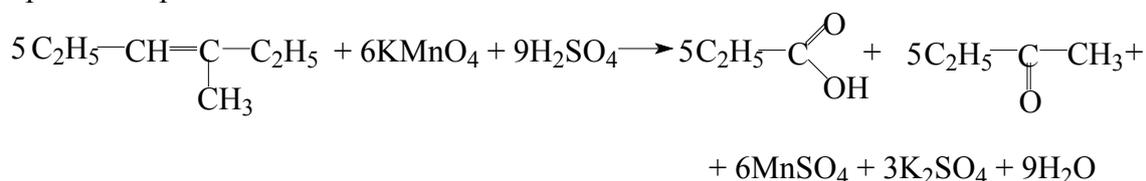
$$\frac{11.1}{14n + 32} = \frac{10.8}{14m + 16}.$$

Выразим m через n :

$$m = \frac{151.2n + 168}{155.4}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения $n = 3$, $m = 4$, т.е. кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ (пропионовая), кетон $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}$ (бутанон).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной пропионовой кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{B}) = \frac{m}{M} = \frac{11.1}{74} = 0.15 \text{ моль (75\%)},$$

$$v(\mathbf{A}) = 0.15 / 0.75 = 0.2 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{A}) = 0.2 \cdot 98 = 19.6 \text{ г.}$$

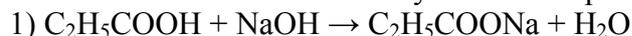
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\mathbf{A}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.24 \cdot 158 = 37.92 \text{ г,}$$

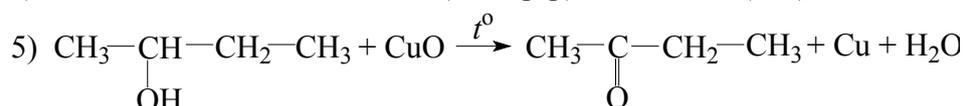
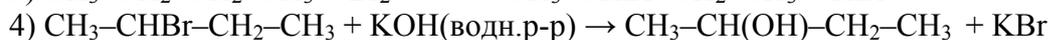
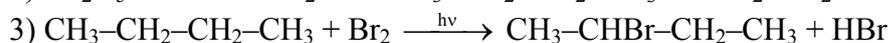
$$m(\text{p-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 379.2 / 1.1 = 344.7 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза бутанона из пропионовой кислоты:



↗

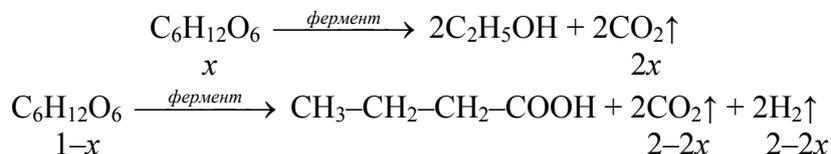


Ответ: **A** – 3-метилгексен-3, **B** – пропионовая кислота, **B** – бутанон; 19.6 г; 344.7 мл.

8.6. Смесь кристаллических нитрита и нитрата натрия обработали избытком концентрированного раствора гидроксида натрия в присутствии алюминия при нагревании, при этом выделилось 4.941 л газа **X** (1 атм, 28°C). Прокаливание при 500°C такого же количества исходной смеси солей привело к выделению 1.235 л газа **Y** (1 атм, 28°C). Определите газы **X** и **Y**, а также массы солей в исходной смеси. Остаток после прокалывания обработали избытком раствора иодида натрия, подкисленного серной кислотой. Какой объем

3.6. Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида бария ее объем уменьшился в 6 раз. Какая часть глюкозы превратилась в этанол? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

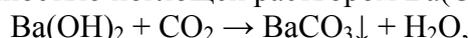
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ был полностью поглощен раствором $\text{Ba}(\text{OH})_2$:



а водород остался. Объем водорода по условию составил шестую часть объема смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{6}$$

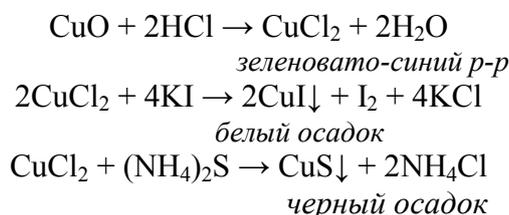
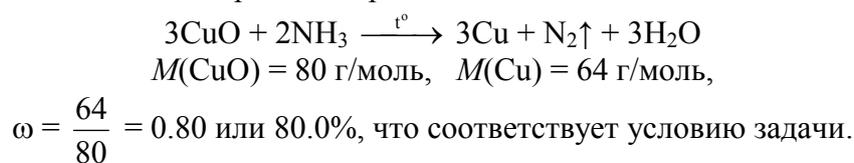
Отсюда получаем $x = 0.8$. Значит, в реакцию спиртового брожения вступило 80% глюкозы.

Ответ: 80%.

4.6. Не растворимый в воде оксид **A** черного цвета растворили при нагревании в соляной кислоте, при этом образовался зеленовато-синий раствор. Добавление к полученному раствору раствора иодида калия приводит к выпадению белого осадка, а добавление сульфида аммония – к выпадению черного осадка. После пропускания тока газообразного аммиака над оксидом **A** при 550°C образовался твердый остаток, масса которого составила 80.0% от массы исходного вещества. Установите оксид **A**, напишите уравнения всех реакций. (12 баллов)

Решение. Можно предположить, что вещество **A** – оксид меди(II). На это указывает его цвет, растворимость в соляной кислоте, а также цвет образующихся растворов и осадков.

Это предположение подтверждается расчетом:



Ответ: оксид **A** – CuO .

5.1. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы – устройства, преобразующие тепловую энергию, выделяющуюся при радиоактивном распаде, в электроэнергию. Генераторы на основе долгоживущих радионуклидов используются в качестве автономного источника энергии в космических аппаратах. Период полураспада ^{244}Cm равен 18 лет. Каждое ядро ^{244}Cm при распаде испускает одну α -частицу со средней кинетической энергией $5.79 \cdot 10^6$ электрон-вольт (1 эВ = $1.602 \cdot 10^{-19}$ Дж).

- 1) Запишите уравнение α -распада ^{244}Cm .
 2) Определите, за какое время мощность генератора уменьшится от 1200 до 1020 Вт.
 3) Рассчитайте массу $^{244}\text{CmO}_2$, способную генерировать 1200 Вт тепла (1 Вт = 1 Дж/с).
 Примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию.
(12 баллов)



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы $m(t)$ радионуклида в момент времени t с начальной массой m_0

$$m(t) = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

$$\frac{m(t)}{m_0} = \frac{1020}{1200} = 0.85 = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{18}}$$

$$\lg 0.85 = \frac{t}{18} \lg 0.5$$

$$t = 4.22 \text{ лет.}$$

3) Выразим энергию α -частицы в джоулях:

$$E = 5.79 \cdot 10^6 \cdot 1.602 \cdot 10^{-19} = 9.276 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

Тепловая мощность P генератора пропорциональна скорости распада (активности) A . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где N – число имеющихся в данный момент ядер, а λ – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{18 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1.221 \cdot 10^{-9} \text{ с}^{-1}.$$

$$P = E \cdot \lambda \cdot N,$$

$$N = \frac{P}{E \cdot \lambda} = \frac{1200}{9.276 \cdot 10^{-13} \cdot 1.221 \cdot 10^{-9}} = 10.595 \cdot 10^{23}$$

$$\nu(^{244}\text{Cm}) = N / N_A = 10.595 \cdot 10^{23} / 6.02 \cdot 10^{23} = 1.760 \text{ моль,}$$

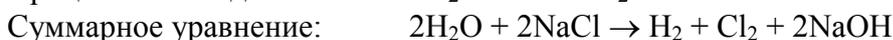
$$M(^{244}\text{CmO}_2) = 276 \text{ г/моль,}$$

$$m(^{244}\text{CmO}_2) = \nu \cdot M = 1.76 \cdot 276 = 485.8 \text{ г.}$$

Ответ: 4.22 лет, 485.8 г.

6.2. Водный 3.6%-ный раствор хлорида натрия объёмом 900 мл подвергали электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока в течение 15 минут. Рассчитайте силу тока, используемого для электролиза, если pH конечного раствора равен 12.5. Примите, что в ходе электролиза объём раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

Решение. Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора NaCl, а также полное уравнение электролиза:



Из значения pH раствора находим концентрацию ионов OH^- :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.5 = 1.5$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.5} = 0.0316 \text{ моль/л}$$

Количество OH^- в растворе:

$$v(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.0316 \cdot 0.9 = 0.0284 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$I = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot t} = \frac{v \cdot n \cdot F}{t}$$

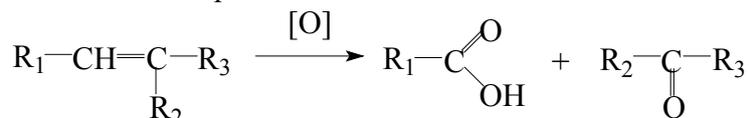
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

$$I = \frac{v \cdot n \cdot F}{t} = \frac{0.0284 \cdot 1 \cdot 96485}{15 \cdot 60} = 3.04 \text{ А.}$$

Ответ: 3.04 А.

7.4. При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 10.56 г карбоновой кислоты **B** неразветвленного строения и 10.32 г кетона **B** симметричного строения (выход реакции составил 80%). Молярная масса кислоты **B** превышает 70 г/моль. Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объем раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

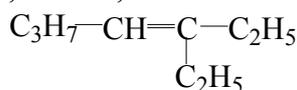


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{10.56}{M_1 + 45} = \frac{10.32}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду $1.023(M_2 + M_3) - M_1 = 16.349$.

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ($\text{CH}_3 - 15$, $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$, $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$ и т.д.). Тожество получается при значениях $M_1 = 43$, $M_2 = M_3 = 29$, значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Условия задачи полностью соблюдены: кетон (пентанон) будет иметь симметричную структуру, кислота – неразветвленного строения, ее молярная масса превышает 70 г/моль.

Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, а кетон **B** – формулу $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$. Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

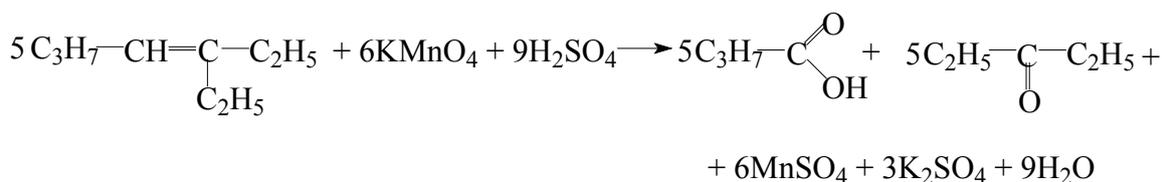
$$\frac{10.56}{14n + 32} = \frac{10.32}{14m + 16}.$$

Выразим m через n :

$$m = \frac{144.48n + 161.28}{147.84}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения $n = 4$, $m = 5$, т.е. кислота $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (бутановая), кетон $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$ (пентанон). Надо отметить, что близкие к целочисленным пары значений $n = 2$, $m = 3.04$ и $n = 3$, $m = 4.02$ не удовлетворяют условиям задачи (при $n = 2$ кислота имеет молярную массу меньше 70 г/моль, при $m = 4$ кетон не будет симметричным).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной бутановой кислоты **Б** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{Б}) = \frac{m}{M} = \frac{10.56}{88} = 0.12 \text{ моль (80\%)},$$

$$v(\mathbf{А}) = 0.12 / 0.8 = 0.15 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{А}) = 0.15 \cdot 126 = 18.9 \text{ г.}$$

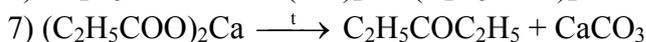
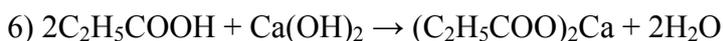
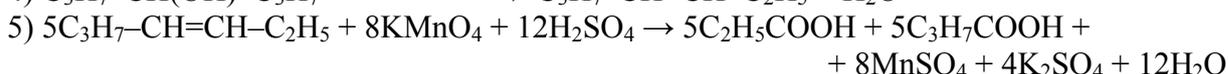
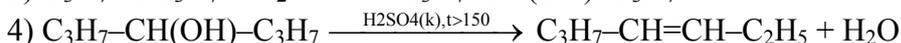
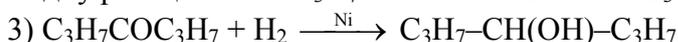
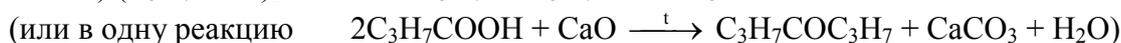
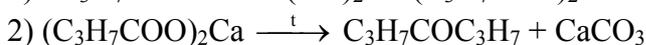
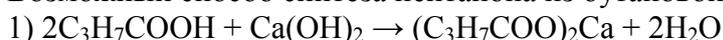
$$v(\text{KMnO}_4) = v(\mathbf{А}) \cdot 6 / 5 = 0.18 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.18 \cdot 158 = 28.44 \text{ г,}$$

$$m(\text{p-ра}) = 28.44 / 0.1 = 284.4 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 284.4 / 1.1 = 258.5 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза пентанона из бутановой кислоты:



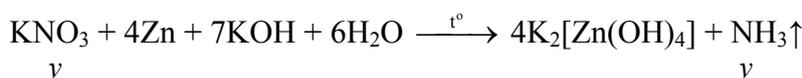
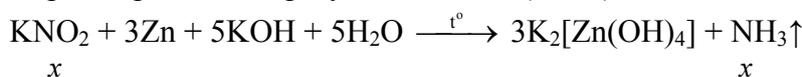
(или снова в одну реакцию с оксидом кальция или бария).

Ответ: **А** – 3-этилгептен-3, **Б** – бутановая кислота, **В** – пентанон-3; 18.9 г; 258.5 мл.

8.2. При обработке смеси кристаллических нитрита и нитрата калия избытком концентрированного раствора гидроксида калия в присутствии цинка при нагревании выделилось 7.212 л газа **X** (1 атм, 20°C). Такое же количество исходной смеси солей прокалили при 500°C, что привело к выделению 1.202 л газа **Y** (1 атм, 20°C). Определите газы **X** и **Y**, рассчитайте массы солей в исходной смеси. Остаток после прокаливания

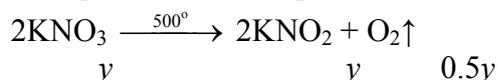
(20 баллов)

Решение. Обозначим количества вещества нитрита и нитрата калия за x и y моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с концентрированной щелочью в присутствии цинка при нагревании образуется аммиак (газ **X**):



$$v(\text{NH}_3) = x + y = \frac{7.212 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.3 \text{ (моль).}$$

При прокаливании смеси солей разлагается нитрат калия, выделяется кислород (газ **Y**):



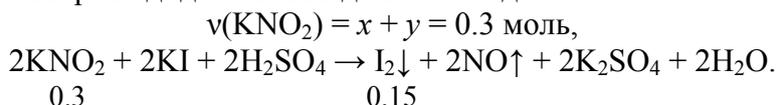
$$v(\text{O}_2) = 0.5y = \frac{1.202 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.05 \text{ моль,}$$

отсюда $y = 0.1$ моль, $x = 0.2$ моль. Массы солей в исходной смеси

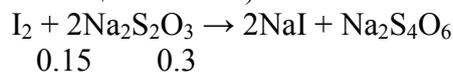
$$m(\text{KNO}_2) = 0.2 \cdot 85 = 17 \text{ г,}$$

$$m(\text{KNO}_3) = 0.1 \cdot 101 = 10.1 \text{ г.}$$

При добавлении к твердому остатку после прокаливании (нитрит калия) подкисленного серной кислотой раствора иодида калия выделяется иод:



Из-за выделения иода раствор приобретает темную окраску. Тиосульфат натрия реагирует с иодом (происходит обесцвечивание):



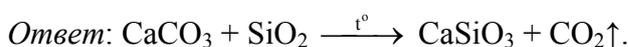
Значит, раствора тиосульфата потребуется

$$V(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = v / c = 0.3 / 0.5 = 0.6 \text{ л.}$$

Ответ: X – NH₃, Y – O₂; 17 г KNO₂ и 10.1 г KNO₃; 0.6 л.

Вариант 3

1.4. Приведите пример реакции, в ходе которой из соли и оксида получается другой оксид и другая соль. (4 балла)



2.6. Плотность по неону эквимольной смеси трех газов при н. у. равна 1.6. Какие три вещества могут входить в состав этой смеси? (6 баллов)

Решение. Найдем среднюю молярную массу смеси:

$$\begin{array}{l} D_{\text{Ne}} = M_{\text{cp}} / M(\text{Ne}); \quad 1.6 = M_{\text{cp}} / 20 \\ M_{\text{cp}} = 32 \text{ г/моль.} \end{array}$$

$$M_{\text{cp}} = M_1x_1 + M_2x_2 + M_3x_3; \quad x_1 = x_2 = x_3 = 1/3$$

$$M_{\text{cp}} = 0.333(M_1 + M_2 + M_3)$$

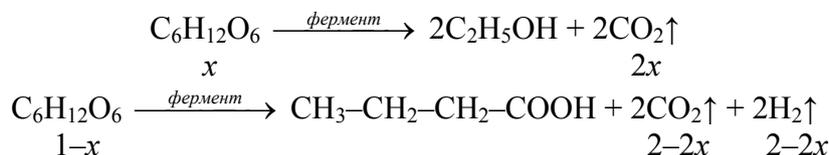
$$M_1 + M_2 + M_3 = 32 \cdot 3 = 96 \text{ г/моль.}$$

Подбором находим три газа (вещества должны быть в газообразном состоянии при н.у.). Это могут быть, например, N₂ (28 г/моль), CO (28 г/моль) и Ar (40 г/моль).

Ответ: например, N₂, CO и Ar.

3.3. Брожение глюкозы прошло количественно по двум направлениям: с образованием этанола и масляной кислоты. При пропускании выделившейся при брожении смеси газов через избыток раствора гидроксида натрия ее объем уменьшился в 2.5 раза. Какая часть глюкозы превратилась в этанол? Запишите уравнения всех реакций. (10 баллов)

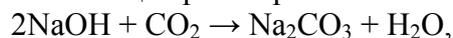
Решение. Запишем уравнения реакций спиртового и маслянокислого брожений одного моля глюкозы:



Суммарное количество газов в смеси:

$$v(\text{смеси}) = 2x + 2 - 2x + 2 - 2x = 4 - 2x.$$

Углекислый газ полностью поглощен раствором NaOH:



а водород остался. Объем водорода по условию составил долю объема смеси:

$$\varphi(\text{H}_2) = \frac{2 - 2x}{4 - 2x} = \frac{1}{2.5}$$

Отсюда получаем $x = 0.333$. Значит, в реакцию спиртового брожения вступило 33.3% глюкозы.

Ответ: 33.3%.

4.2. При растворении соли **A** в воде образовался оранжевый раствор. Добавление раствора гидроксида калия привело к изменению его окраски на желтую, а последующее добавление раствора хлорида стронция – к выпадению желтого осадка. При нагревании соли **A** с серой выделения газа не произошло, а цвет реакционной смеси стал темно-зеленым. После прокаливании **A** при 500°C образовался твердый остаток, масса которого составила 91.8% от массы исходного вещества. Установите соль **A**, напишите уравнения всех реакций.

(12 баллов)

Решение. Можно предположить, что соль **A** – растворимый дихромат щелочного металла или аммония (оранжевый цвет раствора из-за присутствия ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$). При подщелачивании цвет раствора меняется на желтый из-за образования хромат-ионов, а при добавлении хлорида стронция выпадает желтый осадок хромата стронция SrCrO_4 .

При нагревании **A** с серой происходит восстановление дихромата до оксида хрома(III). Отсутствие выделения газа указывает на то, что **A** – соль щелочного металла, а не аммония.

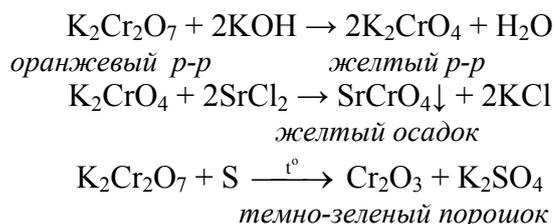
Расчетом можно подтвердить, что вещество **A** – соль калия:



$$M(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 294 \text{ г/моль}, M(\text{K}_2\text{CrO}_4) = 194 \text{ г/моль}, M(\text{Cr}_2\text{O}_3) = 152 \text{ г/моль}$$

$$\omega = \frac{152 + 2 \cdot 194}{2 \cdot 294} = 0.918 \text{ или } 91.8\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$

Уравнения реакций:



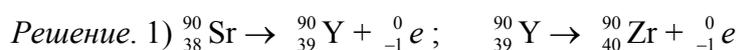
Ответ: соль **A** – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$.

5.3. Радиоизотопные термоэлектрогенераторы – устройства, преобразующие кинетическую энергию α - или β -частиц сначала в тепловую, а затем – в электрическую энергию. Генераторы на основе ^{90}Sr используются в качестве автономного источника питания оборудования, расположенного в удаленных и труднодоступных районах. Период полураспада ^{90}Sr составляет 28.7 лет, при ядерном превращении радионуклид подвергается двум последовательным β -распадам. Средняя кинетическая энергия первой β -частицы равна 187 кэВ, энергия второй частицы равна 904 кэВ ($1 \text{ кэВ} = 1.602 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$). (12 баллов)

1) Запишите уравнения двух последовательных β -распадов радионуклида ^{90}Sr .

2) Рассчитайте максимальный срок эксплуатации генератора, если он может использоваться до тех пор, пока его мощность не уменьшится на 30%.

3) Рассчитайте максимальную тепловую мощность (Вт) генератора, в котором находится 1492 г $^{90}\text{SrTiO}_3$ ($1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж/с}$). При расчете примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию.



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы $m(t)$ радионуклида в момент времени t с начальной массой m_0

$$m(t) = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

К моменту, когда мощность уменьшится на 30%, останется 70% от исходной массы радионуклида:

$$\frac{m(t)}{m_0} = 0.70 = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{28.7}}$$

$$\lg 0.7 = \frac{t}{28.7} \lg 0.5$$

$$t = 14.77 \text{ лет.}$$

3) Выразим энергии β -частиц в джоулях:

$$E_1 = 187 \cdot 1.602 \cdot 10^{-16} = 299.57 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}; \quad E_2 = 904 \cdot 1.602 \cdot 10^{-16} = 1448.2 \cdot 10^{-16} \text{ Дж},$$

суммарная кинетическая энергия частиц:

$$E = E_1 + E_2 = (299.57 + 1448.2) \cdot 10^{-16} = 1747.78 \cdot 10^{-16} = 1.748 \cdot 10^{-13} \text{ Дж.}$$

Тепловая мощность P генератора пропорциональна скорости распада (активности) A . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где N – число имеющихся в данный момент ядер, а λ – постоянная распада (константа скорости радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{28.7 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 7.66 \cdot 10^{-10} \text{ с}^{-1}.$$

$$M(^{90}\text{SrTiO}_3) = 186 \text{ г/моль},$$

$$\nu(^{90}\text{SrTiO}_3) = m/M = 1492 / 186 = 8.02 \text{ (моль)}.$$

Число ядер стронция-90:

$$N = \nu \cdot N_A = 8.02 \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 48.28 \cdot 10^{23}$$

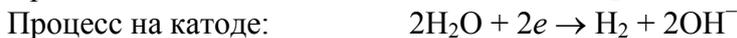
Тепловая мощность равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 1.748 \cdot 10^{-13} \cdot 7.66 \cdot 10^{-10} \cdot 48.28 \cdot 10^{23} = 646.4 \text{ Дж/с} = 646.4 \text{ Вт.}$$

Ответ: 14.77 лет; 646.4 Вт.

6.6. Водный 2.5%-ный раствор хлорида натрия объемом 700 мл подвергали электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 1.8 А. Рассчитайте время проведения электролиза, если рН конечного раствора равен 12.4. Примите, что в ходе электролиза объем раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

Решение. Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора NaCl, а также полное уравнение электролиза:



≠



Из значения рН раствора находим молярную концентрацию ионов OH^- :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.4 = 1.6$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.6} = 0.025 \text{ моль/л}$$

Количество ионов OH^- в растворе:

$$\nu(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.025 \cdot 0.7 = 0.0175 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I} = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I}$$

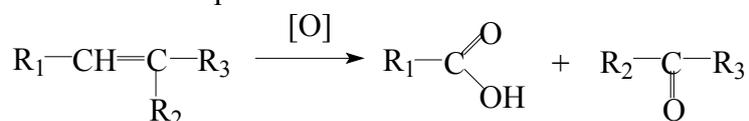
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

$$t = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I} = \frac{0.0175 \cdot 1 \cdot 96485}{1.8} = 938 \text{ с} = 15.6 \text{ мин.}$$

Ответ: 15.6 мин.

7.5. При окислении алкена **A** подкисленным 10%-ным раствором перманганата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 9 г карбоновой кислоты **B** и 12.9 г кетона **B** симметричного строения (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **A**, **B** и **B**, вычислите массу **A**. Определите минимальный объем раствора перманганата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кетона **B** из кислоты **B** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

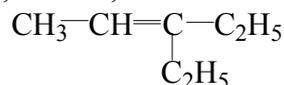


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{9}{M_1 + 45} = \frac{12.9}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду $M_2 + M_3 - 1.433M_1 = 36.485$.

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ($\text{CH}_3 - 15$, $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$, $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$ и т.д.). Тожество получается при значениях $M_1 = 15$, $M_2 = M_3 = 29$, значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, а кетон **B** – формулу $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$. Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

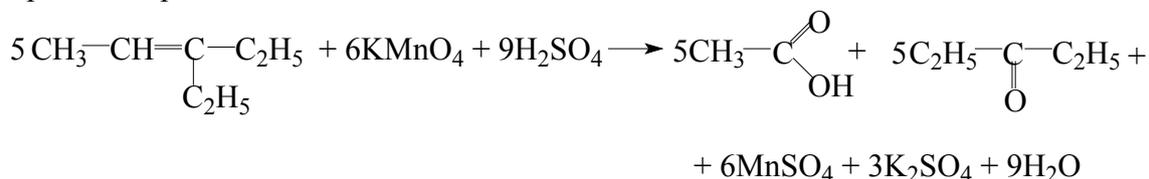
$$\frac{9}{14n + 32} = \frac{12.9}{14m + 16}.$$

Выразим m через n :

$$m = \frac{180.6n + 268.8}{126}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения $n = 2$, $m = 5$, т.е. кислота $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ (уксусная), кетон $\text{C}_5\text{H}_{10}\text{O}$ (пентанон-3).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной уксусной кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$\nu(\text{B}) = \frac{m}{M} = \frac{9}{60} = 0.15 \text{ моль (75\%)},$$

$$\nu(\text{A}) = 0.15 / 0.75 = 0.2 \text{ моль.}$$

$$m(\text{A}) = 0.2 \cdot 98 = 19.6 \text{ г.}$$

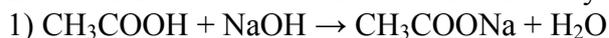
$$\nu(\text{KMnO}_4) = \nu(\text{A}) \cdot 6 / 5 = 0.24 \text{ моль,}$$

$$m(\text{KMnO}_4) = 0.24 \cdot 158 = 37.92 \text{ г,}$$

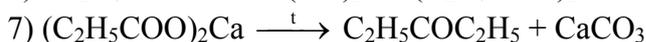
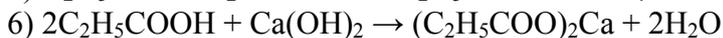
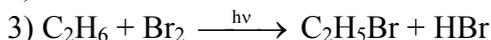
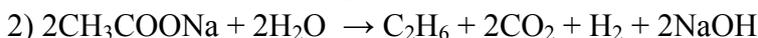
$$m(\text{p-ра}) = 37.92 / 0.1 = 379.2 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 379.2 / 1.1 = 344.7 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза пентанона из уксусной кислоты:



↙



(или в одну реакцию $2\text{C}_2\text{H}_5\text{COOH} + \text{CaO} \xrightarrow{t} \text{C}_2\text{H}_5\text{COC}_2\text{H}_5 + \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$).

Ответ: **А** – 3-этилпентен-3, **Б** – уксусная кислота, **В** – пентанон-3; 19.6 г; 344.7 мл.

8.3. При обработке смеси кристаллических хлората и бромата калия избытком концентрированной соляной кислоты выделился газ **X**, для полного поглощения которого потребовалось 625 мл 0.2 М раствора тиосульфата натрия. Для обесцвечивания оставшегося солянокислого раствора необходимо 0.240 л сернистого газа (1 атм, 20°C). Определите газ **X** и найдите массы солей в исходной смеси. При прокаливании такого же количества смеси при температуре 500°C в присутствии оксида марганца(IV) выделился газ **Y**. Определите газ **Y** и рассчитайте его объем (1 атм, 20°C). Напишите уравнения всех упомянутых реакций.

(20 баллов)

Решение. Обозначим количества вещества хлората и бромата калия за x и y моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с соляной кислотой образуется хлор (газ **X**):

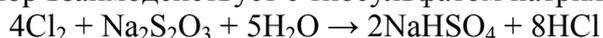


$$x \qquad \qquad \qquad 3x$$



$$y \qquad \qquad \qquad 2.5y \quad 0.5y$$

Выделившийся хлор взаимодействует с тиосульфатом натрия:



$$v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.2 \cdot 0.625 = 0.125 \text{ моль,}$$

$$v(\text{Cl}_2) = 3x + 2.5y = 4 \cdot v(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3) = 0.5 \text{ моль.}$$

Солянокислый раствор, оставшийся после полного удаления хлора, окрашен благодаря содержащемуся в нем бром, который вступает в реакцию с сернистым газом (раствор обесцвечивается):



$$0.5y \quad 0.5y$$

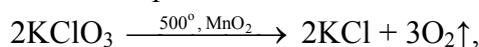
$$v(\text{SO}_2) = 0.5y = \frac{0.24 \cdot 101.3}{8.314 \cdot 293} = 0.01 \text{ (моль).}$$

Отсюда $y = 0.02$ моль, $x = 0.15$ моль. Массы солей в исходной смеси

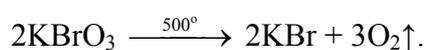
$$m(\text{KClO}_3) = 0.15 \cdot 122.5 = 18.375 \text{ г,}$$

$$m(\text{KBrO}_3) = 0.02 \cdot 167 = 3.34 \text{ г.}$$

При прокаливании смеси обе соли разлагаются с выделением кислорода (газ **Y**):



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



$$y \qquad \qquad \qquad 1.5y$$

$$v(\text{O}_2) = 1.5x + 1.5y = 0.255 \text{ моль,}$$

Решение. Можно предположить, что соль А – не растворимый в воде сульфид. Растворение сульфида в азотной кислоте приводит к выделению бурого оксида азота(IV) и образованию сульфат-ионов, на наличие которых указывает выпадение белого осадка при добавлении соли бария.

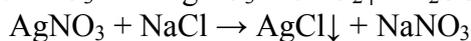
Бесцветность раствора, а также выпадение белого осадка при добавлении хлорида натрия позволяет предположить, что металл в составе сульфида А – это серебро. Это предположение подтверждается расчетом:

$$\text{Ag}_2\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{Ag} + \text{SO}_2\uparrow$$

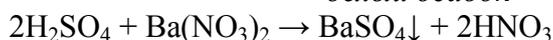
$$M(\text{Ag}_2\text{S}) = 248 \text{ г/моль}, M(\text{Ag}) = 108 \text{ г/моль},$$

$$\omega = \frac{2 \cdot 108}{248} = 0.871, \text{ или } 87.1\%, \text{ что соответствует условию задачи.}$$

Уравнения реакций:



белый осадок



белый осадок

Ответ: соль А – Ag_2S .

5.6. Радиоизотопный термоэлектрогенератор на основе $^{210}\text{PoO}_2$, преобразующий кинетическую энергию выделяющихся α -частиц в тепловую и затем – в электрическую, предполагают использовать в качестве автономного источника энергии в медицинских аппаратах. Тепловая мощность генератора, в который поместили 407 мг $^{210}\text{PoO}_2$, составила 50 Вт, а через 100 дней она уменьшилась до 30.257 Вт (1 Вт = 1 Дж/с).

1) Запишите уравнение α -распада ^{210}Po .

2) Определите период полураспада ^{210}Po .

3) Рассчитайте кинетическую энергию α -частицы, образующейся при распаде радионуклида, в единицах электрон-вольт (1 Дж = $6.242 \cdot 10^{18}$ эВ). При расчете примите, что кинетическая энергия частиц полностью преобразуется в тепловую энергию. **(12 баллов)**



2) Мощность генератора прямо пропорциональна числу распадающихся ядер. Закон радиоактивного распада связывает значение массы $m(t)$ радионуклида в момент времени t с начальной массой m_0

$$m(t) = m_0 \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{t_{1/2}}}$$

К моменту t мощность уменьшилась с 50 до 30.257 Вт:

$$\frac{m(t)}{m_0} = \frac{30.257}{50} = 0.605 = \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{100}{t_{1/2}}}$$

$$\lg 0.605 = \frac{100}{t_{1/2}} \lg 0.5$$

$$t_{1/2} = 138 \text{ сут.}$$

3) Тепловая мощность P генератора пропорциональна скорости распада (активности) A . Скорость распада равна

$$A = \lambda N,$$

где N – число имеющихся в данный момент ядер, а λ – постоянная распада (константа радиоактивного распада), которая связана с периодом полураспада $t_{1/2}$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{0.693}{138 \cdot 24 \cdot 3600} = 5.81 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}.$$

$$M(^{210}\text{PoO}_2) = 242 \text{ г/моль};$$

$$\nu(^{210}\text{PoO}_2) = 0.407 / 242 = 1.68 \cdot 10^{-3} \text{ моль},$$

Число ядер полония:

$$N = \nu \cdot N_A = 1.68 \cdot 10^{-3} \cdot 6.02 \cdot 10^{23} = 10.11 \cdot 10^{20}$$

Начальная тепловая мощность генератора равна

$$P = E \cdot \lambda \cdot N = 50 \text{ Вт},$$

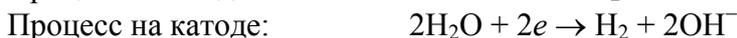
Отсюда кинетическая энергия α -частицы равна

$$E = \frac{P}{\lambda \cdot N} = \frac{50}{5.81 \cdot 10^{-8} \cdot 10.11 \cdot 10^{20}} = 8.49 \cdot 10^{-13} \text{ Дж} = 5.30 \cdot 10^6 \text{ эВ}.$$

Ответ: 138 сут; $5.30 \cdot 10^6$ эВ.

6.3. Водный 1.8%-ный раствор хлорида калия объёмом 750 мл подвергли электролизу (с диафрагмой) с помощью постоянного тока силой 2.4 А. Рассчитайте время проведения электролиза, если pH конечного раствора равен 12.3. Примите, что в ходе электролиза объём раствора не изменился. Запишите уравнения процессов, протекающих на катоде, на аноде, а также суммарное уравнение. **(16 баллов)**

Решение. Запишем уравнения процессов на электродах при электролизе водного раствора KCl, а также полное уравнение электролиза:



↕



Из значения pH раствора находим молярную концентрацию ионов OH^- :

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} = 14 - 12.3 = 1.7$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{-\text{pOH}} = 10^{-1.7} = 0.020 \text{ моль/л}$$

Количество ионов OH^- в растворе:

$$\nu(\text{OH}^-) = [\text{OH}^-] \cdot V(\text{р-ра}) = 0.020 \cdot 0.750 = 0.015 \text{ моль}$$

Из закона Фарадея

$$t = \frac{m \cdot n \cdot F}{M \cdot I} = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I}.$$

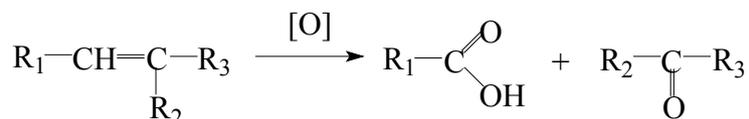
Из уравнения электролиза видно, что для получения 1 моль ионов OH^- требуется 1 моль электронов, т. е. $n = 1$. Тогда

$$t = \frac{\nu \cdot n \cdot F}{I} = \frac{0.015 \cdot 1 \cdot 96485}{2.4} = 602 \text{ с} = 10 \text{ мин}.$$

Ответ: 10 мин.

7.3. При окислении алкена **А** подкисленным 10%-ным раствором дихромата калия (плотность 1.1 г/мл) было получено 19.8 г карбоновой кислоты **Б** неразветвленного строения и 13.05 г кетона **В** (выход реакции составил 75%). Установите структурные формулы **А**, **Б** и **В**, вычислите массу **А**. Определите минимальный объём раствора дихромата калия, необходимый для данной реакции. Предложите способ получения кислоты **Б** из кетона **В** без использования других органических реагентов. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(20 баллов)**

Решение. Окисление алкена протекает в соответствии со схемой:

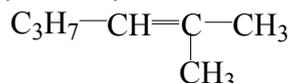


Количества кислоты и кетона будут одинаковы, поэтому можно составить уравнение

$$\frac{19.8}{M_1 + 45} = \frac{13.05}{M_2 + M_3 + 28},$$

и преобразовать его к виду $1.5172(M_2 + M_3) - M_1 = 2.517$.

Далее действуем методом подбора, понимая, что массы радикалов могут принимать вполне определенные значения ($\text{CH}_3 - 15$, $\text{C}_2\text{H}_5 - 29$, $\text{C}_3\text{H}_7 - 43$ и т.д.). Тожество получается при значениях $M_1 = 43$, $M_2 = M_3 = 15$, значит, алкен **A** имеет следующую структуру:



Этот ответ можно получить и другим способом. Пусть кислота **B** имеет формулу $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, а кетон **B** – формулу $\text{C}_m\text{H}_{2m}\text{O}$. Тогда из равенства количеств **B** и **B**:

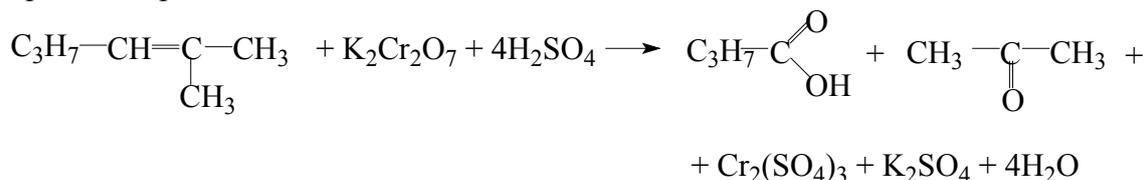
$$\frac{19.8}{14n + 32} = \frac{13.05}{14m + 16}.$$

Выразим m через n :

$$m = \frac{182.7n + 100.8}{277.2}.$$

Перебором значений получаем целочисленные значения $n = 4$, $m = 3$, т.е. кислота $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ (бутановая), кетон $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}$ (ацетон).

Уравнение реакции окисления алкена:



Определим количество полученной бутановой кислоты **B** и, затем, массу алкена:

$$v(\mathbf{B}) = \frac{m}{M} = \frac{19.8}{88} = 0.225 \text{ моль (75\%)},$$

$$v(\mathbf{A}) = 0.225 / 0.75 = 0.3 \text{ моль.}$$

$$m(\mathbf{A}) = 0.3 \cdot 98 = 29.4 \text{ г.}$$

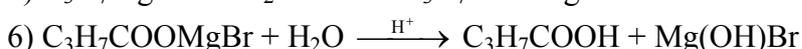
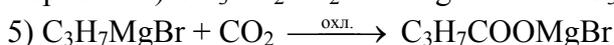
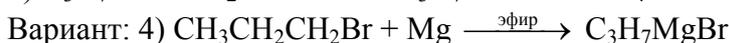
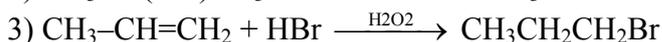
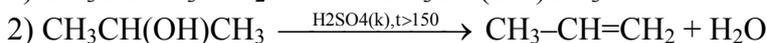
$$v(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = v(\mathbf{A}) = 0.3 \text{ моль,}$$

$$m(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 0.3 \cdot 294 = 88.2 \text{ г,}$$

$$m(\text{p-ра}) = 88.2 / 0.1 = 882 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = m / \rho = 882 / 1.1 = 801.8 \text{ мл.}$$

Возможный способ синтеза бутановой кислоты из ацетона:

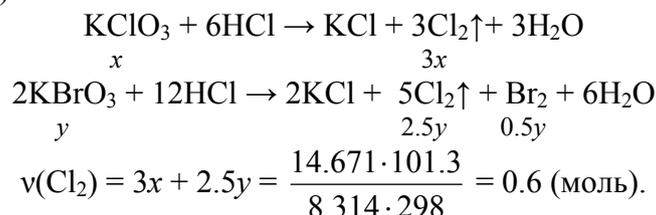


Ответ: **A** – 2-метилгексен-2, **B** – бутановая кислота, **B** – ацетон; 29.4 г; 801.8 мл.

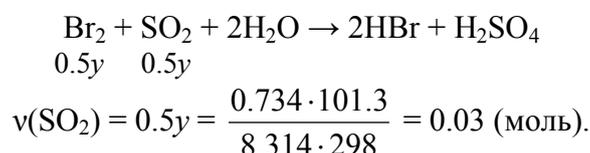
8.1. При обработке смеси кристаллических хлората и бромата калия избытком концентрированной соляной кислоты выделилось 14.671 л газа **X** (1 атм, 25°C). Для обесцвечивания оставшегося солянокислого раствора потребовалось 0.734 л сернистого газа

(1 атм, 25°C). Определите газ **X** и найдите массы солей в исходной смеси. Газ **X** полностью поглотили охлаждённым раствором гидроксида кальция с образованием белой взвеси. При нагревании этой взвеси с избытком концентрированного водного раствора аммиака образовался газ **Y**. Определите газ **Y** и рассчитайте его объем (1 атм, 25°C). Напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(20 баллов)**

Решение. Обозначим количества вещества хлората и бромата калия за x и y моль соответственно. При взаимодействии смеси солей с концентрированной соляной кислотой образуется хлор (газ **X**):



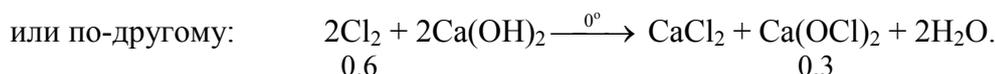
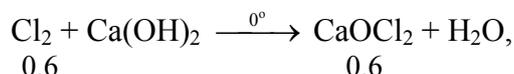
Солянокислый раствор, оставшийся после полного удаления хлора, окрашен благодаря содержащемуся в нем бром, который вступает в реакцию с сернистым газом (раствор обесцвечивается):



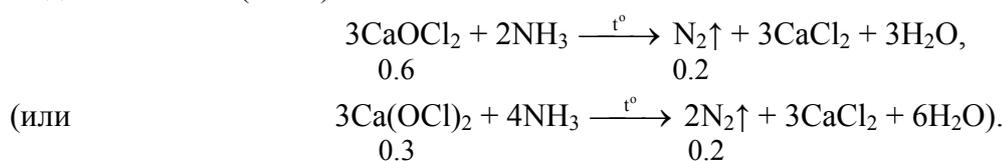
Отсюда получаем $y = 0.06$ моль, $x = 0.15$ моль. Массы солей в исходной смеси

$$\begin{aligned} m(\text{KClO}_3) &= 0.15 \cdot 122.5 = 18.375 \text{ г}, \\ m(\text{KBrO}_3) &= 0.06 \cdot 167 = 10.02 \text{ г}. \end{aligned}$$

При поглощении хлора холодным раствором гидроксида кальция образуется хлорная известь в виде белой взвеси:



Хлорная известь – сильный окислитель, она при нагревании окисляет аммиак, при этом выделяется азот (газ **Y**):



$$\begin{aligned} \nu(\text{N}_2) &= 0.2 \text{ моль}, \\ V(\text{N}_2) &= \frac{0.2 \cdot 8.314 \cdot 298}{101.3} = 4.890 \text{ л}. \end{aligned}$$

Ответ: **X** – Cl₂; 18.375 г KClO₃ и 10.02 г KBrO₃; **Y** – N₂, 4.890 л.

Заключительный этап 5-9 классов

1. Два металла, принадлежащие одной группе Периодической системы, образуют ионные соединения с водородом. В одном из этих соединений массовая доля водорода в 5 раз больше, чем в другом. Установите формулы гидридов (подтвердите расчетом). **(10 баллов)**

Решение. Ионные гидриды образуются из щелочных и щелочноземельных металлов. Начнем с щелочных. Пусть формулы гидридов – XH и YH , тогда

$$\omega_1(\text{H}) = \frac{1}{M(\text{X})+1},$$

$$\omega_2(\text{H}) = \frac{1}{M(\text{Y})+1}.$$

По условию,

$$\frac{\omega_1(\text{H})}{\omega_2(\text{H})} = \frac{M(\text{Y})+1}{M(\text{X})+1} = 5.$$

Уравнение решается подбором: $\text{X} - \text{Li}$, $\text{Y} - \text{K}$.

Ответ: LiH и KH .

2. Атом неизвестного элемента в основном состоянии имеет x d -электронов, $4x$ s -электронов и $6x$ p -электронов. Найдите x , определите элемент, запишите его электронную конфигурацию и формулу его высшего хлорида. **(10 баллов)**

Решение. Начнем с $3d$ -ряда. У этих элементов – 8 s - и 12 p -электронов, т.е. $x = 2$. Число d -электронов – два. Элемент – титан.

Электронная конфигурация: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$. Формула высшего хлорида – TiCl_4 .

Ответ: Ti , $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^2 4s^2$. Высший хлорид TiCl_4 .

Баллы: 4 балла – элемент, 4 балла – электронная конфигурация, 2 балла – формула хлорида.

3. В некотором объеме воды растворили десятикратный объем неизвестного газа (н. у.) и получили 5.4%-ный раствор кислоты. Плотность воды равна 1000 г/л. Определите формулу газа, напишите два уравнения качественных реакций, подтверждающих ответ. **(12 баллов)**

Решение. Газ очень хорошо растворим в воде. Таким свойством обладают аммиак и галогеноводороды. При растворении последних в воде образуются кислоты.

Пусть взяли 1 л воды: $m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \cdot 1 = 1000$ г. Обозначим молярную массу неизвестной кислоты M . Количество вещества газа:

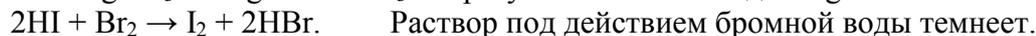
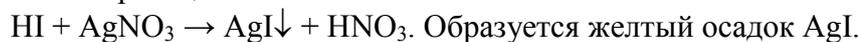
$$v = 10 / 22.4 = 0.446 \text{ моль},$$

тогда

$$\omega(\text{кислоты}) = 0.054 = \frac{0.446M}{1000 + 0.446M}$$

Решение уравнения $M = 128$ (г/моль), это иодоводородная кислота, газ – иодоводород, HI .

Качественные реакции:

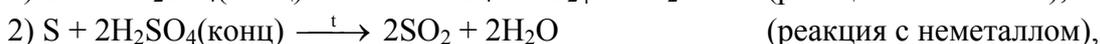


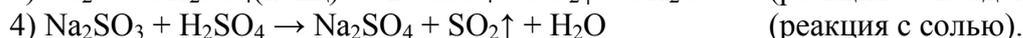
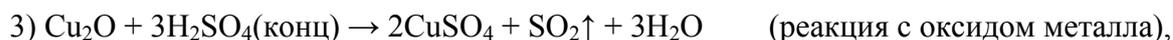
Ответ: HI .

Баллы: 4 балла – молярная масса, 6 баллов – формула газа, 2 балла – качественные реакции.

4. Напишите уравнения реакций серной кислоты с металлом, неметаллом, оксидом металла и солью. Во всех реакциях выделяется одно и то же газообразное вещество. **(12 баллов)**

Решение. Есть разные варианты ответа. Основное решение: газообразное вещество – SO_2 . Уравнения реакций:



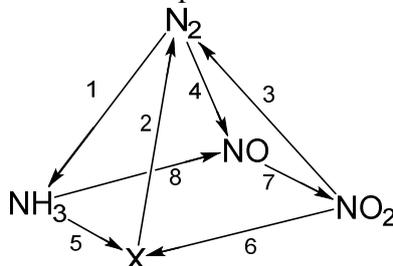


Возможны и другие реакции, приводящие к образованию SO_2 .

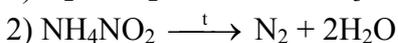
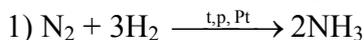
Ответ. Газ – SO_2 .

Баллы: каждое уравнение – по 3 балла (2 балла, если не уравнено).

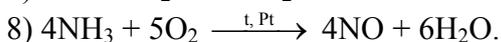
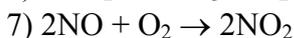
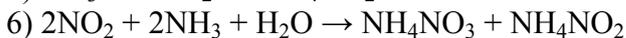
5. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме, определите неизвестное вещество. Учтите, что каждая стрелка соответствует одной реакции. (16 баллов)



Решение. X – NH_4NO_2 .



↗



Ответ: X – NH_4NO_2 .

Баллы: каждое уравнение – по 2 балла (1 балл, если не уравнено).

6. Один из сильнейших известных восстановителей – бинарное вещество А необычного состава. Его получают нагреванием графита с расплавленным щелочным металлом. При сжигании 5.40 г вещества А в избытке кислорода образовалось 2.76 г твердого вещества Б и 6.72 л (н. у.) газа В. При растворении Б в избытке кислоты выделилось еще 448 мл (н. у.) газа В. Определите формулы веществ А, Б и В, напишите уравнения реакций. (20 баллов)

Решение. При сжигании бинарного соединения щелочного металла с углеродом, M_xC_y , в кислороде образуются карбонат металла и CO_2 (вещество В).



Карбонат металла растворяется в кислоте:



$$v(\text{M}_2\text{CO}_3) = v(\text{CO}_2) = 0.448 / 22.4 = 0.02 \text{ моль.}$$

$$M(\text{M}_2\text{CO}_3) = 2.76 / 0.02 = 138 \text{ г/моль} - \text{это } \text{K}_2\text{CO}_3 \text{ (вещество Б).}$$

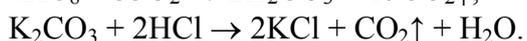
$$\text{При сгорании: } v(\text{CO}_2) = 6.72 / 22.4 = 0.3 \text{ моль, } v(\text{K}_2\text{CO}_3) = 0.02 \text{ моль.}$$

$$\text{В навеске исходного вещества А: } v_{\text{общ}}(\text{C}) = 0.3 + 0.02 = 0.32 \text{ моль.}$$

$$m(\text{C}) = 0.32 \cdot 12 = 3.84 \text{ г, } m(\text{K}) = 5.40 - 3.84 = 1.56 \text{ г, } v(\text{K}) = 1.56 / 39 = 0.04 \text{ моль.}$$

$$v(\text{C}) : v(\text{K}) = 0.32 : 0.04 = 8 : 1, \text{ формула А} - \text{KC}_8.$$

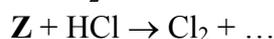
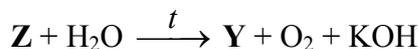
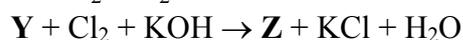
Уравнения реакций:



Ответ: **A** – KC_8 , **B** – K_2CO_3 , **B** – CO_2 .

Баллы: формула **A** – 6 баллов, **B** – 4 балла, **B** – 2 балла. Уравнения реакций – по 2 балла, расчеты – 2 балла.

7. Расшифруйте схему:

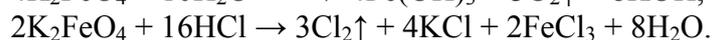
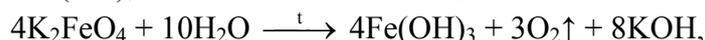
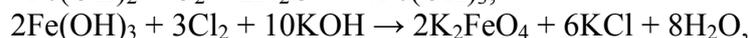


Вещества **X** и **Y** состоят из одних и тех же элементов, включая *3d*-металл. Запишите формулы веществ **X**, **Y**, **Z** и полные уравнения всех реакций. Если вы не смогли установить вещества, определите, в каком из них степень окисления металла наибольшая, а в каком – наименьшая. **(20 баллов)**

Решение. В ряду веществ **X** – **Y** – **Z** степень окисления металла увеличивается. Вещество **Z** – настолько сильный окислитель, что окисляет воду. Таким свойством из соединений *3d*-металлов обладают соединения Fe^{+6} , тогда **Y** содержит Fe^{+3} , **X** – Fe^{+2} .

X – $\text{Fe}(\text{OH})_2$, **Y** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, **Z** – K_2FeO_4 .

Уравнения реакций:



Ответы **Z** – KMnO_4 или **Z** – K_2CrO_4 – **неправильные**, так как эти вещества не окисляют воду в нейтральном растворе.

Ответ: **X** – $\text{Fe}(\text{OH})_2$, **Y** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, **Z** – K_2FeO_4 .

Баллы: формулы веществ – по 4 балла, уравнения – по 2 балла (1 балл, если не уравнено). За элементы Cr и Mn ставились частичные баллы. За ответ про степени окисления – 4 балла (но только, если не определены вещества).