

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» ПО ХИМИИ

Отборочный тур НОЯБРЬ, 10-11 классы

ЗАДАНИЕ 1

1.1. Назовите два атома, у каждого из которых в основном состоянии общее число d -электронов в два раза больше общего числа s -электронов, запишите их электронные конфигурации. **(4 балла)**

Ответ: например, олово Sn: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^2$,
теллур Te: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^6 4d^{10} 5s^2 5p^4$.

1.2. Назовите два атома, у каждого из которых в основном состоянии общее число s -электронов в полтора раза меньше общего числа p -электронов, запишите их электронные конфигурации. **(4 балла)**

Ответ: например, скандий Sc: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^1$, неон Ne: $1s^2 2s^2 2p^6$.

1.3. Назовите два атома, у каждого из которых в основном состоянии общее число s -электронов в два раза меньше общего числа p -электронов, запишите их электронные конфигурации. **(4 балла)**

Ответ: например, селен Se: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^4$, аргон Ar: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$.

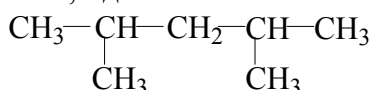
1.4. Назовите два атома, у каждого из которых в основном состоянии общее число d -электронов в полтора раза меньше общего числа p -электронов, запишите их электронные конфигурации. **(4 балла)**

Ответ: например, никель Ni: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^8$,
мышьяк As: $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4s^2 3d^{10} 4p^3$.

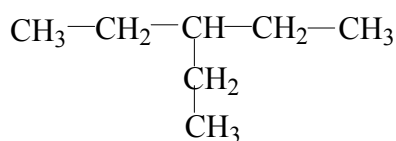
ЗАДАНИЕ 2

2.1. Приведите структурные формулы двух изомерных углеводородов C_7H_{16} , каждый из которых при хлорировании на свету может образовать одно первичное, одно вторичное и одно третичное хлорпроизводное. Назовите эти углеводороды. **(6 баллов)**

Ответ: 2,4-диметилпентан



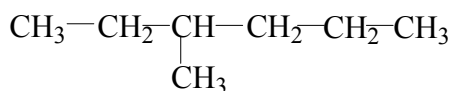
3-этилпентан



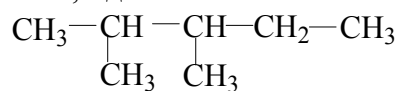
В каждой из структур все метильные группы CH_3 эквивалентны, точно так же, как метиленовые CH_2 и метиновые CH .

2.2. Приведите структурные формулы двух изомерных углеводородов C_7H_{16} , каждый из которых при хлорировании на свету может образовать три первичных хлорпроизводных. Назовите эти углеводороды. **(6 баллов)**

Ответ: 3-метилгексан



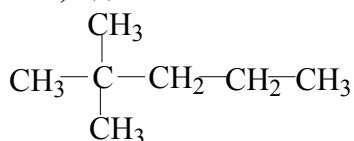
2,3-диметилпентан



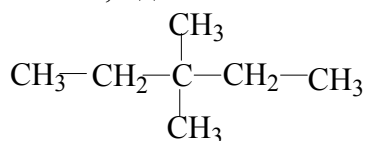
В каждой из структур имеются три неэквивалентные метильные группы CH_3 .

2.3. Приведите структурные формулы двух изомерных углеводородов C_7H_{16} , каждый из которых при хлорировании на свету может образовать два первичных хлорпроизводных, но не образует третичных. Назовите эти углеводороды. **(6 баллов)**

Ответ: 2,2-диметилпентан



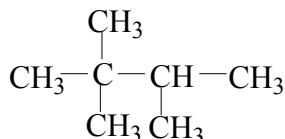
3,3-диметилпентан



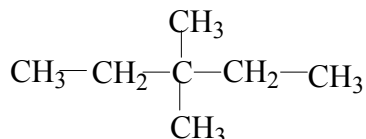
В каждой из структур имеются две неэквивалентные метильные группы CH_3 , а метиновые группы CH , включающие третичный атом углерода, отсутствуют.

2.4. Приведите структурные формулы двух изомерных углеводородов C_7H_{16} , первый из которых при хлорировании на свету может образовать одно третичное хлорпроизводное, но не образует вторичных, а другой в таких же условиях образует одно вторичное хлорпроизводное, но не образует третичных. Назовите эти углеводороды. **(6 баллов)**

Ответ: 2,2-диметилпентан



3,3-диметилпентан



В первой структуре имеется группа CH , включающая третичный атом углерода, а метиленовых групп CH_2 нет. Во второй структуре есть две эквивалентные метиленовые группы, включающие вторичные атомы углерода, а третичных атомов углерода нет.

ЗАДАНИЕ 3

3.1. Известны содержащие азот соединения XNY_5 и X_2NY_7 . Массовая доля азота в одном из соединений равна 45.16%, в другом – 31.11%. Расшифруйте эти соединения и запишите уравнения их взаимодействия с соляной кислотой. **(6 баллов)**

Решение. Обозначим атомную массу элемента X за x , а массу элемента Y за y . Каждое из соединений включает один атом азота, значит, массовая доля азота должна быть ниже в более тяжелом соединении. В XNY_5

$$\omega(\text{N}) = \frac{14}{x + 14 + 5y} = 0.4516,$$

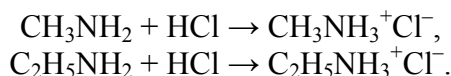
а в X_2NY_7

$$\omega(\text{N}) = \frac{14}{2x + 14 + 7y} = 0.3111.$$

Решение системы

$$\begin{cases} x + 5y = 17; \\ 2x + 7y = 31. \end{cases}$$

дает $x = 12$, $y = 1$, эти массы соответствуют углероду и водороду. Искомые соединения – это CH_3NH_2 и $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$, метиламин и этиламин. Реакции с соляной кислотой приводят к образованию солей:



Ответ: CH_3NH_2 и $\text{C}_2\text{H}_5\text{NH}_2$.

3.2. Известны содержащие углерод соединения XC_2Y_2 и $\text{X}_2\text{C}_2\text{Y}_2$. Массовая доля углерода в одном из соединений равна 40.0%, в другом – 26.09%. Расшифруйте эти соединения и запишите уравнения их взаимодействия с хлором в водном растворе. (**6 баллов**)

Решение. Обозначим атомную массу элемента **X** за x , а массу элемента **Y** за y . Каждое из соединений включает один атом углерода, значит, массовая доля углерода должна быть ниже в более тяжелом соединении. В XC_2Y_2

$$\omega(\text{C}) = \frac{12}{x + 12 + 2y} = 0.40,$$

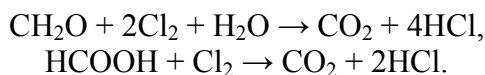
а в $\text{X}_2\text{C}_2\text{Y}_2$

$$\omega(\text{C}) = \frac{12}{2x + 12 + 2y} = 0.2609.$$

Решение системы

$$\begin{cases} x + 2y = 18; \\ 2x + 2y = 34. \end{cases}$$

дает $x = 16$, $y = 1$, эти массы соответствуют кислороду и водороду. Искомые соединения – это CH_2O и CH_2O_2 , формальдегид и муравьиная кислота. Оба соединения в водном растворе окисляются хлором:



Ответ: CH_2O и HCOOH .

3.3. Известны содержащие хлор соединения XC_2Cl_3 и $\text{X}_2\text{C}_2\text{Cl}_3$. Массовая доля хлора в одном из соединений равна 70.3%, а в другом – 55.04%. Расшифруйте эти соединения и запишите уравнения их реакции с избытком аммиака. (**6 баллов**)

Решение. Обозначим атомную массу элемента **X** за x , а массу элемента **Y** за y . Каждое из соединений включает один атом хлора, значит, массовая доля хлора должна быть ниже в более тяжелом соединении. В XC_2Cl_3

$$\omega(\text{Cl}) = \frac{35.5}{x + 35.5 + 3y} = 0.703,$$

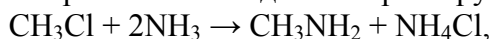
а в $\text{X}_2\text{C}_2\text{Cl}_3$

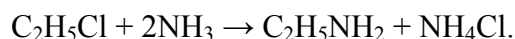
$$\omega(\text{Cl}) = \frac{35.5}{2x + 35.5 + 5y} = 0.5504.$$

Решение системы

$$\begin{cases} x + 3y = 15; \\ 2x + 5y = 29. \end{cases}$$

дает $x = 12$, $y = 1$, эти массы соответствуют углероду и водороду. Искомые соединения – это CH_3Cl и $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$, хлорметан и хлорэтан. Оба соединения реагируют с избытком аммиака:





Ответ: CH_3Cl и $\text{C}_2\text{H}_5\text{Cl}$.

3.4. Известны содержащие бром соединения X_2BrY_3 и XBrY_3 . Массовая доля брома в одном из соединений равна 74.77%, а в другом – 84.21%. Расшифруйте эти соединения и запишите уравнения их реакции с кислородом. **(6 баллов)**

Решение. Обозначим атомную массу элемента X за x , а массу элемента Y за y . Каждое из соединений включает один атом брома, значит, массовая доля брома должна быть ниже в более тяжелом соединении. В XBrY_3

$$\omega(\text{Br}) = \frac{80}{x + 80 + 3y} = 0.8421,$$

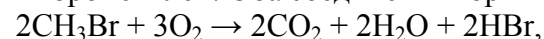
а в X_2BrY_3

$$\omega(\text{Br}) = \frac{80}{2x + 80 + 3y} = 0.7477.$$

Решение системы

$$\begin{cases} x + 3y = 15; \\ 2x + 3y = 27. \end{cases}$$

дает $x = 12$, $y = 1$, эти массы соответствуют углероду и водороду. Искомые соединения – это CH_3Br и $\text{C}_2\text{H}_3\text{Br}$, бромметан и бромэтилен. Оба соединения горят в кислороде:



Ответ: $\text{H}_2\text{C}=\text{CHBr}$ и CH_3Br .

ЗАДАНИЕ 4

4.1. Природный магний представляет собой смесь трех изотопов. Относительные атомные массы ^{24}Mg и ^{25}Mg и их содержание в природной смеси равны, соответственно, 23.98504 а.е.м. (мольная доля 78.99%) и 24.985584 а.е.м. (10.0%). Определите массовое число третьего изотопа и рассчитайте его относительную атомную массу. **(6 баллов)**

Решение. В таблице Д.И. Менделеева указана средняя относительная масса магния – 24.305 а.е.м. Она рассчитана исходя из масс и мольных долей изотопов. Найдем мольную долю третьего изотопа с неизвестной относительной атомной массой A_r :

$$x = 1 - 0.7899 - 0.10 = 0.1101,$$

тогда $24.305 = 0.7899 \cdot 23.98504 + 0.10 \cdot 24.985584 + 0.1101 \cdot A_r$,

отсюда находим $A_r = 25.9824$ а.е.м. – это ^{26}Mg .

Ответ: ^{26}Mg , 25.9824 а.е.м.

4.2. Известны четыре стабильных изотопа хрома. Относительные атомные массы ^{52}Cr , ^{53}Cr и ^{54}Cr и их содержание в природной смеси равны, соответственно, 51.940508 а.е.м. (мольная доля 83.79%), 52.940649 а.е.м. (9.50%) и 53.938880 а.е.м. (2.365%). Определите массовое число четвертого изотопа и рассчитайте его относительную атомную массу. **(6 баллов)**

Решение. В таблице Д.И. Менделеева указана средняя относительная атомная масса хрома – 51.996 а.е.м. Она рассчитана исходя из масс и мольных долей изотопов. Найдем мольную долю четвертого изотопа с неизвестной относительной атомной массой A_r :

$$x = 1 - 0.8379 - 0.0950 - 0.02365 = 0.04345,$$

тогда $51.996 = 0.8379 \cdot 51.940508 + 0.095 \cdot 52.940649 + 0.02365 \cdot 53.938880 + 0.04345 \cdot A_r$,

отсюда находим $A_r = 49.9432$ а.е.м. – это ^{50}Cr .

Ответ: ^{50}Cr , 49. 9432 а.е.м.

4.3. Природный стронций представляет собой смесь четырех изотопов. Относительные атомные массы ^{84}Sr , ^{86}Sr и ^{88}Sr и их содержание в природной смеси равны, соответственно, 83.913425 а.е.м. (мольная доля 0.5%), 85.9092602 а.е.м. (9.8%), 87.905612 а.е.м. (82.7%). Определите массовое число четвертого изотопа и рассчитайте его относительную атомную массу. **(6 баллов)**

Решение. В таблице Д.И. Менделеева указана средняя относительная атомная масса стронция – 87.62 а.е.м. Она рассчитана исходя из масс и мольных долей изотопов. Найдем мольную долю четвертого изотопа с неизвестной относительной атомной массой A_r :

$$x = 1 - 0.005 - 0.098 - 0.827 = 0.07,$$

тогда $87.62 = 0.005 \cdot 83.913425 + 0.098 \cdot 85.9092602 + 0.827 \cdot 87.905612 + 0.07 \cdot A_r$,
отсюда находим $A_r = 86.9055$ а.е.м. – это ^{87}Sr .

Ответ: ^{87}Sr , 86.9055 а.е.м.

4.4. Природный кремний представляет собой смесь трех изотопов. Относительные атомные массы ^{28}Si и ^{29}Si и их содержание в природной смеси равны, соответственно, 27.976927 а.е.м. (мольная доля 92.23 %) и 28.976495 а.е.м. (4.67%). Определите массовое число третьего изотопа и рассчитайте его относительную атомную массу. **(6 баллов)**

Решение. В таблице Д.И. Менделеева указана средняя относительная масса кремния – 28.0855 а.е.м. Она рассчитана исходя из масс и мольных долей изотопов. Найдем мольную долю третьего изотопа с неизвестной относительной атомной массой A_r :

$$x = 1 - 0.9223 - 0.0467 = 0.031,$$

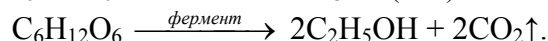
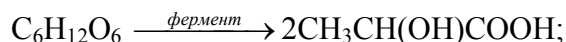
тогда $28.0855 = 0.9223 \cdot 27.976927 + 0.0467 \cdot 28.976495 + 0.031 \cdot A_r$,
отсюда находим $A_r = 29.9735$ а.е.м. – это ^{30}Si .

Ответ: ^{30}Si , 29.9735 а.е.м.

ЗАДАНИЕ 5

5.1. Квас – это продукт молочнокислого и спиртового брожения сахаристых веществ. Для приготовления 2 л домашнего кваса использовали сырье, содержащее 45.28 г глюкозы. В результате брожения был получен напиток, массовая доля спирта в котором составила 1.15%. Определите pH кваса, считая, что его кислотность обусловлена только молочной кислотой ($K_{\text{дис}} = 1.38 \cdot 10^{-4}$), плотность кваса равна 1 г/мл, а реакции брожения прошли количественно. **(10 баллов)**

Решение. Реакции молочнокислого и спиртового брожения глюкозы приводят к образованию молочной кислоты и этанола соответственно:



Всего было использовано глюкозы

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_{\text{исх}} = 45.28 / 180 = 0.2516 \text{ моль.}$$

Масса и количество спирта в полученной порции кваса (2000 г) равны

$$m(\text{спирта}) = 0.0115 \cdot 2000 = 23.0 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{спирта}) = 23 / 46 = 0.50 \text{ моль.}$$

Количество глюкозы, затраченной на получение спирта, составляет

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_1 = 0.5 \cdot \nu(\text{спирта}) = 0.25 \text{ моль.}$$

Значит, на получение молочной кислоты пошло

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_2 = 0.2516 - 0.25 = 0.0016 \text{ моль}$$

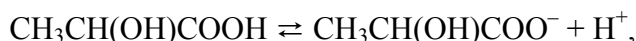
глюкозы, и количество полученной молочной кислоты равно

$$\nu(\text{кислоты}) = 2 \cdot \nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_2 = 0.0032 \text{ моль.}$$

Молярная концентрация молочной кислоты составляет

$$c = \nu / V = 0.0032 / 2 = 0.0016 \text{ моль/л.}$$

Молочная кислота частично диссоциирует:



Запишем выражение для константы диссоциации кислоты, обозначив за x концентрацию H^+ :

$$K_{\text{дис}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$
$$1.38 \cdot 10^{-4} = \frac{x^2}{0.0016 - x}.$$

Получаем квадратное уравнение:

$$x^2 + 1.38 \cdot 10^{-4}x - 2.208 \cdot 10^{-7} = 0,$$

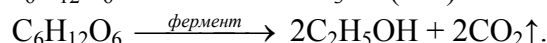
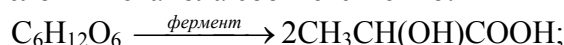
решение которого $x = 4.06 \cdot 10^{-4}$ моль/л. Тогда pH напитка составляет

$$\text{pH} = -\lg[\text{H}^+] = -\lg(4.06 \cdot 10^{-4}) = 3.39.$$

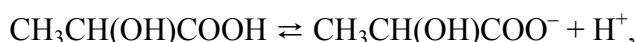
Ответ: 3.39.

5.2. Квас – это продукт молочнокислого и спиртового брожения сахаристых веществ. Для приготовления 1200 мл домашнего кваса использовали сырье, содержащее 28.26 г глюкозы. В результате брожения был получен напиток с pH, равным 3.383. Рассчитайте массовую долю спирта в квасе, считая, что его кислотность обусловлена только молочной кислотой ($K_{\text{дис}} = 1.38 \cdot 10^{-4}$), плотность кваса равна 1 г/мл, а реакции брожения прошли количественно. **(10 баллов)**

Решение. Реакции молочнокислого и спиртового брожения глюкозы приводят к образованию молочной кислоты и этанола соответственно:



Молочная кислота частично диссоциирует:



Зная pH раствора, можно рассчитать концентрацию H^+ :

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3.383} = 4.14 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Запишем выражение для константы диссоциации кислоты и найдем концентрацию образовавшейся при брожении молочной кислоты:

$$K_{\text{дис}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$
$$1.38 \cdot 10^{-4} = \frac{(4.14 \cdot 10^{-4})^2}{c - 4.14 \cdot 10^{-4}},$$

откуда получаем $c = 1.656 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Количество кислоты равно

$$\nu(\text{кислоты}) = c \cdot V = 1.656 \cdot 10^{-3} \cdot 1.2 = 1.987 \cdot 10^{-3} \text{ моль,}$$

тогда количество глюкозы, затраченной на получение молочной кислоты, составляет

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_1 = 0.5 \cdot \nu(\text{кислоты}) = 9.94 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Всего глюкозы было

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_{\text{исх}} = 28.26 / 180 = 0.157 \text{ моль.}$$

Тогда на получение этилового спирта глюкозы пошло

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_2 = 0.157 - 9.94 \cdot 10^{-4} = 0.156 \text{ моль,}$$

$$\nu(\text{спирта}) = 2\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_2 = 0.312 \text{ моль,}$$

$$m(\text{спирта}) = 46 \cdot 0.312 = 14.35 \text{ г.}$$

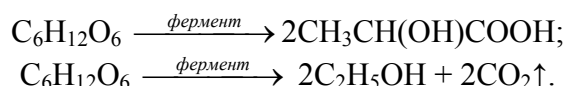
Массовая доля спирта в квасе составляет

$$\omega(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 14.35 / 1200 = 0.012 \text{ (или 1.2\%).}$$

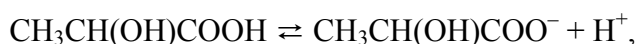
Ответ: 1.2%.

5.3. Квас – это продукт молочнокислого и спиртового брожения сахаристых веществ. Для приготовления 1400 мл домашнего кваса использовали сырье, содержащее 57 г глюкозы. В результате брожения был получен напиток с рН, равным 3.161, а массовая доля спирта в квасе оказалась равной 1.2%. Определите выход реакций брожения по каждому из путей. Примите, что плотность кваса равна 1 г/мл, а его кислотность обусловлена только молочной кислотой ($K_{\text{дис}} = 1.38 \cdot 10^{-4}$). (10 баллов)

Решение. Реакции молочнокислого и спиртового брожения глюкозы приводят к образованию молочной кислоты и этанола соответственно:



Молочная кислота частично диссоциирует:



Зная рН раствора, можно рассчитать концентрацию H^+ :

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3.161} = 6.9 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Запишем выражение для константы диссоциации кислоты и найдем концентрацию образовавшейся при брожении молочной кислоты:

$$\begin{aligned} K_{\text{дис}} &= \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]}, \\ 1.38 \cdot 10^{-4} &= \frac{(6.9 \cdot 10^{-4})^2}{c - 6.9 \cdot 10^{-4}}, \end{aligned}$$

откуда получаем $c = 4.14 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Количество образовавшейся молочной кислоты равно $\nu(\text{кислоты}) = c \cdot V = 4.14 \cdot 10^{-3} \cdot 1.4 = 5.8 \cdot 10^{-3}$ моль.

Всего глюкозы было

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 57 / 180 = 0.317 \text{ моль.}$$

Значит, максимальное возможное количество молочной кислоты, которое могло теоретически получиться из глюкозы, составляет

$$\nu(\text{кислоты})_{\text{теор}} = 2\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.634 \text{ моль,}$$

тогда выход реакции молочнокислого брожения равен

$$\eta = \nu(\text{кислоты}) / \nu(\text{кислоты})_{\text{теор}} = 5.8 \cdot 10^{-3} / 0.634 = 0.0091 \text{ (или 0.91\%).}$$

В полученной порции кваса (1400 г) содержится спирта

$$\begin{aligned} m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) &= 0.012 \cdot 1400 = 16.8 \text{ г,} \\ \nu(\text{спирта}) &= 16.8 / 46 = 0.365 \text{ моль.} \end{aligned}$$

Из всего исходного количества глюкозы можно было получить

$$\nu(\text{спирта})_{\text{теор}} = 2\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 0.634 \text{ моль.}$$

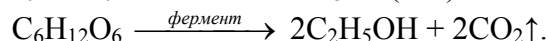
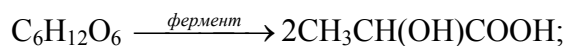
Значит, выход реакции спиртового брожения составил

$$\eta = \nu(\text{спирта}) / \nu(\text{спирта})_{\text{теор}} = 0.365 / 0.634 = 0.576 \text{ (или 57.6\%).}$$

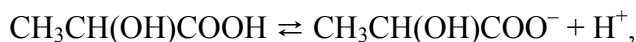
Ответ: выход реакции молочнокислого брожения 0.91%, выход реакции спиртового брожения 57.6%.

5.4. Квас – это продукт молочнокислого и спиртового брожения сахаристых веществ. Рассчитайте массу глюкозы, подвергнутой брожению, в результате которого было получено 1.5 л домашнего кваса с рН, равным 3.383. Массовая доля спирта в квасе составила 1.3%. Примите, что плотность напитка равна 1 г/мл, его кислотность обусловлена только молочной кислотой ($K_{\text{дис}} = 1.38 \cdot 10^{-4}$), а реакции брожения прошли количественно. (10 баллов)

Решение. Реакции молочнокислого и спиртового брожения глюкозы приводят к образованию молочной кислоты и этанола соответственно:



Молочная кислота частично диссоциирует:



Зная pH раствора, можно рассчитать концентрацию H^+ :

$$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}} = 10^{-3.383} = 4.14 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Запишем выражение для константы диссоциации кислоты и найдем концентрацию образовавшейся при брожении молочной кислоты:

$$K_{\text{дис}} = \frac{[\text{H}^+][\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{COO}^-]}{c - [\text{H}^+]} = \frac{[\text{H}^+]^2}{c - [\text{H}^+]},$$

$$1.38 \cdot 10^{-4} = \frac{(4.14 \cdot 10^{-4})^2}{c - 4.14 \cdot 10^{-4}},$$

откуда получаем $c = 1.656 \cdot 10^{-3}$ моль/л. Количество кислоты равно

$$\nu(\text{кислоты}) = c \cdot V = 1.656 \cdot 10^{-3} \cdot 1.5 = 2.484 \cdot 10^{-3} \text{ моль,}$$

тогда количество глюкозы, затраченной на получение молочной кислоты, равно

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_1 = 0.5 \cdot \nu(\text{кислоты}) = 1.242 \cdot 10^{-3} \text{ моль.}$$

В полученной порции кваса (1500 г) содержится спирта

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) = 0.013 \cdot 1500 = 19.5 \text{ г,}$$

$$\nu(\text{спирта}) = 19.5 / 46 = 0.424 \text{ моль.}$$

Тогда глюкозы на получение этилового спирта пошло

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_2 = 0.5 \cdot \nu(\text{спирта}) = 0.212 \text{ моль.}$$

Всего глюкозы было

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6)_{\text{исх}} = 1.242 \cdot 10^{-3} + 0.212 = 0.2132 \text{ моль.}$$

$$m(\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6) = 180 \cdot 0.2132 = 38.384 \text{ г.}$$

Ответ: 38.384 г.

ЗАДАНИЕ 6

6.1. При охлаждении водного раствора нитрата неизвестного металла было получено 0.3 моль кристаллогидрата, в котором массовая доля безводной соли составляет 59.50%, а масса кристаллизационной воды на 22.8 г меньше массы безводной соли. Определите состав кристаллогидрата. (12 баллов)

Решение. Пусть в осадок выпало m г кристаллогидрата $\text{Me}(\text{NO}_3)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Обозначим через A молярную массу безводного нитрата $\text{Me}(\text{NO}_3)_x$. Тогда по условию задачи:

$$m = 0.3(A + 18n),$$

$$0.3A = 0.5950m,$$

$$0.3(A - 18n) = 22.8.$$

Решив систему из трех уравнений, получаем $m = 120$ г, $A = 238$ г/моль, $n = 9$. Для установления состава необходимо определить неизвестный металл, валентность x которого нам также не известна. Пусть M – атомная масса металла. Предположим, что металл одновалентный, тогда

$$M + 62 = 238, M = 176 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл двухвалентный, тогда

$$M + 62 \cdot 2 = 238, M = 114 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл трехвалентный, тогда

$$M + 62 \cdot 3 = 238, M = 52 \text{ г/моль, это хром. Состав кристаллогидрата – } \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}.$$

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

6.2. При охлаждении водного раствора сульфата неизвестного металла было получено 0.2 моль кристаллогидрата, в котором массовая доля безводной соли составляет 61.29%, а масса

кристаллизационной воды на 25.2 г меньше массы безводной соли. Определите состав кристаллогидрата. **(12 баллов)**

Решение. Пусть в осадок выпало m г кристаллогидрата $\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Обозначим через A молярную массу безводного сульфата $\text{Me}_x(\text{SO}_4)_y$. Тогда по условию:

$$\begin{aligned}m &= 0.2(A + 18n), \\0.2A &= 0.6129m, \\0.2(A - 18n) &= 25.2.\end{aligned}$$

Решив систему из трех уравнений, получаем $m = 111.6$ г, $A = 342$ г/моль, $n = 12$. Для установления состава необходимо определить неизвестный металл, валентность которого нам также не известна. Пусть M – атомная масса металла. Предположим, что металл одновалентный, тогда

$$2M + 96 = 342, M = 123 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл двухвалентный, тогда

$$M + 96 = 342, M = 246 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл трехвалентный, тогда

$$2M + 3 \cdot 96 = 342, M = 27 \text{ г/моль. Это алюминий.}$$

Состав кристаллогидрата – $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

3. При охлаждении водного раствора нитрата неизвестного металла было получено 0.4 моль кристаллогидрата, в котором массовая доля безводной соли составляет 59.90%, а масса кристаллизационной воды на 32.0 г меньше массы безводной соли. Определите состав кристаллогидрата. **(12 баллов)**

Решение. Пусть в осадок выпало m г кристаллогидрата $\text{Me}(\text{NO}_3)_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Обозначим через A молярную массу безводного нитрата $\text{Me}(\text{NO}_3)_x$. Тогда по условию:

$$\begin{aligned}m &= 0.4(A + 18n), \\0.4A &= 0.5990m, \\0.4(A - 18n) &= 32.0.\end{aligned}$$

Решив систему из трех уравнений, получаем $m = 161.6$ г, $A = 242$ г/моль, $n = 9$. Для установления состава необходимо определить неизвестный металл, валентность которого нам также не известна. Пусть M – атомная масса металла. Предположим, что металл одновалентный, тогда

$$M + 62 = 242, M = 180 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл двухвалентный, тогда

$$M + 2 \cdot 62 = 242, M = 118 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

Если металл трехвалентный, тогда

$$M + 3 \cdot 62 = 242, M = 56 \text{ г/моль. Это железо. Состав кристаллогидрата } \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}.$$

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

4. При охлаждении водного раствора хлорида неизвестного металла было получено 0.6 моль кристаллогидрата, в котором массовая доля безводной соли составляет 55.28%, а масса кристаллизационной воды на 15.3 г меньше массы безводной соли. Определите состав кристаллогидрата. **(12 баллов)**

Решение. Пусть в осадок выпало m г кристаллогидрата $\text{MeCl}_x \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Обозначим через A молярную массу безводного хлорида MeCl_x . Тогда по условию:

$$\begin{aligned}m &= 0.6(A + 18n), \\0.6A &= 0.5528m, \\0.6(A - 18n) &= 15.3.\end{aligned}$$

Решив систему из трех уравнений, получаем $m = 144.9$ г, $A = 133.5$ г/моль, $n = 6$. Для установления состава необходимо определить неизвестный металл, валентность которого нам также не известна. Пусть M – атомная масса металла. Предположим, что металл одновалентный, тогда

$$M + 35.5 = 133.5, M = 98 \text{ г/моль. Такого металла нет (Tc – не подходит).}$$

Если металл двухвалентный, тогда

$$M + 2 \cdot 35.5 = 133.5, M = 62.5 \text{ г/моль. Такого металла нет.}$$

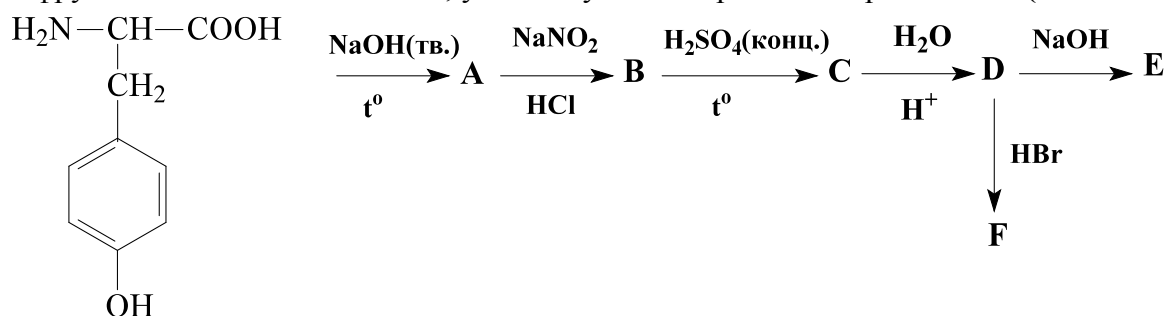
Если металл трехвалентный, тогда

$$M + 3 \cdot 35.5 = 133.5, M = 27 \text{ г/моль. Это алюминий. Состав кристаллогидрата } AlCl_3 \cdot 6H_2O.$$

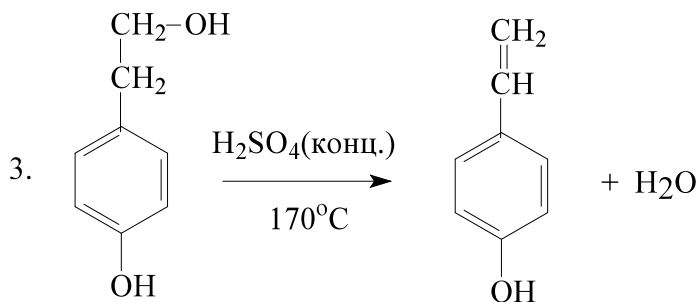
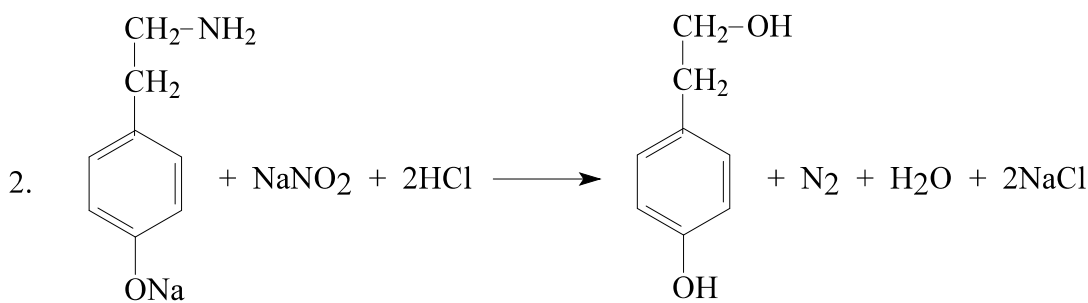
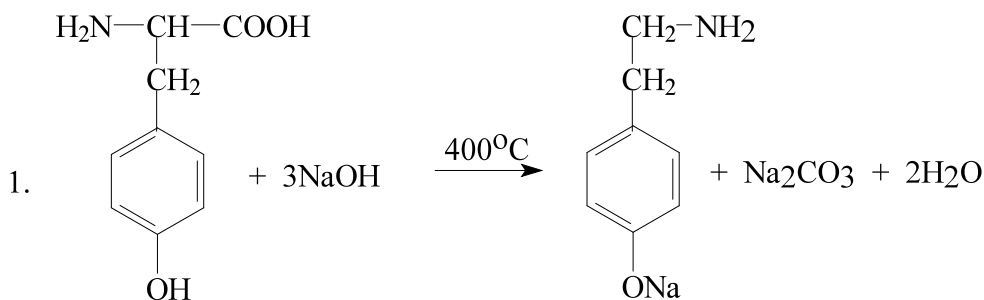
Ответ: $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

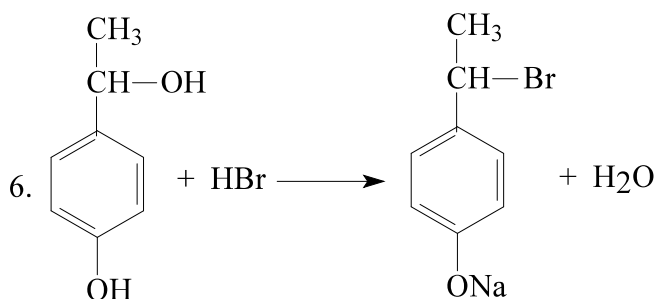
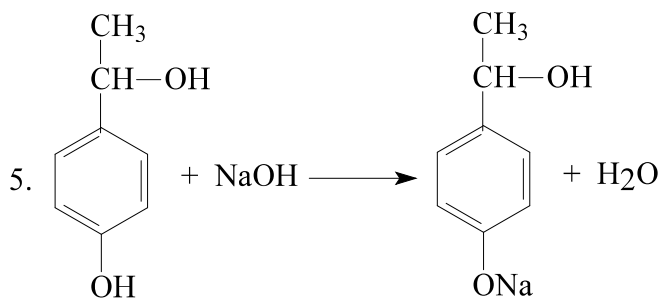
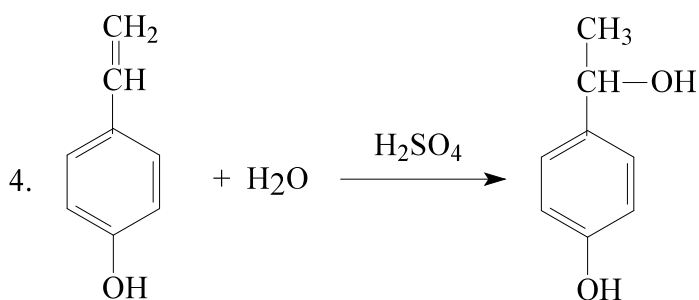
ЗАДАНИЕ 7

7.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия проведения реакций. (12 баллов)

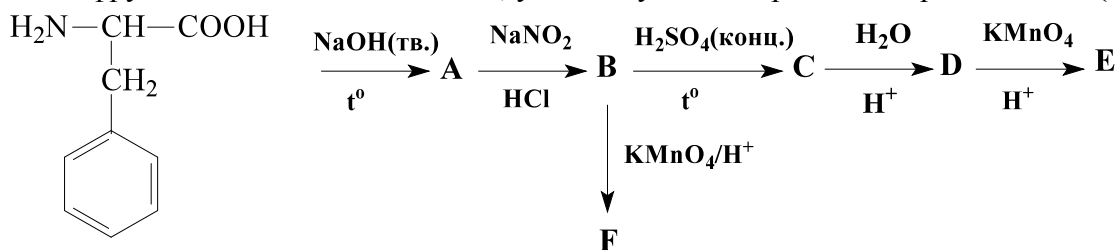


Решение:

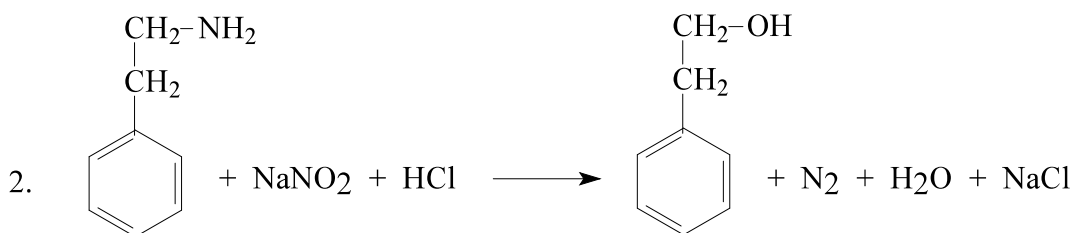
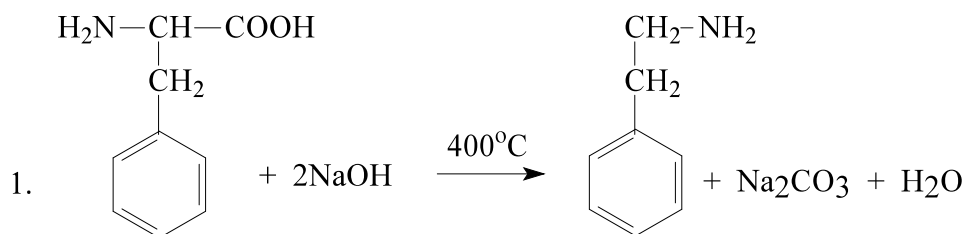


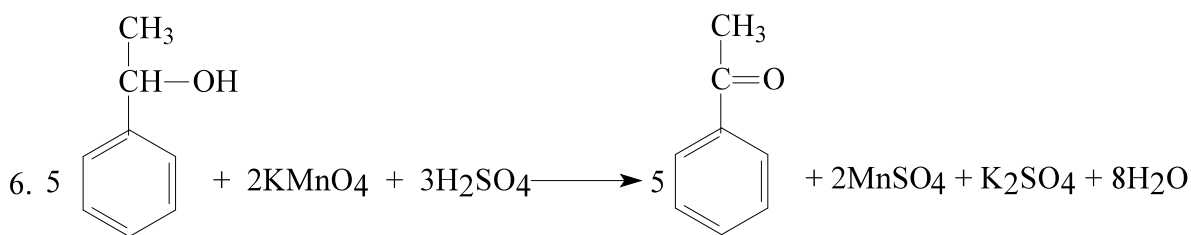
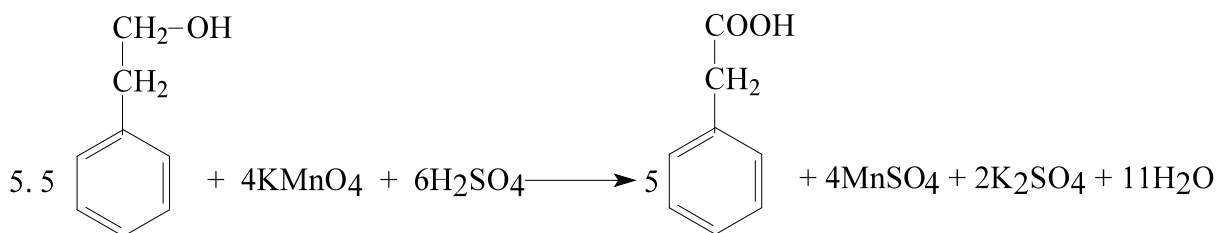
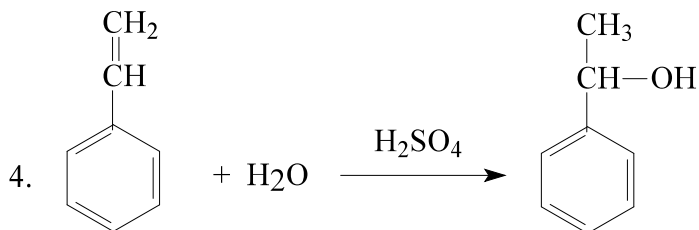
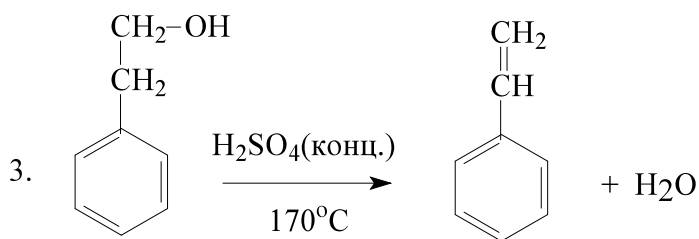


7.2. Запишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия проведения реакций. (12 баллов)

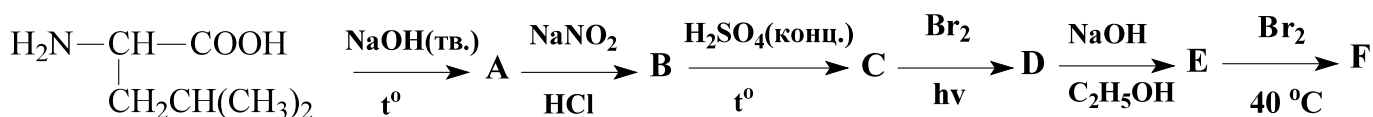


Решение:

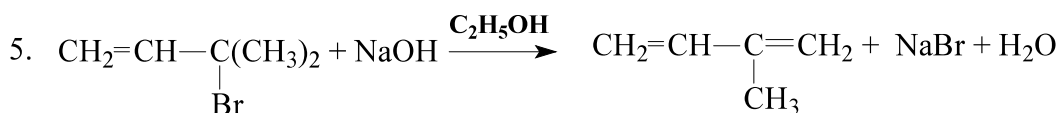
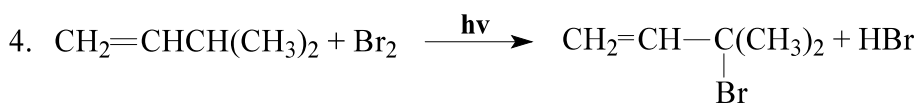
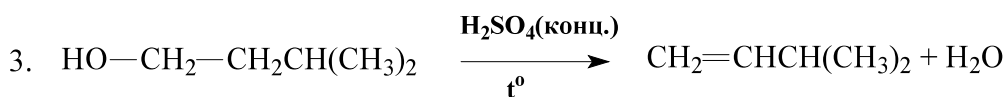
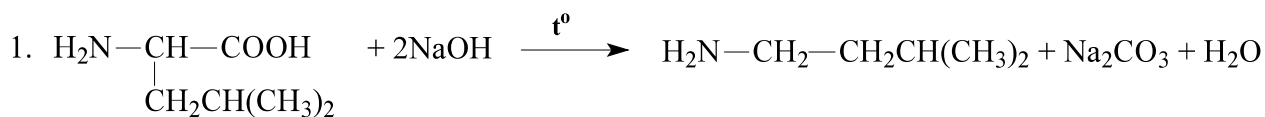


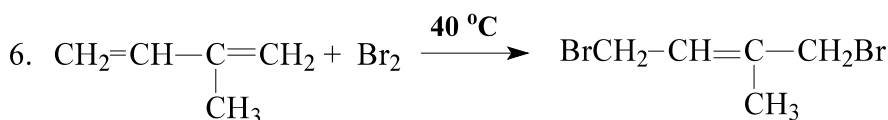


7.3. Запишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия проведения реакций. (12 баллов)

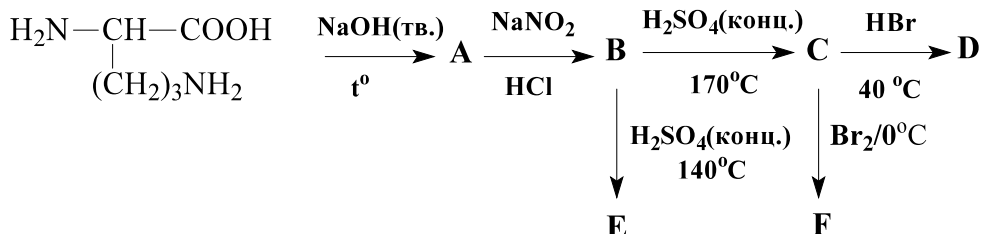


Решение:

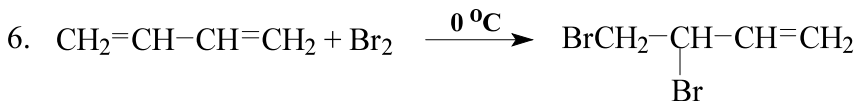
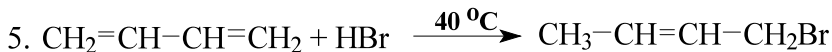
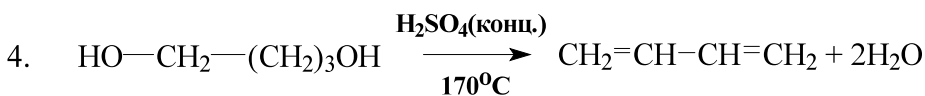
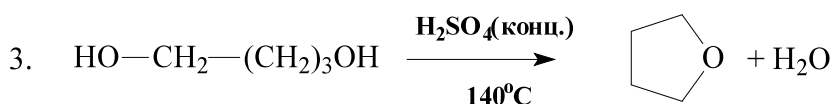
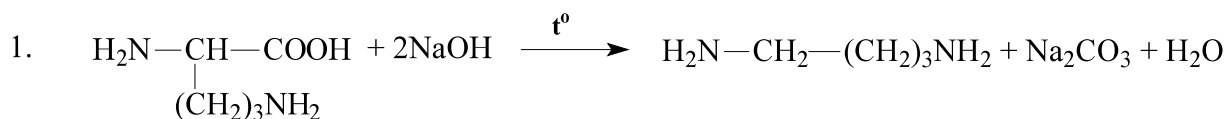




7.4. Запишите уравнения реакций, соответствующих приведенным ниже превращениям. Расшифруйте неизвестные вещества, укажите условия проведения реакций. (12 баллов)

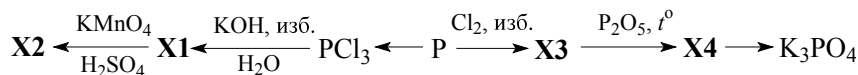


Решение:

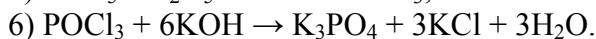
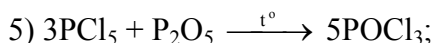
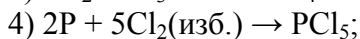
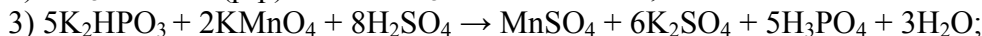
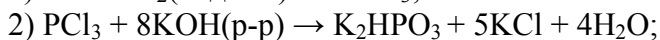


ЗАДАНИЕ 8

8.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все неизвестные вещества содержат фосфор). (12 баллов)

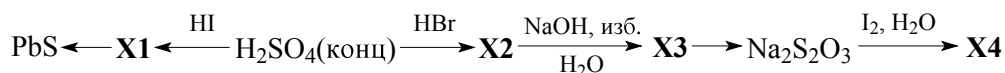


Решение.



Ответ: X1 – K₂HPO₃, X2 – H₃PO₄, X3 – PCl₅, X4 – POCl₃.

8.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все неизвестные вещества содержат серу). **(12 баллов)**

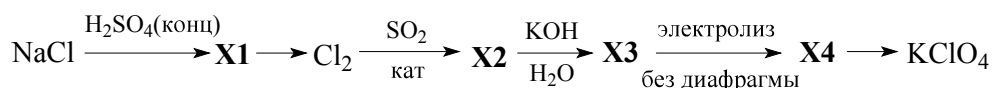


Решение.

- 1) $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) + 8\text{HI} \rightarrow 4\text{I}_2 + \text{H}_2\text{S} + 4\text{H}_2\text{O}$;
- 2) $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{PbS} \downarrow + 2\text{HNO}_3$;
- 3) $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) + 2\text{HBr} \rightarrow \text{Br}_2 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 4) $\text{SO}_2 + 2\text{NaOH}(\text{изб}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O}$;
- 5) $\text{Na}_2\text{SO}_3(\text{p-p}) + \text{S} \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$;
- 6) $2\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{NaI} + \text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

Ответ: **X1** – H_2S , **X2** – SO_2 , **X3** – Na_2SO_3 , **X4** – $\text{Na}_2\text{S}_4\text{O}_6$.

8.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все неизвестные вещества содержат хлор). **(12 баллов)**

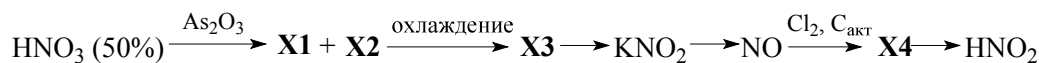


Решение.

- 1) $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4(\text{конц}) \rightarrow \text{HCl} + \text{NaHSO}_4$;
- 2) $\text{MnO}_2 + 4\text{HCl} \rightarrow \text{MnCl}_2 + \text{Cl}_2 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 3) $\text{Cl}_2 + \text{SO}_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} \text{SO}_2\text{Cl}_2$;
- 4) $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 4\text{KOH} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{KCl} + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 5) $\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{эл-лиз без диафр.}} \text{KClO}_3 + 3\text{H}_2 \uparrow$;
- 6) $4\text{KClO}_3 \xrightarrow{t^\circ \leq 150} 3\text{KClO}_4 + \text{KCl}$.

Ответ: **X1** – HCl , **X2** – SO_2Cl_2 , **X3** – KCl , **X4** – KClO_3 .

8.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все неизвестные вещества содержат азот). **(12 баллов)**



Решение.

- 1) $\text{HNO}_3(50\%) + \text{As}_2\text{O}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NO} \uparrow + \text{NO}_2 \uparrow + 2\text{H}_3\text{AsO}_4$;
- 2) $\text{NO} + \text{NO}_2 \xrightarrow{\text{охлаждение}} \text{N}_2\text{O}_3$;
- 3) $\text{N}_2\text{O}_3 + 2\text{KOH}(\text{p-p}) \rightarrow 2\text{KNO}_2 + \text{H}_2\text{O}$;
- 4) $2\text{KNO}_2 + 2\text{KI} + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{I}_2 \downarrow + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{NO} \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$;
- 5) $2\text{NO} + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{катализатор}} 2\text{NOCl}$;
- 6) $\text{NOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HNO}_2 + \text{HCl}$.

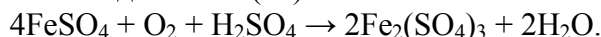
Ответ: **X1** – NO , **X2** – NO_2 , **X3** – N_2O_3 , **X4** – NOCl .

ЗАДАНИЕ 9

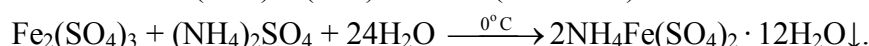
9.1. Навеску сине-зеленых кристаллов соли Мора растворили в воде, подкисленной серной кислотой. После пропускания через полученный раствор тока кислорода и охлаждения до 0°C выпал светло-сиреневый кристаллический осадок **A**. Кристаллы **A** снова растворили в воде при комнатной температуре и обработали раствором гидроксида калия, при этом выпал бурый осадок **B**. Этот осадок растворили в горячем щелочном растворе гипохлорита калия. К образовавшемуся красно-фиолетовому раствору добавили раствор хлорида бария, что привело к образованию фиолетового осадка **C**, содержащего 49.8% бария по массе. Определите состав соединений **A**, **B** и **C**, напишите уравнения всех упомянутых реакций.

(16 баллов)

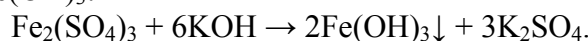
Решение. Соль Мора – $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. При пропускании через раствор этой соли кислорода железо(II) окисляется до железа(III):



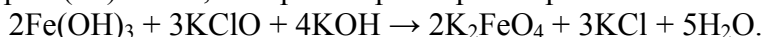
При охлаждении раствора после пропускания кислорода из него выпадают кристаллы железоаммонийных квасцов $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (осадок **A**):



Взаимодействие раствора квасцов со щелочью приводит к образованию осадка **B** – гидроксида железа(III) $\text{Fe}(\text{OH})_3$:



Обработка осадка $\text{Fe}(\text{OH})_3$ горячим щелочным раствором гипохлорита калия приводит к образованию феррата(VI) калия, который хорошо растворим:

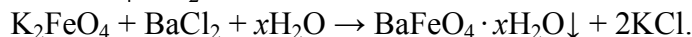


При добавлении раствора хлорида бария к красно-фиолетовому щелочному раствору, содержащему феррат(VI) калия, выпадает фиолетовый осадок феррата(VI) бария.

Расчет показывает, что в феррате(VI) бария содержится бария

$$\omega(\text{Ba}) = 137 / 257 = 0.533 \text{ (или 53.3\%)},$$

что не совпадает с условием задачи. Предположим, что осадок феррата(VI) бария выпадает в виде кристаллогидрата $\text{BaFeO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$:



Тогда

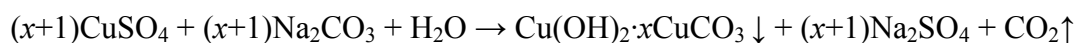
$$\omega(\text{Ba}) = 0.498 = 137 / (257 + 18x),$$

отсюда $x = 1$. Значит, состав осадка **C** – $\text{BaFeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Ответ: **A** – $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$, **B** – $\text{Fe}(\text{OH})_3$, **C** – $\text{BaFeO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

9.2. Навеску бледно-голубых кристаллов соли меди(II), состав которой аналогичен соли Мора, растворили в воде. После добавления раствора карбоната натрия к полученному раствору выпал голубовато-зеленый осадок **A**, содержащий 55.5% меди по массе, и выделился газ. Осадок **A** растворили в разбавленной соляной кислоте и пропустили в получившийся раствор ток сернистого газа, при этом выпал белый осадок **B**. Этот осадок растворили в концентрированной соляной кислоте. В образовавшийся бесцветный раствор пропустили ток сероводорода, при этом выпал темно-серый осадок **C**. Определите состав соединений **A**, **B** и **C**, напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(16 баллов)**

Решение. Аналог соли Мора для меди(II) – $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. При добавлении к раствору этой соли раствора карбоната натрия образуется осадок основного карбоната меди(II), состав которого можно представить, как $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot x\text{CuCO}_3$, и выделяется газ (CO_2):

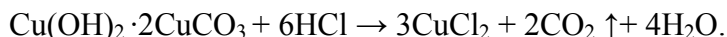


По условию задачи, массовая доля меди в осадке основного карбоната составляет 0.555:

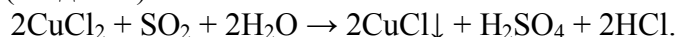
$$\omega(\text{Cu}) = \frac{64(x+1)}{64(x+1) + 34 + 60x} = 0.555,$$

отсюда $x = 2$. Состав осадка **A** – $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$.

При растворении основного карбоната меди в соляной кислоте образуется раствор хлорида меди(II):



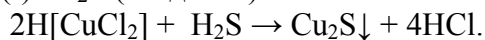
При пропускании в раствор хлорида меди(II) сернистого газа выпадает белый осадок хлорида меди(I) CuCl (осадок **В**):



Осадок хлорида меди(I) растворяется в концентрированной соляной кислоте:



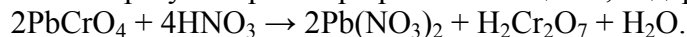
При пропускании в образовавшийся бесцветный раствор сероводорода выпадает темно-серый осадок сульфида меди(I) Cu_2S (осадок **С**):



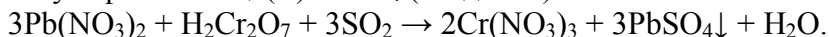
Ответ: **А** – $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{CuCO}_3$, **В** – CuCl , **С** – Cu_2S .

9.3. Образец красно-оранжевого минерала крокоита растворили в азотной кислоте. Пропускание через полученный оранжевый раствор тока сернистого газа привело к выпадению белого осадка **А**, содержащего 68.3% свинца по массе. Осадок **А** отделили от образовавшегося зеленого раствора. Добавление к этому раствору раствора карбоната натрия привело к выпадению грязно-зеленого осадка **В**. Осадок **В** растворили в разбавленной серной кислоте, добавили раствор сульфата калия и охладили смесь до 0°C , при этом образовался фиолетовый кристаллический осадок **С**. Определите состав соединений **А**, **В** и **С**. Напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(16 баллов)**

Решение. Минерал крокоит – хромат свинца(II) PbCrO_4 . При обработке этого минерала азотной кислотой образуется раствор оранжевого цвета, содержащий ионы $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$:



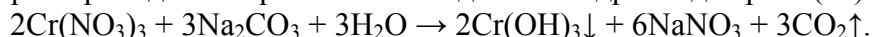
При пропускании через этот раствор тока сернистого газа выпадает белый осадок малорастворимого сульфата свинца(II) PbSO_4 (осадок **А**):



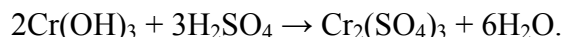
Состав осадка **А** подтверждается расчетом:

$$\omega(\text{Pb}) = 207 / 303 = 0.683,$$

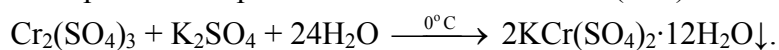
что соответствует условию задачи. Взаимодействие раствора нитрата хрома(III) с карбонатом натрия приводит к образованию осадка **В** – гидроксида хрома(III) $\text{Cr}(\text{OH})_3$:



При обработке осадка $\text{Cr}(\text{OH})_3$ раствором серной кислоты образуется раствор сульфата хрома(III):



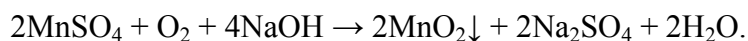
При добавлении к этому раствору раствора сульфата калия и охлаждении смеси до 0°C выпадают фиолетовые кристаллы хромокалиевых квасцов $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (осадок **С**):



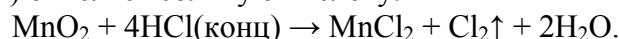
Ответ: **А** – PbSO_4 , **В** – $\text{Cr}(\text{OH})_3$, **С** – $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

9.4. Навеску красно-розовых кристаллов марганцевого купороса растворили в воде. После добавления раствора гидроксида натрия к полученному раствору в присутствии кислорода выпал коричневый осадок **А**. Осадок **А** растворили в концентрированной соляной кислоте и обработали получившийся бледно-розовый раствор раствором карбоната натрия, что привело к выпадению розового осадка **В**, содержащего 49.7% марганца по массе. Газообразные продукты в этой реакции не образовывались. Осадок **В** растворили в разбавленной серной кислоте. К получившемуся слабо-розовому раствору добавили пероксодисульфат аммония и каплю раствора нитрата серебра. Раствор стал фиолетово-малиновым, причем окраску ему придало соединение **С**. Определите состав соединений **А**, **В** и **С**, напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(16 баллов)**

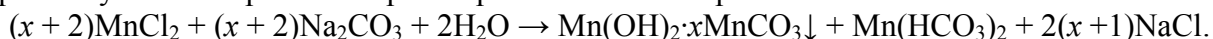
Решение. Марганцевый купорос – $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. При добавлении к раствору этой соли раствора гидроксида натрия в присутствии кислорода образуется осадок оксида марганца(IV) MnO_2 (осадок **A**):



Оксид марганца(IV) окисляет соляную кислоту:



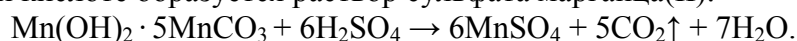
Добавление к получившемуся раствору хлорида марганца(II) раствора карбоната натрия приводит к выпадению розового осадка основного карбоната марганца, состав которого можно представить, как $\text{Mn}(\text{OH})_2 \cdot x\text{MnCO}_3$. В условии задачи отмечено, что газ в этой реакции не выделялся, а это означает, что гидролиз по аниону CO_3^{2-} прошел только по первой ступени и образовался растворимый кислый карбонат:



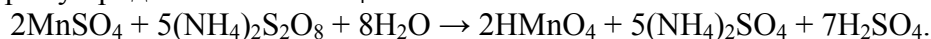
По условию задачи, массовая доля марганца в осадке основного карбоната составляет 0.497. Тогда

$$0.497 = \frac{55(x + 1)}{55(x + 1) + 34 + 60x},$$

отсюда $x = 5$. Состав осадка **B** – $\text{Mn}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{MnCO}_3$. При растворении основного карбоната марганца в серной кислоте образуется раствор сульфата марганца(II):



При добавлении к раствору сульфата марганца(II) пероксодисульфата аммония (в присутствии нитрата серебра как катализатора) образуется фиолетово-малиновый раствор, окраску которому придают ионы MnO_4^- :



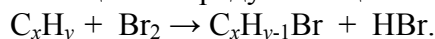
Соединение **C** – HMnO_4 .

Ответ: **A** – MnO_2 , **B** – $\text{Mn}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{MnCO}_3$, **C** – HMnO_4 .

ЗАДАНИЕ 10

10.1. Углеводород массой 4.48 г при бромировании дал одно монобромпроизводное массой 7.64 г, которое обработали спиртовым раствором щелочи, а затем – подкисленным раствором перманганата калия. Образовалось соединение **X**, при действии на него избытка иода в щелочной среде выпало 31.52 г светло-желтого осадка, который отделили. Рассчитайте максимальную массу бромэтана, способного вступить в реакцию с органическим соединением неразветвленного строения, содержащимся в маточном растворе. Определите все неизвестные вещества и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(16 баллов)**

Решение. Поскольку бромировании образовалось монобромпроизводное, то, скорее всего, речь идёт о радикальном замещении в ряду насыщенных углеводородов:



Зная массы исходного углеводорода и бромпроизводного, можно приравнять их количества вещества:

$$\frac{4.48}{12x + y} = \frac{7.64}{12x + y - 1 + 80}.$$

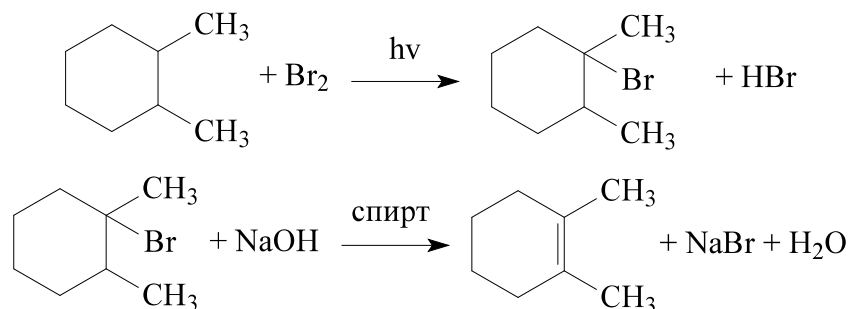
После подстановки $12x + y = z$ получаем $z = 112$. Такая масса соответствует $x = 8$, $y = 16$. Следовательно, искомым углеводород – циклоалкан C_8H_{16} в количестве

$$v(\text{C}_8\text{H}_{16}) = 4.48 / 112 = 0.04 \text{ моль}.$$

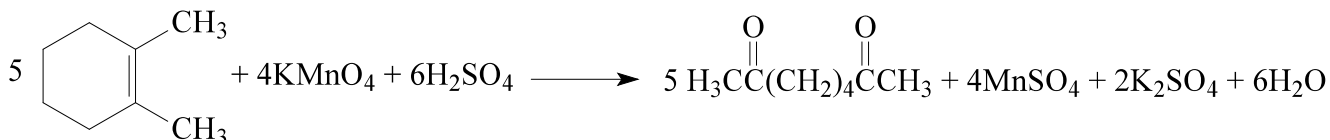
При дегидробромировании бромпроизводного был получен циклический алкен, при жёстком окислении которого образовалось соединение **X**, вступившее далее в галоформную реакцию. Из условий задачи можно рассчитать количество вещества иодоформа (светло-желтый осадок):

$$v(\text{CHI}_3) = 31.52 / 394 = 0.08 \text{ моль},$$

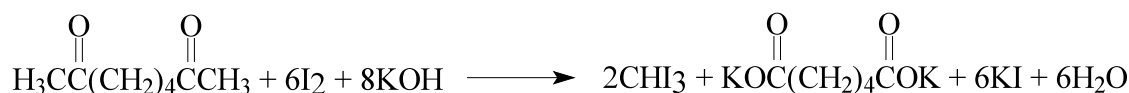
что в два раза больше количества вещества исходного углеводорода, следовательно, продукт окисления циклоалкена может вступить в галоформную реакцию дважды. Поскольку в маточном растворе осталось органическое соединение неразветвлённого строения, то единственный вариант исходного циклоалкана – это 1,2-диметилциклогексан:



Уравнение реакции окисления:



Галоформная реакция (качественная реакция на метилкетоны):



Уравнение взаимодействия продукта с бромэтаном:



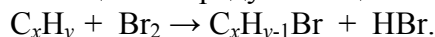
Масса бромэтана составляет:

$$m(\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}) = 2 \cdot 0.04 \cdot 109 = 8.72 \text{ г.}$$

Ответ: 8.72 г.

10.2. Углеводород массой 4.90 г при бромировании дал одно монобромпроизводное массой 8.85 г, которое обработали спиртовым раствором щелочи, а затем – подкисленным раствором перманганата калия. Образовалось соединение Y, при действии на него избытка иода в щелочной среде выпало 19.7 г светло-желтого осадка. Маточный раствор, содержащий органическое соединение с неразветвлённым углеродным скелетом, обработали избытком нитрата бария, полученный осадок отфильтровали, высушили и прокалили. Рассчитайте массу органического соединения, полученного при прокаливании. Определите все неизвестные вещества и напишите уравнения всех упомянутых реакций. (16 баллов)

Решение. Поскольку бромировании образовалось монобромпроизводное, то, скорее всего, речь идёт о радикальном замещении в ряду насыщенных углеводородов:



Зная массы исходного углеводорода и бромпроизводного, можно приравнять их количества вещества:

$$\frac{4.90}{12x + y} = \frac{8.85}{12x + y - 1 + 80}$$

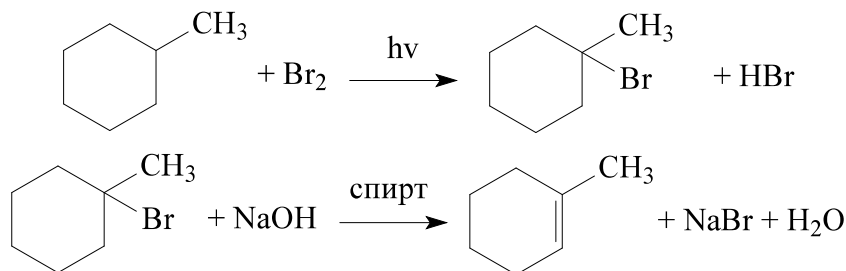
После подстановки $12x + y = z$ получаем $z = 98$. Такая масса соответствует $x = 7$, $y = 14$. Следовательно, искомым углеводород – циклоалкан C_7H_{14} в количестве

$$v(\text{C}_7\text{H}_{14}) = 4.90 / 98 = 0.05 \text{ моль.}$$

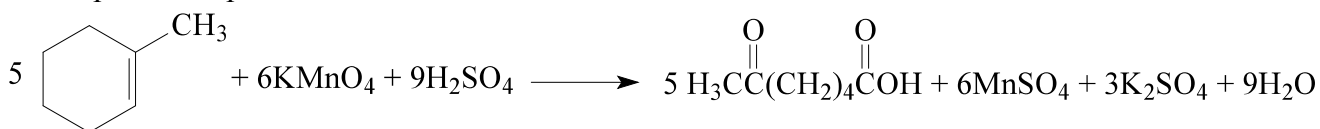
При дегидробромировании бромпроизводного был получен циклический алкен, при жёстком окислении которого образовалось соединение X, вступившее далее в галоформную реакцию. Из условий задачи можно рассчитать количество вещества иодоформа (светло-желтый осадок):

$$v(\text{CHI}_3) = 19.7 / 394 = 0.05 \text{ моль,}$$

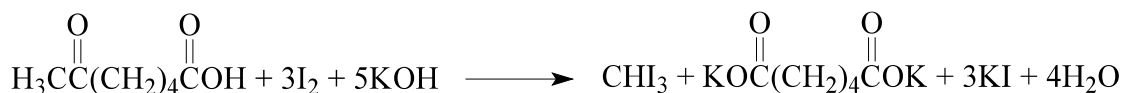
что соответствует количеству вещества исходного углеводорода, следовательно, продукт окисления циклоалкена может вступать в галоформную реакцию. Поскольку в маточном растворе осталось органическое соединение неразветвлённого строения, то единственный вариант исходного циклоалкана – это метилциклогексан:



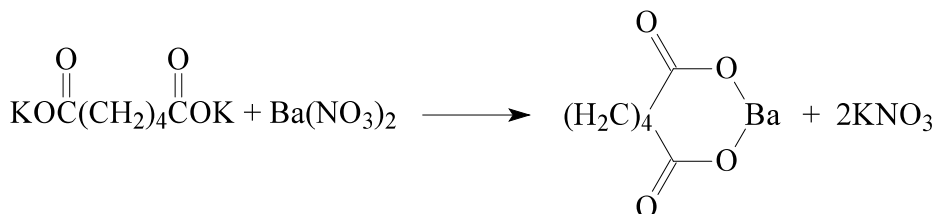
Уравнение реакции окисления:



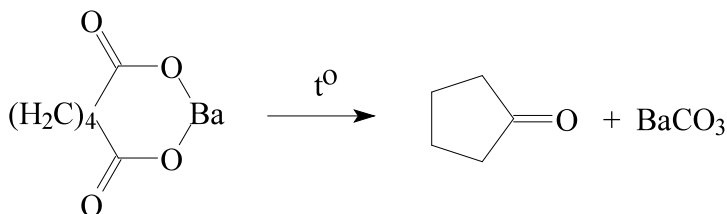
Галоформная реакция (качественная реакция на метилкетоны):



Уравнение взаимодействия с нитратом бария:



Дальнейшее прокаливание осадка:



Расчёт массы полученного циклопентанона:

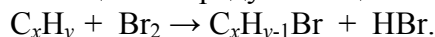
$$m = 0.05 \cdot 84 = 4.2 \text{ г.}$$

Ответ: 4.2 г.

10.3. Углеводород массой 2.94 г при бромировании дал одно монобромпроизводное массой 5.31 г, которое обработали спиртовым раствором щелочи, а затем – подкисленным раствором дихромата калия. Образовалось соединение X, при действии на него избытка иода в щелочной среде выпало 23.64 г светло-желтого осадка, который отделили. Маточный раствор, содержащий органическое соединение неразветвлённого строения, подкислили и выделили органическое соединение, которое при нагревании до 250°C превращается в

соединение **Z**. Рассчитайте массу соединения **Z**, определите все неизвестные вещества и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(16 баллов)**

Решение. Поскольку бромированию образовалось монобромпроизводное, то, скорее всего, речь идёт о радикальном замещении в ряду насыщенных углеводородов:



Зная массы исходного углеводорода и бромпроизводного, можно приравнять их количества вещества:

$$\frac{2.94}{12x + y} = \frac{5.31}{12x + y - 1 + 80}.$$

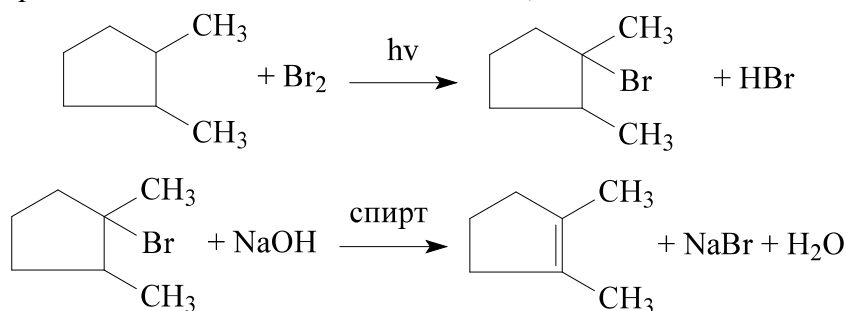
После подстановки $12x + y = z$ получаем $z = 98$. Такая масса соответствует $x = 7$, $y = 14$. Следовательно, искомым углеводород – циклоалкан C_7H_{14} в количестве

$$v(C_7H_{14}) = 2.94 / 98 = 0.03 \text{ моль.}$$

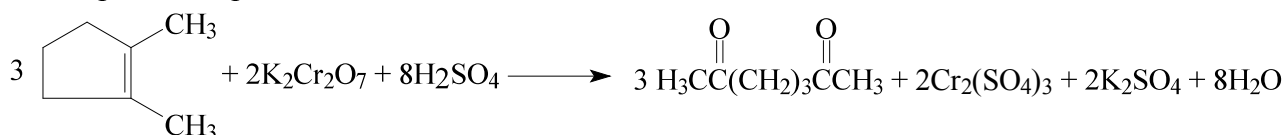
При дегидробромировании бромпроизводного был получен циклический алкен, при жёстком окислении которого образовалось соединение **X**, вступившее далее в галоформную реакцию. Из условий задачи можно рассчитать количество вещества иодоформа (светло-желтый осадок):

$$v(CHI_3) = 23.64 / 394 = 0.06 \text{ моль,}$$

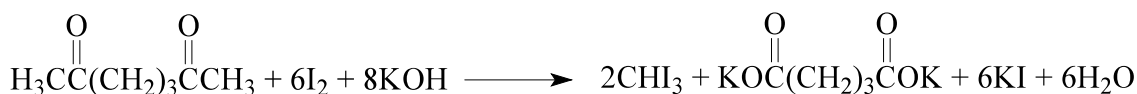
что в два раза больше количества вещества исходного углеводорода, следовательно, продукт окисления циклоалкена может вступить в галоформную реакцию дважды. Поскольку в маточном растворе осталось органическое соединение неразветвлённого строения, то единственный вариант исходного циклоалкана – это 1,2-диметилциклопентан:



Уравнение реакции окисления:



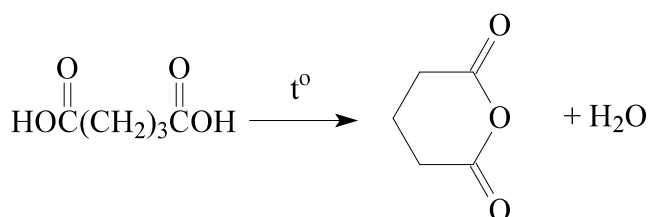
Галоформная реакция (качественная реакция на метилкетоны):



Уравнение реакции при подкислении:



Нагревание глутаровой (пентандиовой) кислоты приводит к получению циклического ангидрида:



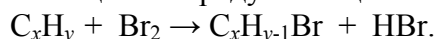
Расчёт массы ангидрида глутаровой кислоты:

$$m = 0.03 \cdot 114 = 3.42 \text{ г.}$$

Ответ: 3.42 г.

10.4. Углеводород массой 3.36 г при бромировании дал одно монобромпроизводное массой 6.52 г, которое обработали спиртовым раствором щелочи, а затем – подкисленным раствором перманганата калия. Образовалось соединение Y, при действии на него избытка иода в щелочной среде выпало 15.76 г светло-желтого осадка, который отделили. Рассчитайте максимальную массу 2-йодпропана, способного прореагировать с органическим соединением неразветвлённого строения, содержащимся в маточном растворе. Определите все неизвестные вещества и напишите уравнения всех упомянутых реакций. (16 баллов)

Решение. Поскольку бромировании образовалось монобромпроизводное, то, скорее всего, речь идёт о радикальном замещении в ряду насыщенных углеводородов:



Зная массы исходного углеводорода и бромпроизводного, можно приравнять их количества вещества:

$$\frac{3.36}{12x + y} = \frac{6.52}{12x + y - 1 + 80}.$$

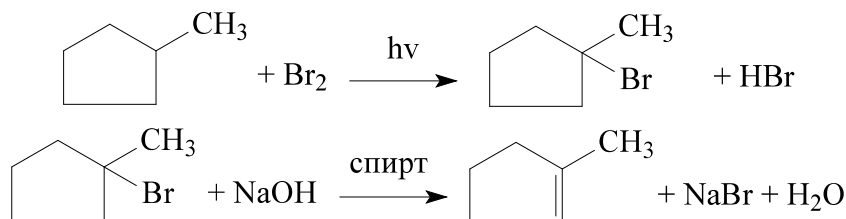
После подстановки $12x + y = z$ получаем $z = 84$. Такая масса соответствует $x = 6$, $y = 12$. Следовательно, искомым углеводород – циклоалкан C_6H_{12} в количестве

$$\nu(C_6H_{12}) = 3.36 / 84 = 0.04 \text{ моль.}$$

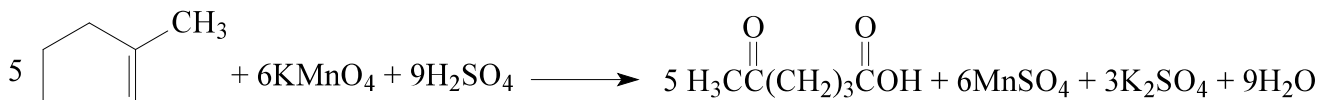
При дегидробромировании бромпроизводного был получен циклический алкен, при жёстком окислении которого образовалось соединение X, вступившее далее в галоформную реакцию. Из условий задачи можно рассчитать количество вещества иодоформа (светло-желтый осадок):

$$\nu(CHI_3) = 15.76 / 394 = 0.04 \text{ моль,}$$

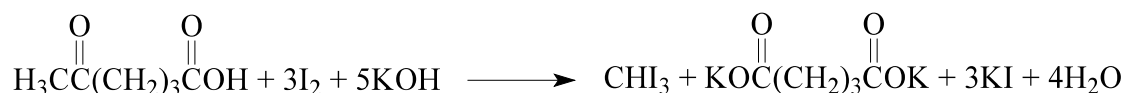
что соответствует количеству вещества исходного углеводорода, следовательно, продукт окисления циклоалкена может вступать в галоформную реакцию. Поскольку в маточном растворе осталось органическое соединение неразветвлённого строения, то единственный вариант исходного циклоалкана – это метилциклопентан:



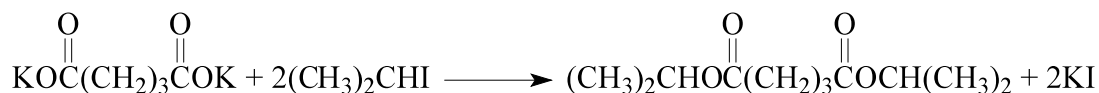
Уравнение реакции окисления:



Галоформная реакция (качественная реакция на метилкетоны):



Уравнение взаимодействия с 2-йодпропаном:



Расчёт массы 2-йодпропана:

$$m = 2 \cdot 0.04 \cdot 170 = 13.6 \text{ г.}$$

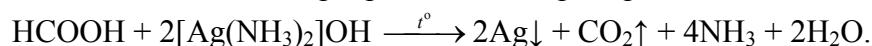
Ответ: 13.6 г.

Отборочный тур ДЕКАБРЬ, 10-11 классы

ЗАДАНИЕ 1

1.1. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в уксусной кислоте примесь муравьиной кислоты. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь муравьиной кислоты поможет реакция «серебряного зеркала», в которую вступает муравьиная кислота, но не вступает уксусная. Признаком протекания реакции является налет серебра на стенке пробирки:



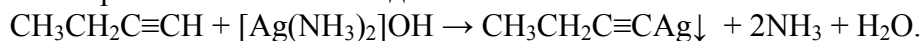
1.2. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в этане примесь этилена. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь этилена поможет реакция с бромной водой, в которую вступает этилен, но не вступает этан. Признаком протекания реакции является обесцвечивание бромной воды:



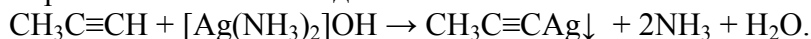
1.3. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в бутине-2 примесь бутин-1. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

Решение. Обнаружить примесь бутин-1 поможет реакция с аммиачным раствором оксида серебра, в которую вступает бутин-1, но не вступает бутин-2. Признаком протекания реакции является образование белого осадка:



1.4. Запишите уравнение реакции, при помощи которой можно обнаружить в этане примесь пропина. Кратко опишите признаки протекания этой реакции. **(4 балла)**

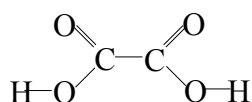
Решение. Обнаружить примесь пропина поможет реакция с аммиачным раствором оксида серебра, в которую вступает пропин, но не вступает этан. Признаком протекания реакции является образование белого осадка:



ЗАДАНИЕ 2

2.1. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит щавелевая кислота. **(4 балла)**

Решение. Щавелевая кислота $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$

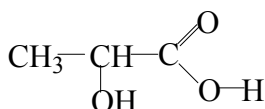


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$.

2.2. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит молочная кислота. **(4 балла)**

Решение. Молочная кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$

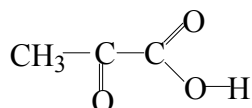


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_3$.

2.3. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит пировиноградная кислота. **(4 балла)**

Решение. Пировиноградная кислота $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$

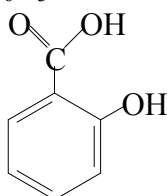


Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_3$.

2.4. Определите общую формулу гомологического ряда, к которому принадлежит салициловая кислота. **(4 балла)**

Решение. Салициловая кислота $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$



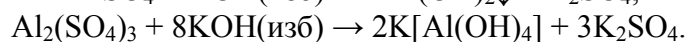
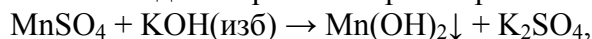
Общая формула гомологического ряда – $\text{C}_n\text{H}_{2n-8}\text{O}_3$.

Ответ: $\text{C}_n\text{H}_{2n-8}\text{O}_3$.

ЗАДАНИЕ 3

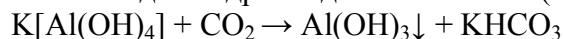
3.1. Смесь содержит кристаллические соли $\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси марганца и алюминия в виде любых индивидуальных соединений. **(8 баллов)**

Решение. Растворим смесь в воде и обработаем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид марганца $\text{Mn}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 1.9 \cdot 10^{-13}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он

выпадет из раствора в виде светло-розового осадка. Алюминий останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоалюминат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет белый осадок гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$:

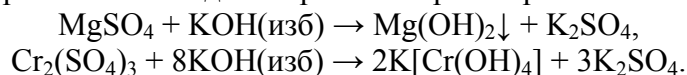


Этим способом можно выделить из исходной смеси марганец в виде $\text{Mn}(\text{OH})_2$, алюминий – в виде $\text{Al}(\text{OH})_3$.

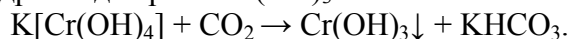
3.2. Смесь содержит кристаллические соли $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси магния и хрома в виде любых индивидуальных соединений.

(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид магния $\text{Mg}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 6.0 \cdot 10^{-10}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он выпадет из раствора в виде белого осадка. Хром останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксохромат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет грязно-зеленый осадок гидроксида хрома $\text{Cr}(\text{OH})_3$:

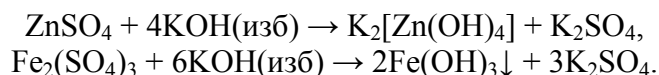


Этим способом можно выделить из исходной смеси магний в виде $\text{Mg}(\text{OH})_2$, хром – в виде $\text{Cr}(\text{OH})_3$.

3.3. Смесь содержит кристаллические соли $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $(\text{NH}_4)\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси цинка и железа в виде любых индивидуальных соединений.

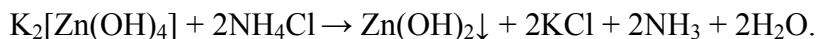
(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком холодного раствора щелочи:



Гидроксид железа $\text{Fe}(\text{OH})_3$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 6.3 \cdot 10^{-38}$), не проявляющее амфотерных свойств (в обычных условиях) и поэтому не растворяющееся в избытке раствора холодной щелочи. Он выпадет из раствора в виде бурого осадка.

Цинк останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоцинкат-иона. При добавлении к этому раствору хлорида аммония выпадет белый осадок гидроксида цинка $\text{Zn}(\text{OH})_2$:



Если же пропустить в этот раствор ток углекислого газа, выпадет белый осадок основного карбоната цинка.

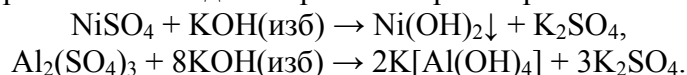


Этим способом можно выделить из исходной смеси железо в виде $\text{Fe}(\text{OH})_3$, цинк – в виде $\text{Zn}(\text{OH})_2$ (или $\text{Zn}(\text{OH})_2 \cdot \text{ZnCO}_3$).

3.4. Смесь содержит кристаллические соли $\text{NiSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ и $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Предложите способ выделения из этой смеси никеля и алюминия в виде любых индивидуальных соединений.

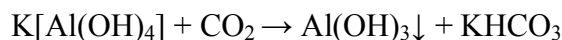
(8 баллов)

Решение. Растворим смесь в воде и обрабатываем раствор избытком раствора щелочи:



Гидроксид никеля $\text{Ni}(\text{OH})_2$ – малорастворимое соединение ($\text{ПР} = 2.0 \cdot 10^{-15}$), не проявляющее амфотерных свойств и поэтому не растворяющееся в избытке щелочи. Он выпадет из раствора в виде светло-зеленого осадка.

Алюминий останется в щелочном растворе в виде тетрагидроксоалюминат-иона. При пропускании в этот раствор тока углекислого газа выпадет белый осадок гидроксида алюминия $\text{Al}(\text{OH})_3$:



Этим способом можно выделить из исходной смеси никель в виде $\text{Ni}(\text{OH})_2$, алюминий – в виде $\text{Al}(\text{OH})_3$.

ЗАДАНИЕ 4

4.1. Смесь 5 г карбоната кальция и 1.06 г карбоната натрия поместили в 750 мл воды при 25°C. Определите массу ионов кальция в растворе над осадком после установления равновесия, если произведение растворимости CaCO_3 при данной температуре равно $3.8 \cdot 10^{-9}$.
(8 баллов)

Решение. Количество вещества хорошо растворимой соли равно

$$\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 1.06 / 106 = 0.01 \text{ моль.}$$

Пусть в раствор над осадком перешло x моль CaCO_3 . Тогда равновесные концентрации Ca^{2+} и карбонат-ионов составляют, соответственно

$$c(\text{Ca}^{2+}) = x / 0.75 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{x + 0.01}{0.75} \text{ моль/л.}$$

Произведение растворимости карбоната кальция равно

$$3.8 \cdot 10^{-9} = \frac{x}{0.75} \cdot \frac{x + 0.01}{0.75} = \frac{x^2 + 0.01x}{0.5625}.$$

Решение уравнения дает $x = 2.1375 \cdot 10^{-7}$ моль. Тогда

$$m(\text{Ca}^{2+}) = \nu \cdot M = 2.1375 \cdot 10^{-7} \cdot 40 = 8.5498 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Ответ: $8.5498 \cdot 10^{-6}$ г ионов кальция.

4.2. Навеску сульфата бария массой 5 г внесли в 500 мл раствора сульфата натрия с концентрацией 0.005 моль/л. Рассчитайте массу ионов бария в растворе над осадком после установления равновесия, если произведение растворимости BaSO_4 при температуре опыта равно $1.1 \cdot 10^{-10}$.
(8 баллов)

Решение. Количество вещества Na_2SO_4 равно

$$\nu(\text{Na}_2\text{SO}_4) = c \cdot V = 0.005 \cdot 0.5 = 0.0025 \text{ моль.}$$

Обозначим за x количество вещества ионов Ba^{2+} в растворе после установления равновесия. Тогда равновесные концентрации ионов Ba^{2+} и сульфат-ионов составляют, соответственно

$$c(\text{Ba}^{2+}) = x / 0.5 \text{ моль/л,}$$

$$c(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{x + 0.0025}{0.5} \text{ моль/л.}$$

Произведение растворимости сульфата бария равно

$$1.1 \cdot 10^{-10} = \frac{x}{0.5} \cdot \frac{x + 0.0025}{0.5} = \frac{x^2 + 0.0025x}{0.25}.$$

Решение уравнения дает $x = 1.1 \cdot 10^{-8}$ моль.

$$m(\text{Ba}^{2+}) = 1.1 \cdot 10^{-8} \cdot 137 = 1.51 \cdot 10^{-6} \text{ г.}$$

Ответ: $1.51 \cdot 10^{-6}$ г.

4.3. Навеску бромида серебра массой 2 г внесли в 400 мл раствора бромида натрия с концентрацией 0.002 моль/л. Рассчитайте равновесную концентрацию ионов серебра в растворе над осадком, если произведение растворимости бромида серебра при температуре опыта равно $5.3 \cdot 10^{-13}$. **(8 баллов)**

Решение. Количество вещества NaBr в растворе равно

$$\nu(\text{NaBr}) = c \cdot V = 0.002 \cdot 0.4 = 8 \cdot 10^{-4} \text{ моль.}$$

Обозначим за x количество вещества ионов Ag^+ в растворе после установления равновесия. Тогда равновесные концентрации ионов Ag^+ и бромид-ионов составляют, соответственно

$$c(\text{Ag}^+) = x / 0.4 \text{ моль/л,}$$
$$c(\text{Br}^-) = \frac{x + 8 \cdot 10^{-4}}{0.4} \text{ моль/л.}$$

Произведение растворимости бромида серебра равно

$$5.3 \cdot 10^{-13} = \frac{x}{0.4} \cdot \frac{x + 8 \cdot 10^{-4}}{0.4} = \frac{x^2 + 8 \cdot 10^{-4} x}{0.16}.$$

Решение уравнения дает $x = 1.06 \cdot 10^{-10}$ моль. Концентрация ионов серебра в растворе:

$$c(\text{Ag}^+) = \frac{1.06 \cdot 10^{-10}}{0.4} = 2.65 \cdot 10^{-10} \text{ моль/л.}$$

Ответ: $2.65 \cdot 10^{-10}$ моль/л.

4.4. К 400 мл насыщенного при 25°C раствора MgCO_3 , находящегося в равновесии со своим осадком, прилили 95 мл 2%-ного раствора карбоната калия с плотностью 1.02 г/мл. Рассчитайте концентрацию ионов Mg^{2+} в растворе над осадком, если при данной температуре произведение растворимости MgCO_3 равно $2.1 \cdot 10^{-5}$. **(8 баллов)**

Решение. Найдем количество вещества карбоната калия:

$$\nu(\text{K}_2\text{CO}_3) = \frac{95 \cdot 1.02 \cdot 0.02}{138} = 0.014 \text{ моль.}$$

В растворе при равновесии находится x моль Mg^{2+} и $(x + 0.014)$ моль карбонат-ионов. Объем раствора равен

$$V = 0.4 + 0.095 = 0.495 \text{ л.}$$

Произведение растворимости карбоната магния равно

$$2.1 \cdot 10^{-5} = \frac{x}{0.495} \cdot \frac{x + 0.014}{0.495}.$$

Решение уравнения дает $x = 3.584 \cdot 10^{-4}$ моль. Концентрация ионов магния в растворе:

$$c(\text{Mg}^{2+}) = x / V = 3.584 \cdot 10^{-4} / 0.495 = 7.24 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л.}$$

Ответ: $7.24 \cdot 10^{-4}$ моль/л.

ЗАДАНИЕ 5

5.1. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{86}Kr . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866, 1.00728 и

0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{86}Kr из нуклонов составляет $7.237928 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{86}Kr 36 протонов, 50 нейтронов и 36 электронов.

$$A_r(^{86}\text{Kr}) = 36 \cdot 1.00728 + 50 \cdot 1.00866 + 36 \cdot 0.0005486 - \Delta m.$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$\Delta E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра криптона.

$$E = 7.237928 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.20191426 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.33546 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0.80422 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{86}\text{Kr}) = 85.91061 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 85.91061 а.е.м.

5.2. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{58}Fe . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{58}Fe из нуклонов составляет $4.926562 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{58}Fe 26 протонов, 32 нейтрона и 26 электронов.

$$A_r(^{58}\text{Fe}) = 26 \cdot 1.00728 + 32 \cdot 1.00866 + 26 \cdot 0.000549 - \Delta m.$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра железа.

$$E = 4.926562 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 0.818094 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 0.9089933 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0.547398 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{58}\text{Fe}) = 57.9333 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 57.9333 а.е.м.

5.3. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{104}Pd . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{104}Pd из нуклонов составляет $8.625415 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{104}Pd 46 протонов, 58 нейтронов и 46 электронов.

$$A_r(^{104}\text{Pd}) = 46 \cdot 1.00728 + 58 \cdot 1.00866 + 46 \cdot 0.000549 - \Delta m;$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра палладия.

$$E = 8.625415 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.4323174 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.5914638 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)} = 0.958384 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{104}\text{Pd}) = 103.9041 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 103.9041 а.е.м.

5.4. Вычислите относительную атомную массу изотопа ^{112}Sn . При расчете используйте следующие данные: массы нейтрона, протона и электрона равны 1.00866 и 1.00728 и 0.0005486 а.е.м. соответственно; 1 а.е.м. = $1.66057 \cdot 10^{-24}$ г; энергия образования ядер ^{112}Sn из нуклонов составляет $9.21237 \cdot 10^{13}$ Дж/моль. **(8 баллов)**

Решение. Масса изотопа равняется сумме масс всех протонов, нейтронов и электронов за вычетом дефекта массы. В атоме изотопа ^{112}Sn 50 протонов, 62 нейтрона и 50 электронов.

$$A_r(^{112}\text{Sn}) = 50 \cdot 1.00728 + 62 \cdot 1.00866 + 50 \cdot 0.000549 - \Delta m;$$

Рассчитаем дефект массы. По уравнению Эйнштейна

$$E = m \cdot c^2,$$

где c – скорость света, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с, E – энергия образования одного ядра олова.

$$E = 9.21237 \cdot 10^{13} / 6.022 \cdot 10^{23} = 1.529786 \cdot 10^{-10} \text{ Дж};$$

$$\Delta m = E / c^2 = 1.699762 \cdot 10^{-27} \text{ (кг)} = 1.0236015 \text{ а.е.м.}$$

$$A_r(^{112}\text{Sn}) = 111.9048 \text{ а.е.м.}$$

Ответ: 111.9048 а.е.м.

ЗАДАНИЕ 6

6.1. При н.у. шарик радиусом 15 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $1.65 \cdot 10^{-2}$ кг. Парциальное давление одного из газов в смеси составляет 20265 Па, этот газ в 6.5 раз легче второго. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 1.65 \cdot 10^{-2} / 0.15 = 0.9646 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{0.9646 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0216 \text{ кг/моль} = 21.6 \text{ г/моль}.$$

Молярная доля первого газа в соответствии с законом Дальтона равна

$$x_1 = p_1 / p(\text{смеси}) = 20265 / 101325 = 0.2,$$

тогда молярная доля второго – $x_2 = 0.8$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = M_1 \cdot x_1 + 6.5M_1 \cdot x_2 = M_1 \cdot 0.2 + 6.5M_1 \cdot 0.8 = 5.4 \cdot M_1,$$

$$5.4 \cdot M_1 = 21.6.$$

Отсюда $M_1 = 4$ г/моль, значит, этот газ – гелий.

$$M_2 = 4 \cdot 6.5 = 26 \text{ г/моль,}$$

что отвечает ацетилену.

Ответ: He и C_2H_2 .

6.2. При н.у. шарик радиусом 15 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $8.49 \cdot 10^{-3}$ кг. Один из газов в полтора раза легче другого, является простым веществом и содержится в газовой смеси в количестве 0.303 моль. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 8.49 \cdot 10^{-3} / 0.15 = 1.1248 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.1248 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0252 \text{ кг/моль} = 25.2 \text{ г/моль}.$$

Найдем количество вещества смеси:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 0.15^3}{3} = 0.01413 \text{ м}^3 = 14.13 \text{ л,}$$

$$\nu(\text{смеси}) = V / V_m = 14.13 / 22.4 = 0.6308 \text{ моль}.$$

Мольная доля первого газа равна

$$x_1 = 0.303 / 0.6308 = 0.48,$$

тогда мольная доля второго – $x_2 = 0.52$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = M_1 \cdot x_1 + 6.5M_1 \cdot x_2 = M_1 \cdot 0.48 + 1.5M_1 \cdot 0.52 = 1.26 \cdot M_1, \\ 1.26 \cdot M_1 = 25.2.$$

Отсюда $M_1 = 20$ г/моль, значит, этот газ – неон (простое вещество; HF не подходит, тем более, что при н.у. фтороводород – жидкость).

$$M_2 = 20 \cdot 1.5 = 30 \text{ г/моль,}$$

что отвечает этану.

Ответ: Ne и C_2H_6 .

6.3. При н.у. шарик радиусом 12 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $1.25 \cdot 10^{-2}$ кг. Парциальное давление одного из газов составляет 25331 Па, этот газ в 1.4 раза тяжелее другого. Оба газа – простые вещества. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 1.25 \cdot 10^{-2} / 0.12 = 0.9821 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{0.9821 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0220 \text{ кг/моль} = 22.0 \text{ г/моль}.$$

Молярная доля первого газа в соответствии с законом Дальтона равна

$$x_1 = p_1 / p(\text{смеси}) = 25331 / 101325 = 0.25,$$

тогда молярная доля второго – $x_2 = 0.75$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 1.4M_2 \cdot 0.25 + M_2 \cdot 0.75 = 1.10 \cdot M_2, \\ 1.1 \cdot M_2 = 22.0.$$

Отсюда $M_2 = 20$ г/моль, значит, этот газ – неон (простое вещество; HF не подходит, тем более, что при н.у. фтороводород – жидкость).

$$M_1 = 20 \cdot 1.4 = 28 \text{ г/моль},$$

что отвечает азоту (простое вещество, C_2H_4 не подходит).

Ответ: Ne и N_2 .

6.4. При н.у. шарик радиусом 18 см, наполненный смесью двух газов, завис в воздухе на некоторой высоте. Оболочка шарика выполнена из нерастяжимого материала, 1 м^2 которого весит $9.1 \cdot 10^{-3}$ кг. Один из газов в 7 раз тяжелее другого и содержится в газовой смеси в количестве 0.981 моль. Только один из газов является простым веществом. Плотность воздуха на высоте зависания шарика равна 1.2946 кг/м^3 . Определите неизвестные газы. **(12 баллов)**

Решение. Поскольку шарик завис в воздухе, сила Архимеда и сила тяжести, действующие на него, стали равны друг другу. То есть

$$m(\text{воздуха}) \cdot g = (m(\text{смеси}) + m(\text{оболочки})) \cdot g.$$

Для расчета масс газов требуется объем шара, а для расчета массы оболочки шарика необходима площадь поверхности шара:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3}; \quad S(\text{шара}) = 4\pi r^2.$$

$$m(\text{оболочки}) = m \cdot 4\pi r^2,$$

где m – масса 1 м^2 оболочки. Подставим в основную формулу:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} \cdot g = (\rho(\text{смеси}) \cdot \frac{4\pi r^3}{3} + m \cdot 4\pi r^2) \cdot g.$$

После упрощения получаем:

$$\rho(\text{воздуха}) \cdot \frac{r}{3} = \rho(\text{смеси}) \cdot \frac{r}{3} + m.$$

Можно выразить и рассчитать плотность газовой смеси:

$$\rho(\text{смеси}) = \rho(\text{воздуха}) - \frac{3m}{r} = 1.2946 - 3 \cdot 9.1 \cdot 10^{-3} / 0.18 = 1.1429 \text{ кг/м}^3.$$

Из уравнения Менделеева-Клапейрона выразим и рассчитаем среднюю молярную массу газовой смеси:

$$M(\text{смеси}) = \frac{\rho RT}{p} = \frac{1.1428 \cdot 8.314 \cdot 273}{101325} = 0.0256 \text{ кг/моль} = 25.6 \text{ г/моль}.$$

Найдем количество вещества смеси:

$$V(\text{шара}) = \frac{4\pi r^3}{3} = \frac{4 \cdot 3.14 \cdot 0.18^3}{3} = 0.02442 \text{ м}^3 = 24.42 \text{ л},$$

$$\nu(\text{смеси}) = V / V_m = 24.42 / 22.4 = 1.090 \text{ моль}.$$

Молярная доля первого газа равна

$$x_1 = 0.981 / 1.09 = 0.9,$$

тогда молярная доля второго – $x_2 = 0.1$.

Средняя молярная масса газовой смеси равна

$$M(\text{смеси}) = M_1 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 7M_2 \cdot x_1 + M_2 \cdot x_2 = 7M_2 \cdot 0.9 + M_2 \cdot 0.1 = 6.4 \cdot M_2, \\ 5.2 \cdot M_2 = 25.6.$$

Отсюда $M_2 = 4$ г/моль, значит, этот газ – гелий.

$$M_1 = 4 \cdot 7 = 28 \text{ г/моль},$$

что отвечает азоту или этилену. Но, по условию, только один газ – простое вещество, поэтому второй газ – этилен.

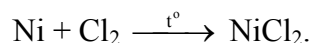
Ответ: He и C_2H_4 .

ЗАДАНИЕ 7

7.1. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося желтого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.203 раза. При обработке водного раствора вещества **B**, имеющего зеленый цвет, раствором аммиака образовалось вещество **C**, придавшее раствору сине-фиолетовую окраску. Пропускание в раствор вещества **C** сероводорода привело к образованию черного осадка **D**. При добавлении к раствору вещества **C** иодида калия выпал светло-фиолетовый осадок **E**. Какое вещество образуется, если нагреть раствор вещества **B** с гипофосфитом натрия? Установите состав зашифрованных веществ, напишите уравнения всех упомянутых реакций.

(12 баллов)

Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на никель (простое вещество **A**).

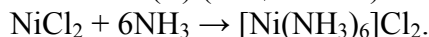


Проверим отношение масс:

$$M(\text{NiCl}_2) / M(\text{Ni}) = 130 / 59 = 2.203,$$

что соответствует условию задачи.

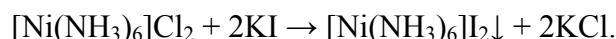
Цвет безводного хлорида никеля (вещества **B**) – желтый, а водный раствор хлорида никеля имеет зеленую окраску. При добавлении к этому раствору аммиака образуется сине-фиолетовый аммиачный комплекс никеля(II) (вещество **C**):



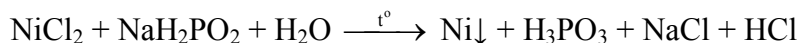
При пропускании в раствор хлорида гексамминникеля(II) сероводорода выпадает черный осадок сульфида никеля(II) (вещество **D**):



При добавлении к раствору хлорида гексамминникеля(II) иодида калия выпадает светло-фиолетовый осадок малорастворимого иодида, образованного этим комплексным катионом (вещество **E**):



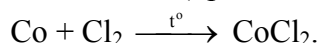
При нагревании раствора хлорида никеля с гипофосфитом натрия происходит восстановление никеля(II) до металлического никеля (вещества **A**):



Ответ: **A** – Ni, **B** – NiCl₂, **C** – [Ni(NH₃)₆]Cl₂, **D** – NiS, **E** – [Ni(NH₃)₆]I₂, образуется металлический никель.

7.2. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося голубого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.203 раза. Пропускание газообразного аммиака над полученным веществом **B** при нагревании привело к образованию светло-красного вещества **C**. При обработке водного раствора вещества **B**, имеющего светло-розовый цвет, разбавленным раствором гидроксида калия выпал розовый осадок **D**, растворяющийся в избытке концентрированной соляной кислоты с образованием синего раствора вещества **E**. Какое вещество образуется, если обработать полученный осадок **D** концентрированным раствором гидроксида калия, и какова его окраска? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

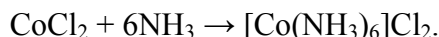
Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на кобальт (простое вещество **A**).



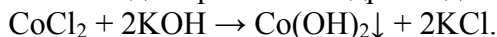
$$M_{\text{CoCl}_2} / M_{\text{Co}} = 130 / 59 = 2.203.$$

Это соответствует условию задачи.

Цвет безводного хлорида кобальта (вещества **B**) – голубой. При пропускании над этим веществом газообразного аммиака образуется светло-красный аммиачный комплекс кобальта(II) (соединение **C**):



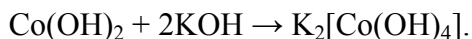
Водный раствор хлорида кобальта имеет светло-розовую окраску. При добавлении к нему раствора гидроксида калия выпадает розовый гидроксид кобальта(II) (вещество **D**):



Растворение гидроксида кобальта(II) в концентрированной соляной кислоте приводит к образованию комплексного аниона синего цвета – тетрахлорокобальтата(II) (H₂[CoCl₄] – вещество **E**):



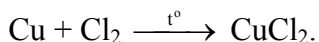
Растворение гидроксида кобальта(II) в концентрированном растворе гидроксида калия приводит к образованию тетрагидроксикобальтата(II) калия, раствор которого также имеет синий цвет:



Ответ: **A** – Co, **B** – CoCl_2 , **C** – $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_2$, **D** – Co(OH)_2 , **E** – $\text{H}_2[\text{CoCl}_4]$, образуется $\text{K}_2[\text{Co(OH)}_4]$ синего цвета.

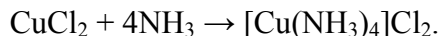
7.3. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося темно-коричневого вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 2.11 раза. Водный раствор вещества **B**, имеющий зеленовато-синий цвет, обработали раствором аммиака. При этом образовалось вещество **C**, придавшее раствору ярко-синюю окраску. При пропускании в раствор вещества **C** сероводорода выпал черный осадок **D**, растворимый в горячей концентрированной азотной кислоте с образованием голубого раствора соединения **E**. Кристаллы какого вещества образуются, если в раствор вещества **B** добавить сульфат аммония, а затем охладить смесь? Какого они цвета? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

Решение. Можно предположить, что простое вещество **A** – переходный металл (его соединения имеют разнообразную окраску, он образует комплексное соединение с аммиаком). Цвета безводного хлорида, водного раствора хлорида, а также аммиачного комплекса этого металла указывают на медь (простое вещество **A**).



$$M(\text{CuCl}_2) / M(\text{Cu}) = 135 / 64 = 2.11,$$

что соответствует условию задачи. Цвет безводного хлорида меди (вещества **B**) – темно-коричневый, а водный раствор хлорида меди имеет зеленовато-синюю окраску. При добавлении к этому раствору аммиака образуется ярко-синий аммиачный комплекс меди(II) (соединение **C**):



При пропускании в раствор хлорида тетраамминмеди(II) сероводорода выпадает черный осадок сульфида меди(II) (вещество **D**):



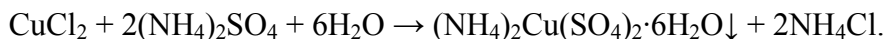
Сульфид меди(II) растворяется в горячей концентрированной азотной кислоте ($\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$ – вещество **E**):



или можно записать $\text{CuS} + 8\text{HNO}_3 \xrightarrow{t^\circ} \text{CuSO}_4 + 8\text{NO}_2\uparrow + 4\text{H}_2\text{O}$,

тогда вещество **E** – сульфат меди CuSO_4 .

При охлаждении раствора хлорида меди(II), содержащего сульфат аммония, происходит образование голубых кристаллов двойной соли меди и аммония (аналога соли Мора):

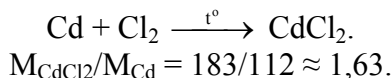


Ответ: **A** – Cu, **B** – CuCl_2 , **C** – $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$, **D** – CuS, **E** – $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$, образуются кристаллы $(\text{NH}_4)_2\text{Cu}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ голубого цвета.

7.4. Простое вещество **A** подвергли высокотемпературному хлорированию, масса образовавшегося бесцветного вещества **B** оказалась больше массы исходного вещества **A** в 1.63 раза. Бесцветный водный раствор вещества **B** обработали раствором щелочи. При этом образовался белый осадок **C**, хорошо растворимый в аммиаке с образованием вещества **D**. При пропускании в полученный аммиачный раствор сероводорода выпал желтый осадок **E**.

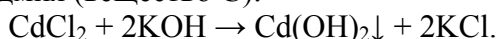
Какое вещество образуется при прокаливании белого осадка **С**? Какого оно цвета? Установите состав зашифрованных веществ и напишите уравнения всех упомянутых реакций. **(12 баллов)**

Решение. Можно предположить, что простое вещество **А** – переходный металл кадмий. На это указывает характерный цвет сульфида, а также то, что его гидроксид легко растворяется в аммиаке с образованием аммиачного комплекса. Большая часть соединений кадмия не окрашена, он проявляет только одну устойчивую степень окисления +2, что связано с особенностями его электронного строения ($3d^{10}$).

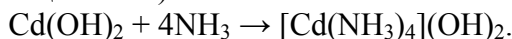


Это соответствует условию задачи.

Безводный хлорид кадмия (вещество **В**) бесцветен, водный раствор хлорида кадмия также не имеет окраски. При добавлении к раствору хлорида кадмия щелочи образуется белый осадок гидроксида кадмия (вещество **С**):



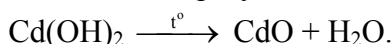
Гидроксид кадмия легко растворяется в аммиаке, образуя бесцветный аммиачный комплекс $[\text{Cd}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$ (вещество **Д**):



При пропускании в полученный аммиачный раствор сероводорода выпадает ярко-желтый осадок сульфида кадмия (вещество **Е**):



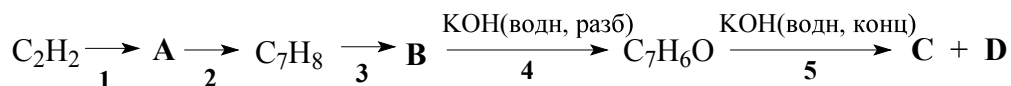
При прокаливании гидроксида кадмия образуется оксид, имеющий коричневый цвет:



Ответ: **А** – Cd, **В** – CdCl₂, **С** – Cd(OH)₂, **Д** – [Cd(NH₃)₄](OH)₂, **Е** – CdS; образуется CdO коричневого цвета.

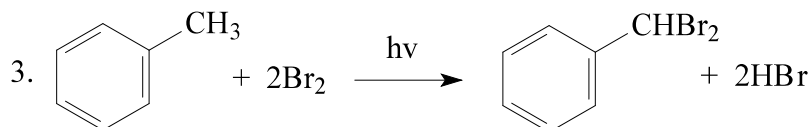
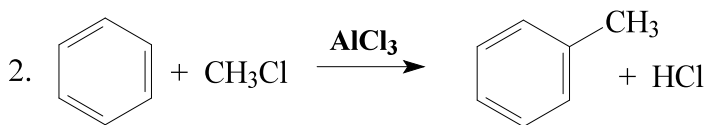
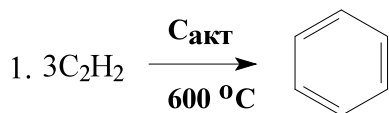
ЗАДАНИЕ 8

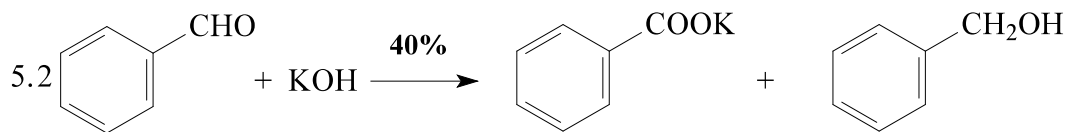
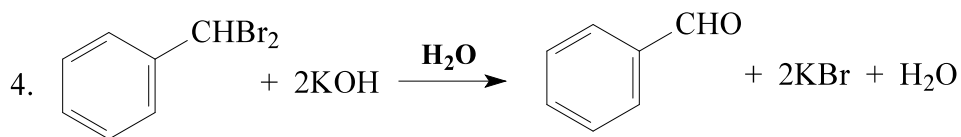
8.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.



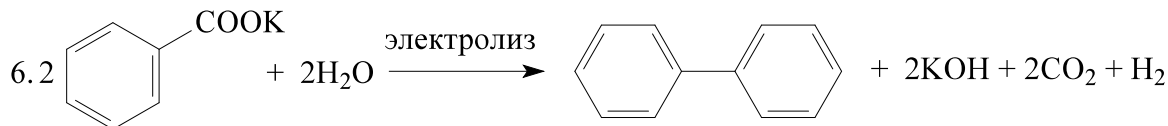
После обработки $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}$ избытком концентрированного раствора щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **С** и **Д**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**

Решение.





(реакция Канниццаро),

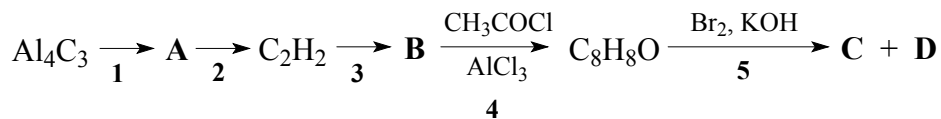


Процессы на электродах:

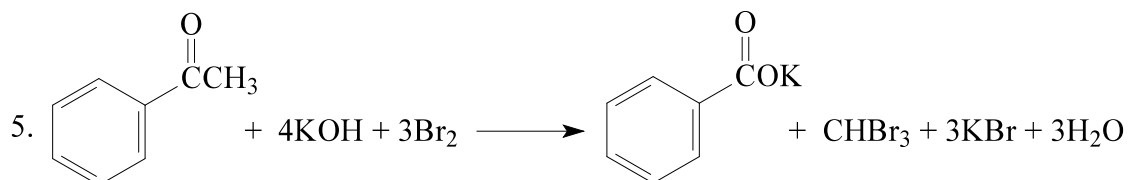
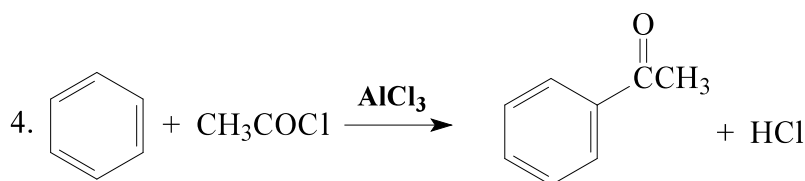
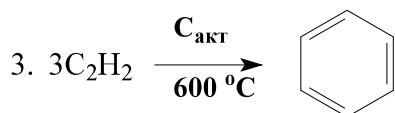
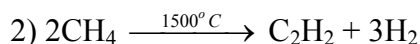
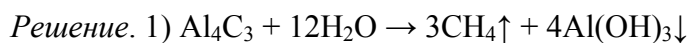
На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

На аноде: $2\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-C}_6\text{H}_5 + 2\text{CO}_2\uparrow$.

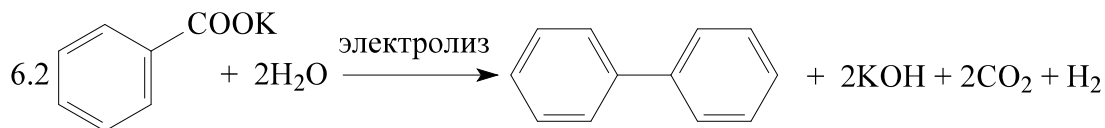
8.2. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.



После обработки C₈H₈O избытком брома в присутствии щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**



(галоформная реакция),

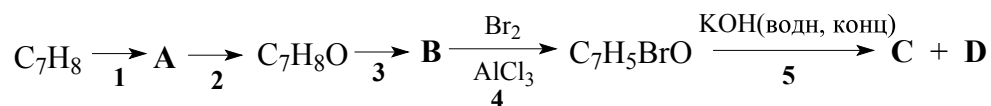


Процессы на электродах:

На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

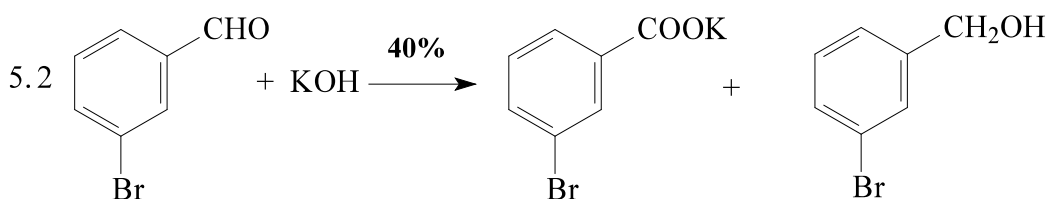
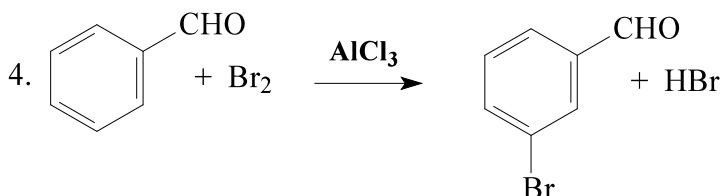
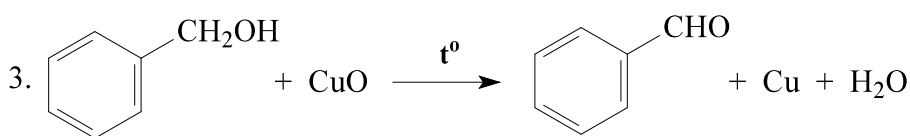
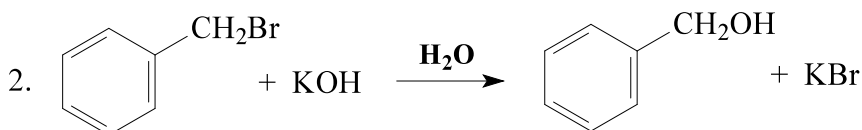
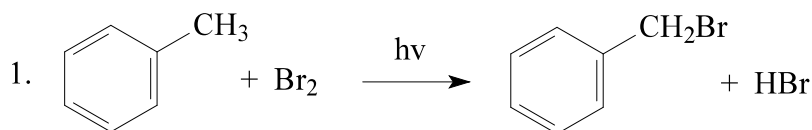
На аноде: $2\text{C}_6\text{H}_5\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-C}_6\text{H}_5 + 2\text{CO}_2\uparrow$.

8.3. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.

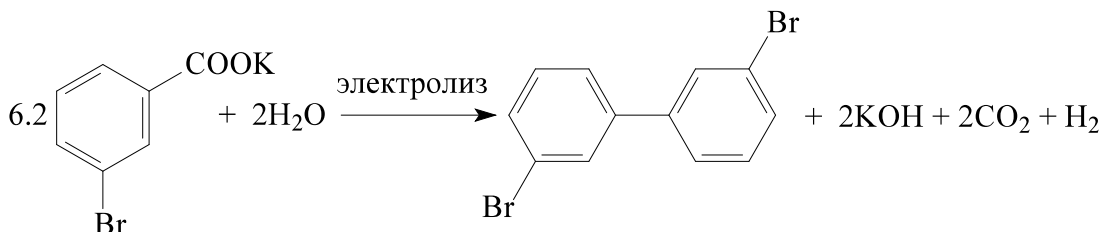


После обработки $\text{C}_7\text{H}_5\text{BrO}$ избытком концентрированного раствора щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. (12 баллов)

Решение.



(реакция Канниццаро),

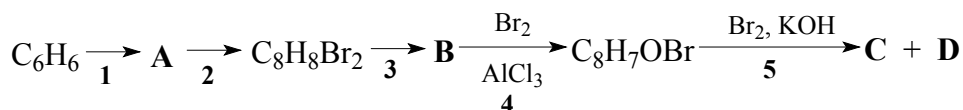


Процессы на электродах:

На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

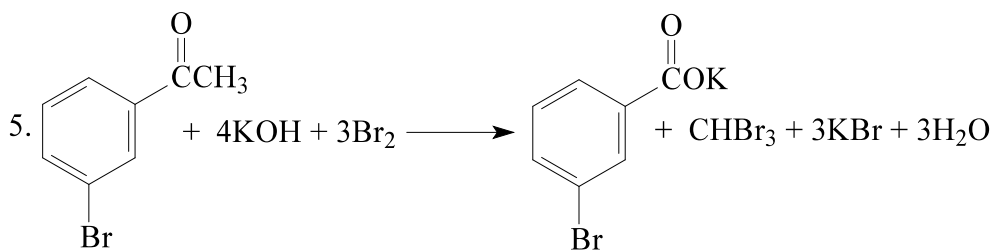
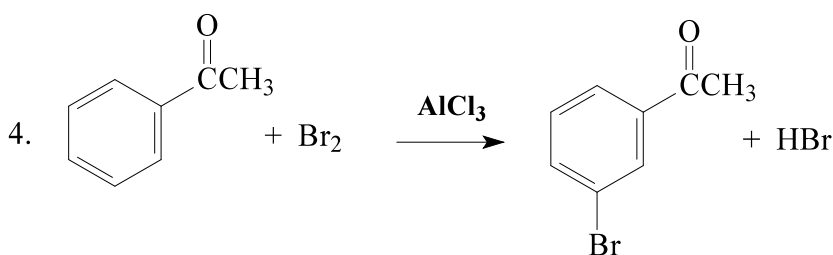
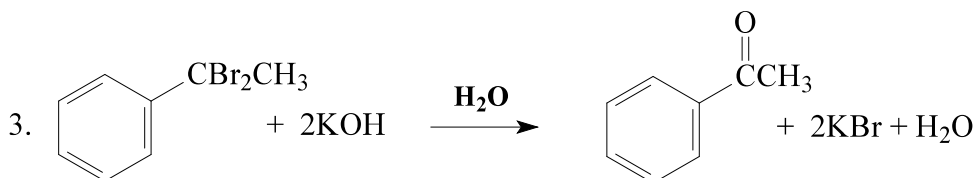
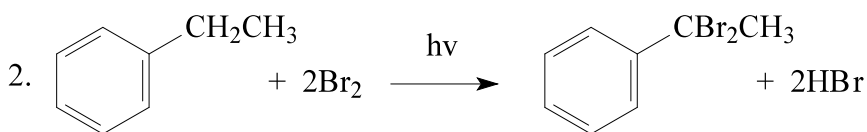
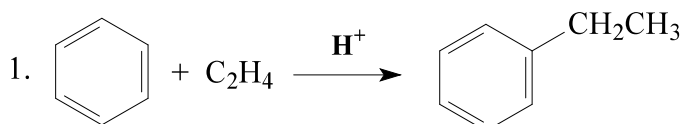
На аноде: $2\text{Br-C}_6\text{H}_4\text{-COO}^- - 2e \rightarrow \text{Br-C}_6\text{H}_4\text{-C}_6\text{H}_4\text{-Br} + 2\text{CO}_2\uparrow$.

8.4. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений, укажите условия их протекания. Расшифруйте неизвестные вещества.

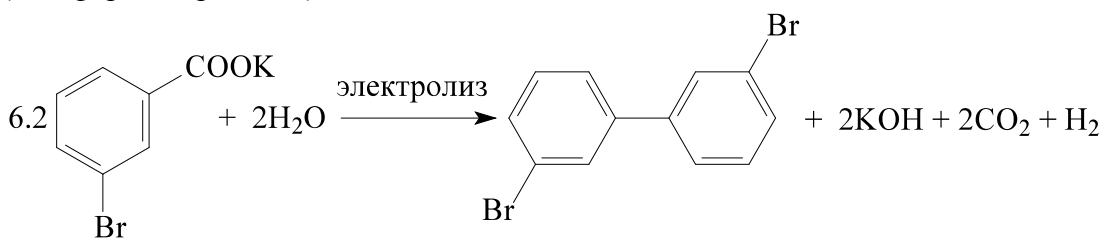


После обработки $\text{C}_8\text{H}_8\text{O}$ избытком брома в присутствии щёлочи (реакция 5) была выделена эквимольная смесь соединений **C** и **D**; водный раствор одного из них подвергли электролизу. Напишите уравнение электролиза, укажите процессы, протекающие на катоде и аноде. **(12 баллов)**

Решение.



(галоформная реакция).



Процессы на электродах:

На катоде: $2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$

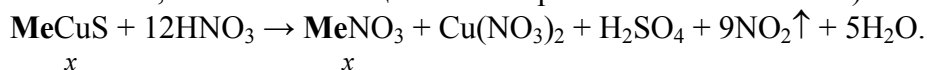
На аноде: $2\text{Br}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{COO}^- - 2e \rightarrow \text{Br}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Br} + 2\text{CO}_2\uparrow$.

Уважаемые участники олимпиады! Нам известно, что в тексте четвертого варианта задачи 8, который был размещен на сайте для решения, имелась опечатка: условия реакции 4 и ее продукт были указаны неверно. Мы приводим решение правильной цепочки. Пожалуйста, не волнуйтесь – эту задачу мы проверим с особым вниманием и постараемся сделать так, чтобы потери участников из-за нее были минимальны. Приносим вам свои извинения!

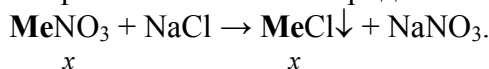
ЗАДАНИЕ 9

9.1. Образец массой 136 г, содержащий черный сульфидный минерал MeCuS с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовалось 71.75 г белого осадка, содержащего 75.26% металла **Me** по массе. Белый осадок прокалили с карбонатом натрия при 900°C , образовавшийся твердый остаток промыли водой. Определите состав и массу вещества, оставшегося после промывания твердого остатка водой. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию, в хлориде

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, искомый металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра, его количество составляет

$$x = \nu(\text{AgCl}) = 71.75 / 143.5 = 0.5 \text{ моль}.$$

Прокаливание хлорида серебра с карбонатом натрия:



При промывании водой твердого остатка после прокаливания хлорид натрия растворяется, остается только серебро. Масса серебра

$$m(\text{Ag}) = 0.5 \cdot 108 = 54 \text{ г}.$$

Минерал AgCuS – шромейерит, $\nu(\text{AgCuS}) = x = 0.5$ моль. Масса минерала

$$m = 0.5 \cdot 204 = 102 \text{ г}.$$

Содержание минерала в исходном образце

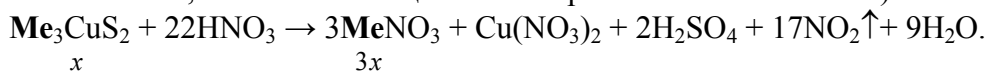
$$\omega = 102 / 136 = 0.75 \text{ (или 75\% по массе)}.$$

Ответ: Ag, 54 г, AgCuS , 75%.

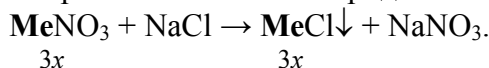
9.2. Образец массой 159.5 г, содержащий черный сульфидный минерал Me_3CuS_2 с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовалось 129.15 г белого осадка, содержащего 75.26% металла **Me** по массе. Белый осадок прокалили с оксидом бария при 400°C , образовавшийся твердый остаток промыли водой. Определите состав и массу вещества, оставшегося после промывания

твердого остатка водой. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



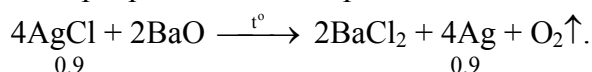
По условию, массовая доля металла в хлориде равна

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра, его количество

$$v(\text{AgCl}) = 129.15 / 143.5 = 3x = 0.9 \text{ моль}.$$

Прокаливание хлорида серебра с оксидом бария:



При промывании водой твердого остатка после прокаливания хлорид бария растворяется, остается только серебро. Масса серебра составляет

$$m(\text{Ag}) = 0.9 \cdot 108 = 97.2 \text{ г}.$$

Минерал Ag_3CuS_2 – ялпаит, $v(\text{Ag}_3\text{CuS}_2) = x = 0.3$ моль. Масса минерала равна

$$m = 0.3 \cdot 452 = 135.6 \text{ г}.$$

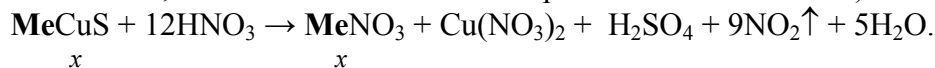
Содержание минерала в исходном образце

$$\omega = 135.6 / 159.5 = 0.85 \text{ (или 85\% по массе)}.$$

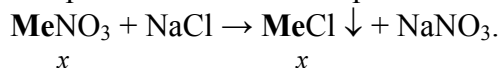
Ответ: Ag, 97.2 г, Ag_3CuS_2 , 85%.

9.3. Образец массой 99.5 г, содержащий черный сульфидный минерал MeCuS с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовался белый осадок, содержащий 75.26% металла **Me** по массе. Для полного растворения осадка потребовалось 400 мл раствора тиосульфата натрия с концентрацией 2 моль/л. Определите состав и массу белого осадка. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



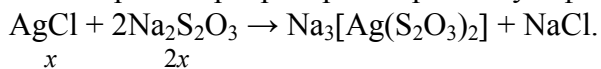
Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию, массовая доля металла в хлориде равна

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра. Растворение хлорида серебра в растворе тиосульфата натрия:



Для растворения осадка потребовалось тиосульфата натрия

$$v = 2 \cdot 0.4 = 2x = 0.8 \text{ моль,}$$

$$v(\text{AgCl}) = x = 0.4 \text{ моль.}$$

Масса осадка хлорида серебра равна

$$m(\text{AgCl}) = 0.4 \cdot 108 = 43.2 \text{ г.}$$

Минерал AgCuS – шромейерит, $v(\text{AgCuS}) = x = 0.4$ моль. Масса минерала составляет

$$m = 0.4 \cdot 204 = 81.6 \text{ г.}$$

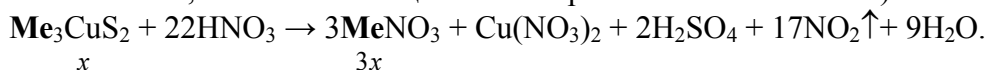
Содержание его в образце

$$\omega = 81.6 / 99.5 = 0.82 \text{ (или 82\%).}$$

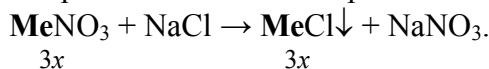
Ответ: AgCl , 43.2 г, AgCuS , 82%.

9.4. Образец массой 50 г, содержащий черный сульфидный минерал Me_3CuS_2 с примесью кварцевого песка, обработали горячей концентрированной азотной кислотой. К раствору, образовавшемуся после обработки кислотой, добавили избыток раствора хлорида натрия. При этом образовался белый осадок, содержащий 75.26% металла **Me** по массе. Для полного растворения осадка потребовалось 500 мл раствора цианида калия с концентрацией 1.2 моль/л. Определите состав и массу белого осадка. Установите состав минерала и его содержание во взятом образце (в масс %). Напишите уравнения всех реакций. **(16 баллов)**

Решение. Кварцевый песок не реагирует с азотной кислотой. Взаимодействие минерала с кислотой можно представить следующим образом (предположим, что степень окисления металла **Me** не меняется, количество вещества минерала составляет x моль):



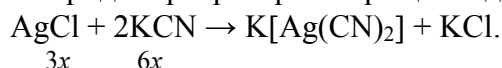
Выпадение осадка после обработки раствором хлорида натрия возможно только в случае, если образуется нерастворимый в кислоте хлорид металла **Me**:



По условию задачи, массовая доля металла в осадке

$$\omega(\text{Me}) = M / (M + 35.5) = 0.7526.$$

Значит, молярная масса металла $M = 108$ г/моль, металл – серебро, белый осадок – хлорид серебра. Растворение хлорида серебра в растворе цианида калия:



Для растворения осадка потребовалось $1.2 \cdot 0.5 = 6x = 0.6$ моль цианида калия. Значит

$$v(\text{AgCl}) = 3x = 0.3 \text{ моль.}$$

Масса осадка хлорида серебра

$$m(\text{AgCl}) = 0.3 \cdot 143.5 = 43.05 \text{ г.}$$

Минерал Ag_3CuS_2 – ялпаит, $v(\text{Ag}_3\text{CuS}_2) = x = 0.1$ моль. Масса минерала составляет

$$m = 0.1 \cdot 452 = 45.2 \text{ г.}$$

Содержание его в образце равно

$$\omega = 45.2 / 50 = 0.904 \text{ (или 90.4\% по массе).}$$

Ответ: AgCl , 43.05 г, Ag_3CuS_2 , 90.4%.

ЗАДАНИЕ 10

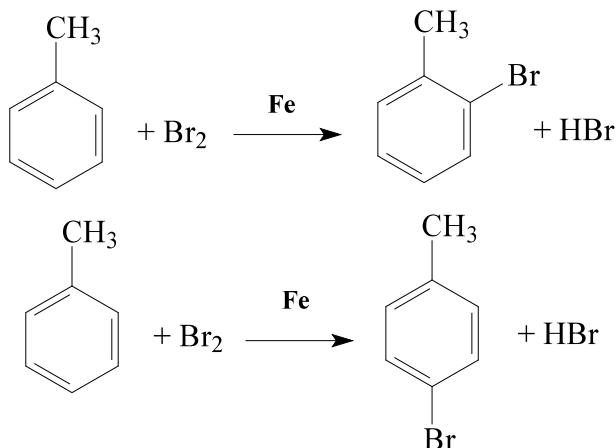
10.1. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобромирования неизвестного монозамещённого циклического углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля углерода в углеводороде составляет 91.30%, а при моногалогенировании и дальнейшем

нагревании до 380°C с 20%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 1 : 5 : 4. Напишите уравнения протекающих реакций. (16 баллов)

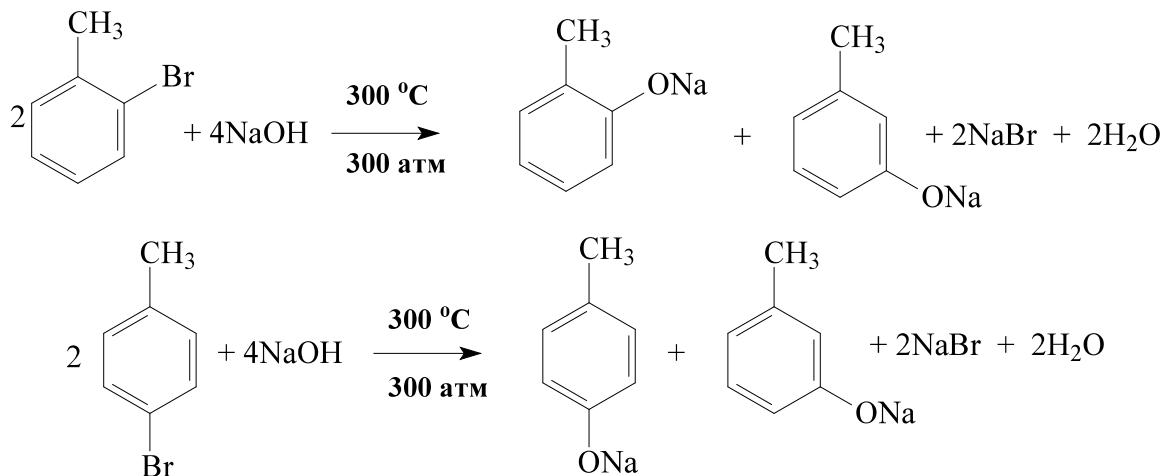
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{91.30}{12} : \frac{8.70}{1} = 1 : 1.143 \text{ или } 7 : 8.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – толуол C_7H_8 . При каталитическом бромировании толуола образуется смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



Обработка полученной смеси гидроксидом натрия приводит к образованию трех изомерных фенолятов:



То, что в каждой реакции образуются два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к получению смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании толуола продукт *орто*-замещения (2-бромтолуол) образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси соль 2-метилфенола присутствует в наименьшем количестве, а в бóльшем количестве – соль 3-метилфенола. Следовательно, соотношение количеств 2-бромтолуола и 4-бромтолуола составляет 1 : 4, выход реакции *орто*-замещения равен 20%, а реакции *пара*-замещения – 80%.

Ответ: *орто*-бромирование – 20%, *пара*-бромирование – 80%.

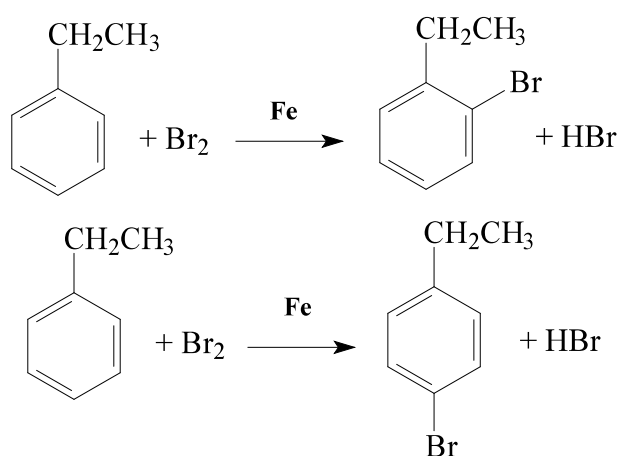
10.2. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобromирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля водорода в углеводороде составляет 9.43%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 25%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 0.15 : 1 : 0.85. Напишите уравнения протекающих реакций.

(16 баллов)

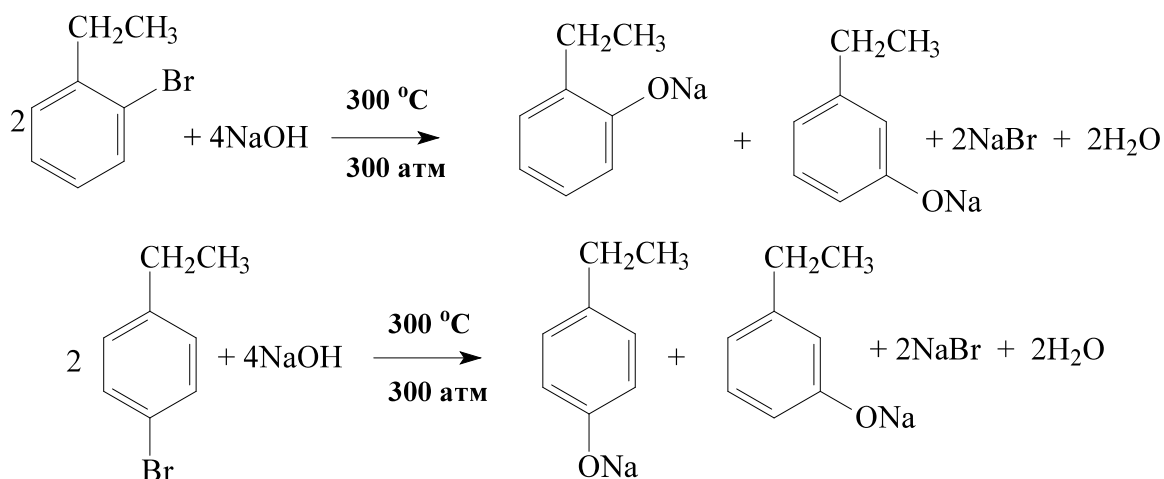
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{90.57}{12} : \frac{9.43}{1} = 1 : 1.25 \text{ или } 8 : 10.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – этилбензол C_8H_{10} . При каталитическом бромировании этилбензола образуется смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



При обработке полученной смеси гидроксидом натрия образуются три изомерных фенолята:



То, что в каждой реакции получают два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании этилбензола продукт реакции *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-этилфенола, а больше всего – соли 3-этилфенола. Следовательно, соотношение

2-бромэтилбензола и 4-бромэтилбензола равно 0.15 : 0.85, и выход реакции *орто*-замещения равен 15%, а реакции *пара*-замещения – 85%.

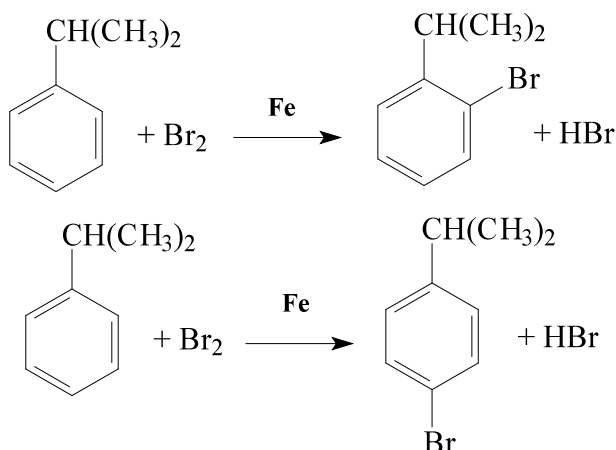
Ответ: *орто*-бромирование – 15%, *пара*-бромирование – 85%.

10.3. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монобромирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля углерода в углеводороде составляет 90.00%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 20%-ным раствором щёлочи при давлении 360 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 1 : 10 : 9. Напишите уравнения протекающих реакций. **(16 баллов)**

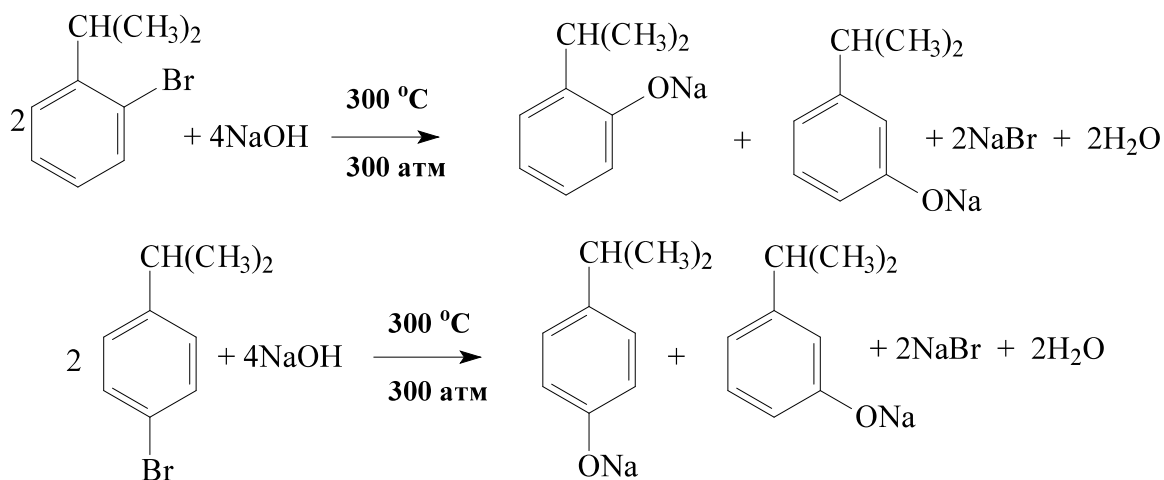
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{90.00}{12} : \frac{9.10}{1} = 1 : 1.333 \text{ или } 9 : 12.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – пропилбензол или изопропилбензол (кумол) C_9H_{12} . Бромирование, например, изопропилбензола дает смесь *орто*- и *пара*-замещённых продуктов:



При обработке полученной смеси гидроксидом натрия образуются три изомерных фенолята:



То, что в каждой реакции получают два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее

присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при бромировании изопропилбензола продукт *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-изопропилфенола, а больше всего – соли 3-изопропилфенола. Следовательно, соотношение 2-бромкумола и 4-бромкумола равно 1 : 9, и выход реакции *орто*-замещения равен 10%, а реакции *пара*-замещения – 90%.

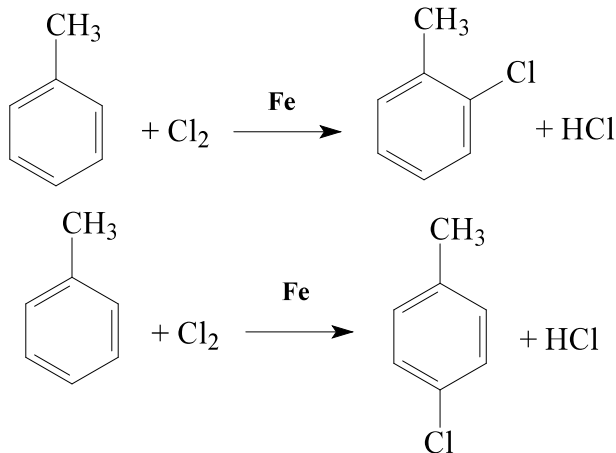
Ответ: *орто*-бромирование – 10%, *пара*-бромирование – 90%.

10.4. В 1924 г. компания Dow Chemical разработала процесс получения фенола, включающий реакцию хлорирования бензола и последующий гидролиз монохлорбензола, который в отсутствие катализатора протекает при 360-400°C и давлении свыше 300 атм. Рассчитайте выход продуктов монохлорирования неизвестного монозамещённого углеводорода в присутствии железа по каждому направлению, если известно, что массовая доля водорода в нём составляет 8.69%, а при моногалогенировании и дальнейшем нагревании до 380°C с 30%-ным раствором щёлочи при давлении 380 атм было выделено 3 изомера в молярном соотношении 3 : 10 : 7. Напишите уравнения протекающих реакций. **(16 баллов)**

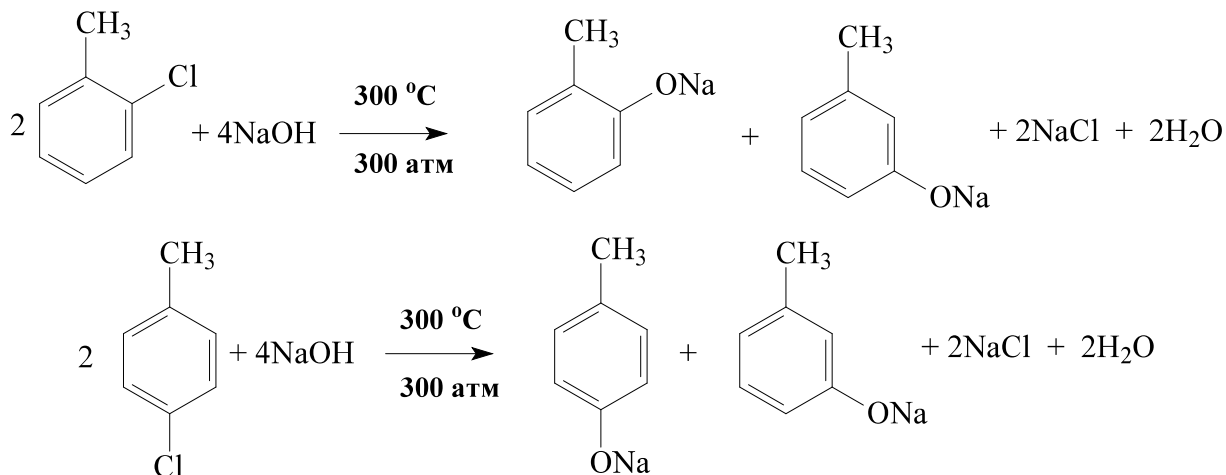
Решение. Определим простейшую формулу неизвестного углеводорода C_xH_y :

$$x : y = \frac{91.31}{12} : \frac{8.69}{1} = 1 : 1.143 \text{ или } 7 : 8.$$

Следовательно, неизвестный углеводород – толуол C_7H_8 . Каталитическое хлорирование толуола дает смесь *орто*- и *пара*- замещённых продуктов:



Обработка полученной смеси гидроксидом натрия приводит к получению трех изомерных фенолятов:



То, что в каждой реакции образуются два продукта, объясняется протеканием процесса через стадию отщепления бромоводорода (образования дегидробензола) и последующее присоединение нуклеофила, что приводит к образованию смеси двух региоизомеров в соотношении 1 : 1.

Очевидно, что при хлорировании толуола продукт реакции *орто*-замещения образуется в меньшем количестве, следовательно, в конечной реакционной смеси меньше всего соли 2-метилфенола, а больше всего – соли 3-метилфенола. Следовательно, соотношение 2-хлортолуола и 4-хлортолуола равно 3 : 7 и выход реакции *орто*-замещения равен 30%, а реакции *пара*-замещения – 70%.

Ответ: *орто*-хлорирование – 30%, *пара*-хлорирование – 70%.

ОТБОРОЧНЫЙ ТУР НОЯБРЬ, 5-9 классы

ЗАДАНИЕ 1

1.1. Кальций и бор образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 38.17%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения – Ca_xB_y . Если 38.17% – массовая доля бора, то уравнение для x и y имеет вид (относительную атомную массу бора принимаем равной 10.8, так как массовая доля дана с высокой точностью):

$$0.3817 = \frac{10.8y}{40x + 10.8y}.$$

Это уравнение имеет следующее решение в целых числах: $x = 7, y = 16$ (Ca_7B_{16}). Однако такое решение не единственное. Если принять, что 38.17% – массовая доля кальция:

$$0.3817 = \frac{40x}{40x + 10.8y},$$

получаем $x = 1, y = 6$. Следовательно, формула соединения – CaB_6 .

Ответ: $\text{CaB}_6, \text{Ca}_7\text{B}_{16}$.

1.2. Углерод и литий образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 43.75%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения Li_xC_y . Если 43.75% – массовая доля углерода, то уравнение для x и y имеет вид:

$$0.4375 = \frac{12y}{7x + 12y}.$$

Это уравнение не имеет решений в небольших целых числах. Если же 43.75% – массовая доля лития, то

$$0.4375 = \frac{7x}{7x + 12y},$$

откуда $x = 4, y = 3$. Формула соединения – Li_4C_3 .

Ответ: Li_4C_3 .

1.3. Углерод и бор образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 21.74%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения B_xC_y . Если 21.74% – массовая доля бора, то уравнение для x и y имеет вид (относительную атомную массу бора принимаем равной 10.8, так как массовая доля дана с высокой точностью):

$$0.2174 = \frac{10.8x}{10.8x + 12y}.$$

Это уравнение не имеет решений в небольших целых числах. Тогда принимаем, что 21.74% – массовая доля углерода:

$$0.2174 = \frac{12y}{10.8x + 12y},$$

откуда $x = 4$, $y = 1$. Формула соединения – B_4C .

Ответ: B_4C .

1.4. Сера и азот образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 30.43%. Установите формулу соединения, если известно, что его молекула содержит 8 атомов. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения – S_xN_y . Если 30.43% – массовая доля серы, то уравнение для x и y имеет вид:

$$0.3043 = \frac{32x}{32x + 14y}.$$

Это уравнение не имеет решений в небольших целых числах. Тогда принимаем, что 30.43% – массовая доля азота:

$$0.3043 = \frac{14y}{32x + 14y},$$

откуда $x = y$. Молекула содержит 8 атомов, следовательно, $x = y = 4$, молекулярная формула – S_4N_4 .

Ответ: S_4N_4 .

ЗАДАНИЕ 2

2.1. При разложении неорганического вещества образуются твердое вещество и смесь газов, имеющая плотность по водороду 21.6. Напишите возможное уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом. **(10 баллов)**

Решение. Возможное уравнение разложения:

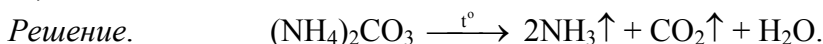


$$\text{Проверка: } M_{\text{см}}(NO_2, O_2) = \frac{4 \cdot 46 + 32}{4 + 1} = 43.2 \text{ г/моль, } D_{H_2} = 43.2 / 2 = 21.6.$$

Подходит также разложение любого нитрата металла до оксида, в котором металл не меняет степень окисления, например $Zn(NO_3)_2$, $Al(NO_3)_3$.

Ответ: например, $Cu(NO_3)_2$.

2.2. При разложении неорганического вещества образуются вода и смесь газов, имеющая плотность по водороду 13. Напишите уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом. **(10 баллов)**



$$\text{Проверка: } M_{\text{см}}(NH_3, CO_2) = \frac{2 \cdot 17 + 44}{2 + 1} = 26 \text{ г/моль, } D_{H_2} = 26 / 2 = 13.$$

Ответ: $(NH_4)_2CO_3$.

2.3. При разложении неорганического вещества образуется только смесь газов, имеющая плотность по водороду 12.75. Напишите уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом. **(10 баллов)**

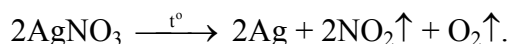


Проверка: $M_{\text{см}}(\text{NH}_3, \text{H}_2\text{S}) = \frac{17+34}{2} = 25.5 \text{ г/моль}, D_{\text{H}_2} = 25.5 / 2 = 12.75.$

Ответ: $\text{NH}_4\text{HS}.$

2.4. При разложении неорганического вещества образуются твердый остаток и смесь газов, имеющая плотность по водороду 20.67. Напишите уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом. **(10 баллов)**

Решение. Возможное уравнение реакции разложения:



Проверка: $M_{\text{см}}(\text{NO}_2, \text{O}_2) = \frac{2 \cdot 46 + 32}{2+1} = 41.33 \text{ г/моль}, D_{\text{H}_2} = 41.33 / 2 = 20.67.$

По составу смеси подходит также нитрат другого металла, разлагающийся до чистого металла – $\text{Hg}(\text{NO}_3)_2$. Однако остающаяся в результате реакции ртуть – не твердое вещество.

Ответ: $\text{AgNO}_3.$

ЗАДАНИЕ 3

3.1. В молекуле XY_3 длина связи $\text{X}-\text{Y}$ составляет 0.142 нм, а расстояние между атомами Y равно 0.207 нм. Найдите угол между связями $\angle\text{YXY}$. Какую геометрическую форму имеет молекула? **(13 баллов)**

Решение. Рассмотрим равнобедренный треугольник YXY . Обозначим угол между связями $\angle\text{YXY} = \alpha$ и применим теорему косинусов:

$$\begin{aligned} r(\text{Y}-\text{Y})^2 &= r(\text{X}-\text{Y})^2 + r(\text{X}-\text{Y})^2 - 2 \cdot r(\text{X}-\text{Y})^2 \cdot \cos\alpha, \\ 0.207^2 &= 0.142^2 + 0.142^2 - 2 \cdot 0.142^2 \cdot \cos\alpha, \end{aligned}$$

откуда $\cos\alpha = -0.0625$, $\alpha = 93.6^\circ$. При таком угле атом X и все атомы Y не могут лежать в одной плоскости (для этого угол должен был бы равняться 120°), молекула имеет форму треугольной пирамиды:



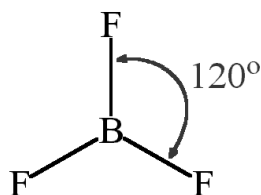
Ответ: 93.6° , треугольная пирамида.

3.2. В молекуле XY_3 длина связи $\text{X}-\text{Y}$ составляет 0.131 нм, а расстояние между атомами Y равно 0.227 нм. Найдите угол между связями $\angle\text{YXY}$. Какую геометрическую форму имеет молекула? **(13 баллов)**

Решение. Рассмотрим равнобедренный треугольник YXY . Обозначим угол между связями $\angle\text{YXY} = \alpha$ и применим теорему косинусов:

$$\begin{aligned} r(\text{Y}-\text{Y})^2 &= r(\text{X}-\text{Y})^2 + r(\text{X}-\text{Y})^2 - 2 \cdot r(\text{X}-\text{Y})^2 \cdot \cos\alpha, \\ 0.227^2 &= 0.131^2 + 0.131^2 - 2 \cdot 0.131^2 \cdot \cos\alpha, \end{aligned}$$

откуда $\cos\alpha = -0.5$, $\alpha = 120^\circ$. Атом X находится в центре равностороннего треугольника, образованного атомами Y , молекула имеет плоскую форму:



Ответ: 120° , плоская молекула.

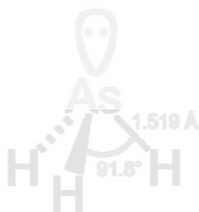
3.3. В молекуле XY_3 длина связи $\text{X}-\text{Y}$ составляет 0.152 нм, а расстояние между атомами Y равно 0.218 нм. Найдите угол между связями $\angle\text{YXY}$. Какую геометрическую форму имеет молекула? (13 баллов)

Решение. Рассмотрим равнобедренный треугольник YXY . Обозначим угол между связями $\angle\text{YXY} = \alpha$ и применим теорему косинусов:

$$r(\text{Y}-\text{Y})^2 = r(\text{X}-\text{Y})^2 + r(\text{X}-\text{Y})^2 - 2 \cdot r(\text{X}-\text{Y})^2 \cdot \cos\alpha,$$

$$0.218^2 = 0.152^2 + 0.152^2 - 2 \cdot 0.152^2 \cdot \cos\alpha,$$

откуда $\cos\alpha = -0.0285$, $\alpha = 92^\circ$. При таком угле все атомы Y и X не могут лежать в одной плоскости, молекула имеет форму треугольной пирамиды:



Ответ: 92° , треугольная пирамида.

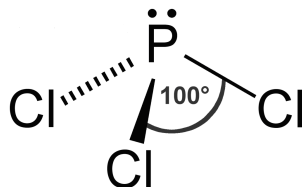
3.4. В молекуле XY_3 длина связи $\text{X}-\text{Y}$ составляет 0.204 нм, а расстояние между атомами Y равно 0.313 нм. Найдите угол между связями $\angle\text{YXY}$. Какую геометрическую форму имеет молекула? (13 баллов)

Решение. Рассмотрим равнобедренный треугольник YXY . Обозначим угол между связями $\angle\text{YXY} = \alpha$ и применим теорему косинусов:

$$r(\text{Y}-\text{Y})^2 = r(\text{X}-\text{Y})^2 + r(\text{X}-\text{Y})^2 - 2 \cdot r(\text{X}-\text{Y})^2 \cdot \cos\alpha,$$

$$0.313^2 = 0.204^2 + 0.204^2 - 2 \cdot 0.204^2 \cdot \cos\alpha,$$

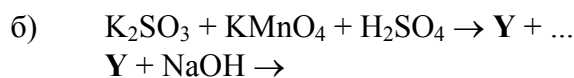
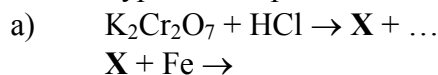
откуда $\cos\alpha = -0.177$, $\alpha = 100^\circ$. При таком угле все атомы Y и X не могут лежать в одной плоскости, молекула имеет форму треугольной пирамиды:



Ответ: 100° , треугольная пирамида.

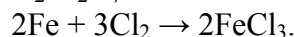
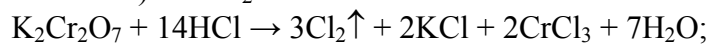
ЗАДАНИЕ 4

4.1. Напишите уравнения реакций согласно следующим схемам превращений:

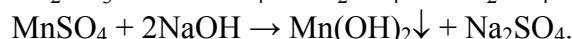
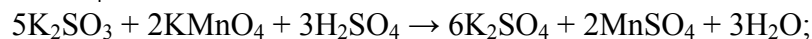


Определите неизвестные вещества. (12 баллов)

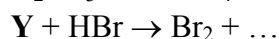
Решение: а) X – Cl₂.



б) Y – MnSO₄.

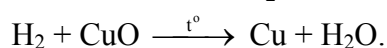
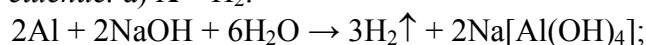


4.2. Напишите уравнения реакций согласно схемам превращений:

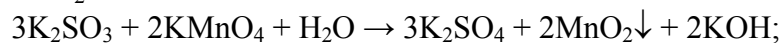


Определите неизвестные вещества. (12 баллов)

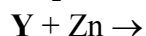
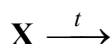
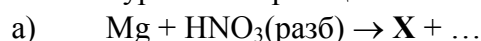
Решение. а) X – H₂.



б) Y – MnO₂.

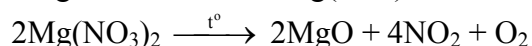
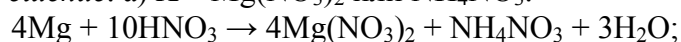


4.3. Напишите уравнения реакций согласно схемам превращений:

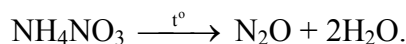


Определите неизвестные вещества. (12 баллов)

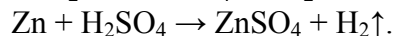
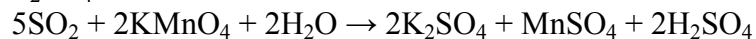
Решение. а) X – Mg(NO₃)₂ или NH₄NO₃.



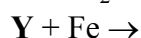
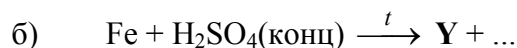
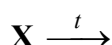
или



б) Y – H₂SO₄.

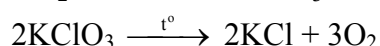


4.4. Напишите уравнения реакций согласно схемам превращений:

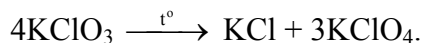


Определите неизвестные вещества. (12 баллов)

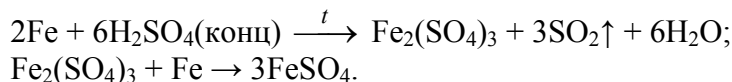
Решение. а) X – KClO₃.



или

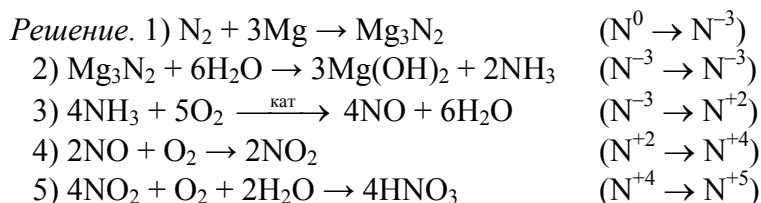
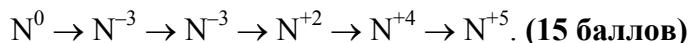


б) $\text{Y} - \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$.

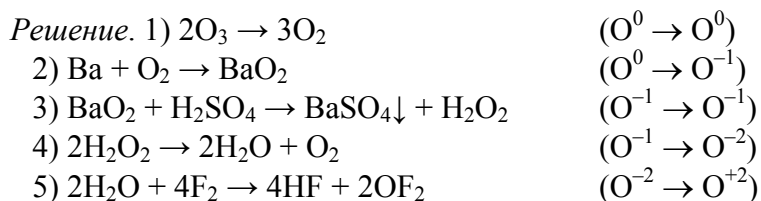
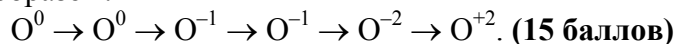


ЗАДАНИЕ 5

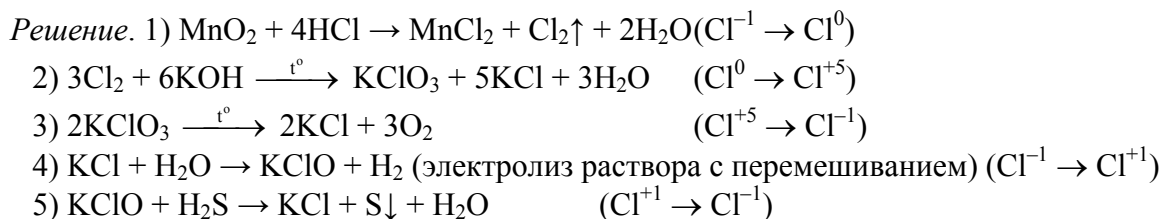
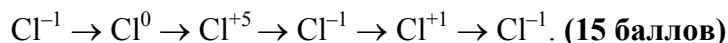
5.1. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления азота меняется следующим образом:



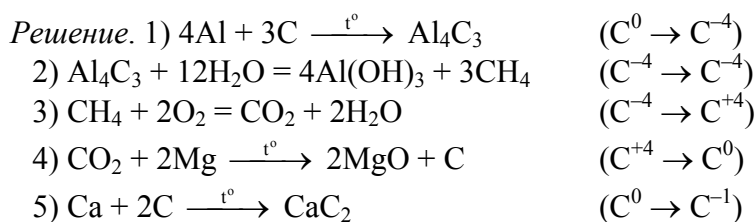
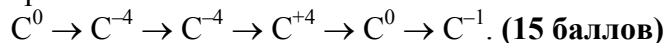
5.2. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления кислорода меняется следующим образом:



5.3. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления хлора меняется следующим образом:



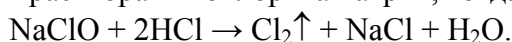
5.4. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления углерода меняется следующим образом:



ЗАДАНИЕ 6

6.1. Хлорсодержащие окислители, используемые для очистки воды или отбеливания, характеризуют содержанием «активного хлора» – это отношение массы хлора, полученного взаимодействием окислителя с избытком соляной кислоты, к массе окислителя (в %). Сколько процентов «активного хлора» содержит 15%-й раствор гипохлорита натрия? Может ли содержание «активного хлора» превышать 100%? Если да – приведите пример, если нет – объясните, почему. **(20 баллов)**

Решение. Возьмем 100 г раствора гипохлорита натрия, тогда $m(\text{NaClO}) = 15$ г.



$$v(\text{NaClO}) = 15 / 74.5 = 0.2 \text{ моль},$$

$$v(\text{Cl}_2) = v(\text{NaClO}) = 0.2 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cl}_2) = 0.2 \cdot 71 = 14.2 \text{ г}.$$

Процент «активного хлора» в растворе NaClO: $14.2 \text{ г} / 100 \text{ г} \cdot 100\% = 14.2\%$.

Содержание активного хлора **может быть больше 100%**. Пример – чистый KClO_3 :

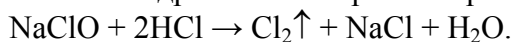


Здесь процент «активного хлора»: $3 \cdot 71 \text{ г} / 122.5 \text{ г} \cdot 100\% = 174\%$.

Ответ: 14.2%, да, может.

6.2. Хлорсодержащие окислители, используемые для очистки воды или отбеливания, характеризуют содержанием «активного хлора» – это отношение массы хлора, полученного взаимодействием окислителя с избытком соляной кислоты, к массе окислителя (в %). Сколько процентов «активного хлора» содержит пентагидрат гипохлорита натрия? Может ли содержание «активного хлора» превышать 100%? Если да – приведите пример, если нет – объясните, почему. **(20 баллов)**

Решение. Возьмем 1 моль пентагидрата гипохлорита натрия, $m(\text{NaClO} \cdot 5\text{H}_2\text{O}) = 164.5$ г.



$$v(\text{Cl}_2) = v(\text{NaClO}) = 1 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cl}_2) = 71 \text{ г}.$$

Процент «активного хлора» в кристаллогидрате: $71 \text{ г} / 164.5 \text{ г} \cdot 100\% = 43.2\%$.

Содержание активного хлора **может быть больше 100%**. Пример – чистый NaClO_2 :



Процент «активного хлора»: $2 \cdot 71 \text{ г} / 90.5 \text{ г} \cdot 100\% = 157\%$.

Ответ: 43.2%, да, может.

6.3. Благодаря развитию промышленности растут выбросы в атмосферу углекислого газа. Основной природный способ его утилизации – фотосинтез. Однако, возможны и промышленные способы. Напишите по одному уравнению реакции, позволяющему преобразовать CO_2 в практически важное вещество с массовым содержанием углерода:

а) 12%;

б) 20%;

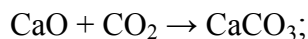
в) 37.5%;

г) 75%.

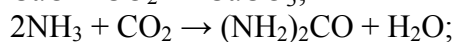
(20 баллов)

Решение.

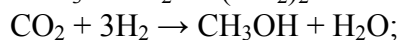
а) 12% С – карбонат кальция CaCO_3



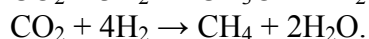
б) 20% С – мочевины, $(\text{NH}_2)_2\text{CO}$



в) 37.5% С – метанол, CH_3OH



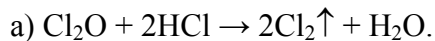
г) 75% С – метан, CH_4



6.4. Хлорсодержащие окислители, используемые для очистки воды или отбеливания, характеризуют содержанием «активного хлора» – это отношение массы хлора, полученного взаимодействием окислителя с избытком соляной кислоты, к массе окислителя (в %). Сколько процентов «активного хлора» содержит: а) оксид хлора(I), б) оксид хлора(IV)?

(20 баллов)

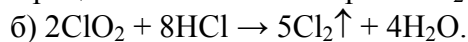
Решение. Возьмем по 1 молю Cl_2O и ClO_2 , $m(\text{Cl}_2\text{O}) = 87$ г, $m(\text{ClO}_2) = 67.5$ г.



$$\nu(\text{Cl}_2) = 2\nu(\text{Cl}_2\text{O}) = 2 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cl}_2) = 142 \text{ г}.$$

Процент «активного хлора» в Cl_2O : $142 \text{ г} / 87 \text{ г} \cdot 100\% = 163\%$.



$$\nu(\text{Cl}_2) = 2.5\nu(\text{ClO}_2) = 2.5 \text{ моль},$$

$$m(\text{Cl}_2) = 177.5 \text{ г}.$$

Процент «активного хлора» в ClO_2 : $177.5 \text{ г} / 67.5 \text{ г} \cdot 100\% = 263\%$.

Хлорный ангидрид имеет максимально возможное содержание «активного хлора».

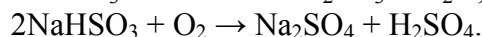
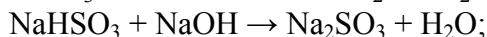
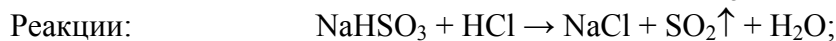
Ответ: а) 163%, б) 263%.

ЗАДАНИЕ 7

7.1. Неорганическое вещество представляет собой белый порошок, хорошо растворимый в воде. Оно окрашивает пламя в желтый цвет, реагирует с кислотами и щелочами (в первом случае газ выделяется, во втором – нет). В водном растворе вещество окисляется кислородом воздуха, при этом видимых изменений не происходит. Установите формулу вещества, предложите один способ его получения и напишите уравнения всех описанных реакций.

(20 баллов)

Решение. Неорганическое вещество – NaHSO_3 , гидросульфит натрия. Его получение:



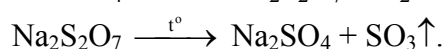
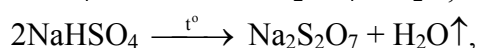
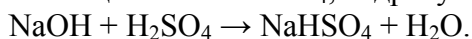
Благодаря последней реакции гидросульфит натрия используют в качестве антиоксиданта.

Ответ: NaHSO_3 .

7.2. Неорганическое вещество представляет собой белый порошок, хорошо растворимый в воде. Оно окрашивает пламя в желтый цвет, реагирует с щелочами, но не реагирует с кислотами. При нагревании вещество разлагается в две стадии: сначала выделяются пары воды, а при сильном прокаливании происходит значительная потеря массы. Установите формулу вещества, предложите один способ его получения и напишите уравнения всех описанных реакций.

(20 баллов)

Решение. Неорганическое вещество – NaHSO_4 , гидросульфат натрия. Его получение:

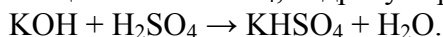


Ответ: NaHSO_4 .

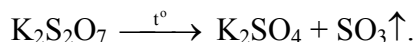
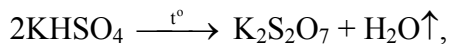
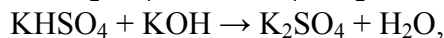
7.3. Неорганическое вещество представляет собой белый порошок, хорошо растворимый в воде. Оно окрашивает пламя в фиолетовый цвет, реагирует с щелочами, но не реагирует с

кислотами. При нагревании вещество разлагается в две стадии: сначала выделяются пары воды, а при сильном прокаливании происходит значительная потеря массы. Установите формулу вещества, предложите один способ его получения и напишите уравнения всех описанных реакций. **(20 баллов)**

Решение. Неорганическое вещество – KHSO_4 , гидросульфат калия. Его получение:



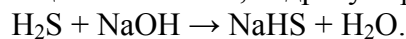
Реакции:



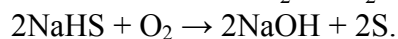
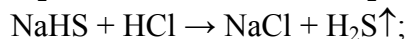
Ответ: KHSO_4 .

7.4. Неорганическое вещество представляет собой белый порошок, хорошо растворимый в воде. Оно окрашивает пламя в желтый цвет, реагирует с кислотами и щелочами (в первом случае газ выделяется, во втором – нет), легко окисляется кислородом воздуха с образованием простого вещества. Установите формулу вещества, предложите один способ его получения и напишите уравнения всех описанных реакций. **(20 баллов)**

Решение. Неорганическое вещество – NaHS , гидросульфид натрия. Его получение:



Реакции:



Ответ: NaHS .

ОТБОРОЧНЫЙ ТУР ДЕКАБРЬ, 5-9 классы

ЗАДАНИЕ 1

1.1. Цезий и кислород образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 96.14%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения Cs_xO_y . Цезий – намного более тяжелый элемент, чем кислород, поэтому логично предположить, что 96.14% – массовая доля цезия, тогда

$$\omega(\text{Cs}) = 0.9614 = \frac{133x}{133x + 16y},$$

откуда $x = 3y$. Формула соединения – Cs_3O .

Ответ: Cs_3O .

1.2. Цезий и кислород образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 97.08%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения Cs_xO_y . Цезий – намного более тяжелый элемент, чем кислород, поэтому логично предположить, что 97.08% – массовая доля цезия, тогда

$$\omega(\text{Cs}) = 0.9708 = \frac{133x}{133x + 16y},$$

откуда $x = 4y$. Формула соединения – Cs_4O .

Ответ: Cs_4O .

1.3. Серебро и углерод образуют соединение необычного состава, в котором массовые доли элементов отличаются в 4 раза. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения Ag_xC_y . Массовые доли элементов – 80% и 20%. Серебро – намного более тяжелый элемент, чем углерод, поэтому логично предположить, что 80% – массовая доля серебра:

$$\omega(\text{Ag}) = 0.8 = \frac{108x}{108x + 12y},$$

откуда $9x = 4y$. Простейшее решение в целых числах: $x = 4$, $y = 9$. Формула соединения – Ag_4C_9 .

Ответ: Ag_4C_9 .

1.4. Марганец и углерод образуют соединение необычного состава, в котором массовая доля одного из элементов составляет 93.22%. Установите формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение. Пусть формула соединения Mn_xC_y . Марганец – более тяжелый элемент, чем углерод, поэтому логично предположить, что 93.22% – массовая доля марганца:

$$\omega(\text{Mn}) = 0.9322 = \frac{55x}{55x + 12y},$$

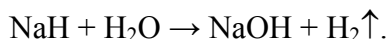
откуда $x = 3y$. Формула соединения – Mn_3C .

Ответ: Mn_3C .

ЗАДАНИЕ 2

2.1. Сколько граммов гидрида натрия надо растворить в 100 г воды для получения 10%-ного раствора щелочи? **(10 баллов)**

Решение. Уравнение реакции:



Пусть в воде растворили x моль NaH , тогда в растворе образовалось x моль NaOH и выделилось x моль H_2 . Выразим массу щелочи и массу раствора:

$$m(\text{NaOH}) = 40x \text{ (г)},$$

$$m(\text{р-ра}) = 100 + m(\text{NaH}) - m(\text{H}_2) = 100 + 22x.$$

Массовая доля щелочи:

$$\omega(\text{NaOH}) = 0.1 = 40x / (100 + 22x),$$

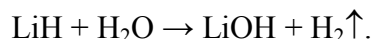
отсюда $x = 0.265$ моль. Масса гидрида равна

$$m(\text{NaH}) = 0.265 \cdot 24 = 6.36 \text{ г}.$$

Ответ: 6.36 г.

2.2. Сколько граммов гидрида лития надо растворить в 200 г воды для получения 15%-ного раствора щелочи? **(10 баллов)**

Решение. Уравнение реакции:



Пусть в воде растворили x моль LiH , тогда в растворе образовалось x моль LiOH и выделилось x моль H_2 . Выразим массу щелочи и массу раствора:

$$m(\text{LiOH}) = 24x \text{ (г)},$$

$$m(\text{р-ра}) = 200 + m(\text{LiH}) - m(\text{H}_2) = 200 + 6x.$$

Массовая доля щелочи:

$$\omega(\text{LiOH}) = 0.15 = 24x / (200 + 6x),$$

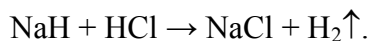
отсюда $x = 1.3$ моль. Масса гидрида равна

$$m(\text{LiH}) = 1.3 \cdot 8 = 10.4 \text{ г.}$$

Ответ: 10.4 г.

2.3. Сколько граммов гидрида натрия надо растворить в 100 г 10%-ной соляной кислоты, чтобы получить раствор, в котором массовые доли соли и кислоты равны? **(10 баллов)**

Решение. Уравнение реакции:



Пусть в кислоте растворили x моль NaN, тогда израсходовано x моль HCl, образовалось x моль NaCl, а в полученном растворе массы оставшегося HCl и образовавшегося NaCl равны:

$$100 \cdot 0.1 - 36.5x = 58.5x,$$

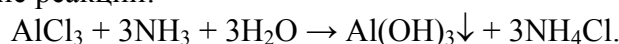
отсюда $x = 0.105$ моль. Масса гидрида равна

$$m(\text{NaN}) = 0.105 \cdot 24 = 2.5 \text{ г.}$$

Ответ: 2.5 г.

2.4. Сколько граммов хлорида алюминия надо добавить к 250 г 10%-ного раствора аммиака, чтобы получить раствор, в котором массовые доли соли и аммиака равны? **(10 баллов)**

Решение. Уравнение реакции:



Пусть к раствору добавили растворили x моль AlCl_3 , тогда израсходовано $3x$ моль NH_3 , образовалось $3x$ моль NH_4Cl , а в полученном растворе массы оставшегося NH_3 и образовавшегося NH_4Cl равны:

$$250 \cdot 0.1 - 17 \cdot 3x = 53.5 \cdot 3x,$$

отсюда $x = 0.118$ моль. Масса хлорида алюминия равна

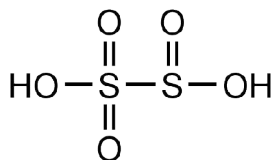
$$m(\text{AlCl}_3) = 0.118 \cdot 133.5 = 15.8 \text{ г.}$$

Ответ: 15.8 г.

ЗАДАНИЕ 3

3.1. В молекуле некоторого соединения атомы серы имеют разные валентности. Предложите формулу одного из таких соединений, изобразите его структурную формулу и определите степени окисления всех элементов. **(12 баллов)**

Решение. Например, $\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_5$ – дисернистая кислота:

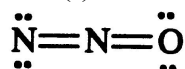


Степени окисления: H^{+1} , O^{-2} , S^{+3} и S^{+5} .

Также удовлетворяет условиям задачи тиосульфат натрия $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

3.2. В молекуле некоторого соединения атомы азота имеют разные валентности. Предложите формулу одного из таких соединений, изобразите его структурную формулу и определите степени окисления всех элементов. **(12 баллов)**

Решение. Например, N_2O – оксид азота(I):

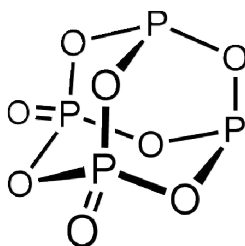


Степени окисления: O^{-2} , N^0 и N^{+2} .

Также удовлетворяет условиям задачи нитрит аммония NH_4NO_2 .

3.3. В молекуле некоторого соединения атомы фосфора имеют разные валентности. Предложите формулу одного из таких соединений, изобразите его структурную формулу и определите степени окисления всех элементов. **(12 баллов)**

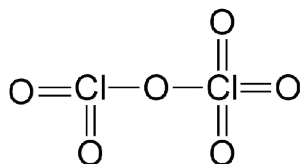
Решение. Например, P_4O_8 – октаоксид тетрафосфора:



Степени окисления: O^{-2} , P^{+3} (два атома) и P^{+5} (два атома).

3.4. В молекуле некоторого соединения атомы хлора имеют разные валентности. Предложите формулу одного из таких соединений, изобразите его структурную формулу и определите степени окисления всех элементов. **(12 баллов)**

Решение. Например, Cl_2O_6 – гексаоксид дихлора:



Степени окисления: O^{-2} , Cl^{+5} и Cl^{+7} .

ЗАДАНИЕ 4

4.1. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (коэффициенты не указаны)? Напишите полные уравнения реакций. **(13 баллов)**

- а) $KHCO_3$
- б) $Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + H_2O$
- в) $KCl + P_2O_5$
- г) $H_3PO_3 + HI$

Решение. а) $KOH + CO_2 \rightarrow KHCO_3$

б) $4Mg + 10HNO_3 \rightarrow 4Mg(NO_3)_2 + NH_4NO_3 + 3H_2O$

в) $5KClO_3 + 6P \rightarrow 5KCl + 3P_2O_5$

г) $PI_3 + 3H_2O \rightarrow H_3PO_3 + 3HI$

4.2. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (коэффициенты не указаны)? Напишите полные уравнения реакций. (13 баллов)

- а) NaHSO_4
- б) $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + \text{NH}_4\text{NO}_3$
- в) $\text{KBr} + \text{SO}_2$
- г) $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{HCl}$

Решение. а) $\text{NaOH} + \text{SO}_3 \rightarrow \text{NaHSO}_4$
б) $\text{Mg}_3\text{N}_2 + 8\text{HNO}_3 \rightarrow 3\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{NH}_4\text{NO}_3$
в) $2\text{KBrO}_3 + 3\text{S} \rightarrow 2\text{KBr} + 3\text{SO}_2$
г) $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$

4.3. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (коэффициенты не указаны)? Напишите полные уравнения реакций. (13 баллов)

- а) $\text{Fe}(\text{OH})_3 + \text{KCl} + \text{CO}_2$
- б) $\text{ZnSO}_4 + \text{S} + \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2$
- г) $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{HCl}$

Решение. а) $\text{FeCl}_3 + 3\text{KHCO}_3 \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow + 3\text{KCl}$
или $2\text{FeCl}_3 + 3\text{K}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow + 6\text{KCl}$,
б) $3\text{Zn} + 4\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{ZnSO}_4 + \text{S}\downarrow + 4\text{H}_2\text{O}$
в) $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{SiO}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$
г) $\text{PCl}_5 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + 5\text{HCl}$

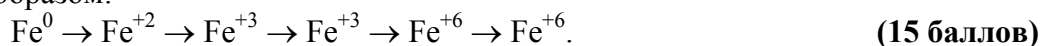
4.4. Какие два вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (коэффициенты не указаны)? Напишите полные уравнения реакций. (13 баллов)

- а) $\text{Al}(\text{OH})_3 + \text{KCl} + \text{CO}_2$
- б) $\text{KCl} + \text{I}_2 + \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$
- г) $\text{CO}_2 + \text{HCl}$

Решение. а) $\text{AlCl}_3 + 3\text{KHCO}_3 \rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CO}_2\uparrow + 3\text{KCl}$
б) $\text{KClO}_3 + 6\text{HI} \rightarrow \text{KCl} + 3\text{I}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
в) $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 \xrightarrow{t^\circ} \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2\uparrow$
г) $\text{COCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{HCl}$
или $\text{HCOOH} + \text{Cl}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{HCl}$.

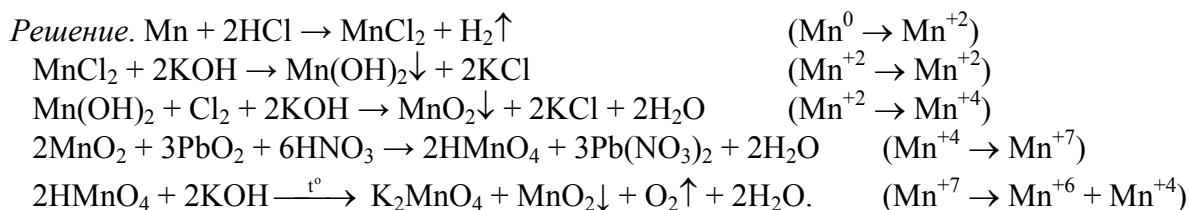
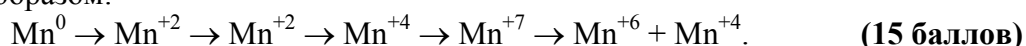
ЗАДАНИЕ 5

5.1. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления железа меняется следующим образом:

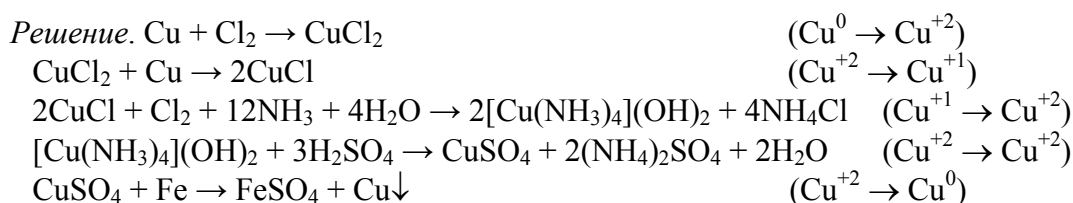
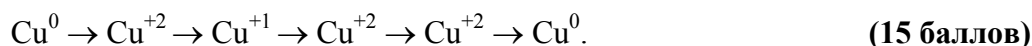


Решение. $\text{Fe} + 2\text{HCl} \rightarrow \text{FeCl}_2 + \text{H}_2\uparrow$ ($\text{Fe}^0 \rightarrow \text{Fe}^{+2}$)
 $2\text{FeCl}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{FeCl}_3$ ($\text{Fe}^{+2} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$)
 $\text{FeCl}_3 + 3\text{KOH} \rightarrow \text{Fe}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{KCl}$ ($\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+3}$)
 $2\text{FeCl}_3 + 3\text{Cl}_2 + 16\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 12\text{KCl} + 8\text{H}_2\text{O}$ ($\text{Fe}^{+3} \rightarrow \text{Fe}^{+6}$)
 $\text{K}_2\text{FeO}_4 + \text{BaCl}_2 \rightarrow \text{BaFeO}_4\downarrow + 2\text{KCl}$ ($\text{Fe}^{+6} \rightarrow \text{Fe}^{+6}$)

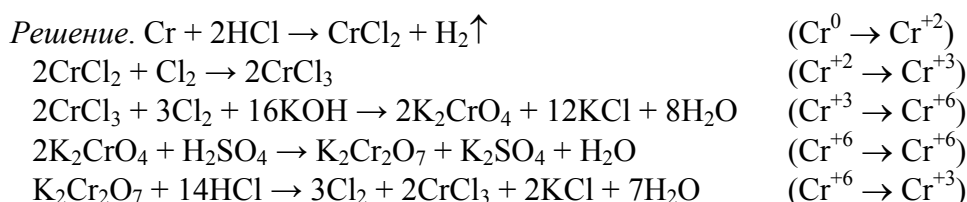
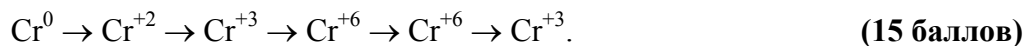
5.2. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления марганца меняется следующим образом:



5.3. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления меди меняется следующим образом:



5.4. Напишите уравнения реакций, в которых степень окисления хрома меняется следующим образом:



ЗАДАНИЕ 6

6.1. Автомобили, двигатели которых работают на водороде, называют более «зелеными», т. е. экологически более чистыми, чем те, которые используют углеводородное топливо. Сравним эти двигатели.

1) Сколько кубометров водорода (н. у.) потребуется для работы в течение одного часа автомобильного двигателя мощностью 75 кВт?

2) Сколько кубометров углекислого газа (н. у.) выделится в атмосферу при производстве такого количества водорода из метана в реакции с парами воды?

3) Сколько литров сжиженного газа (примем, что это – пропан, плотность 550 г/л) потребуется для часовой работы такого же двигателя, и сколько при этом образуется углекислого газа (в м³, н. у.)?

Известно, что КПД водородного двигателя – 20%, КПД двигателя на газе – 40%, теплота сгорания водорода – 240 кДж/моль, теплота сгорания пропана – 2200 кДж/моль. **(20 баллов)**

Решение. 1) Рассмотрим водородный двигатель. Работа, совершенная двигателем:

$$A = Wt = 75 \text{ кВт} \cdot 3600 \text{ с} = 2.7 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

Необходимая теплота:

$$Q = A / \eta = 2.7 \cdot 10^5 / 0.2 = 1.35 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

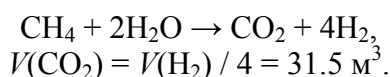
Количество вещества водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = Q / Q_m = 1.35 \cdot 10^6 \text{ кДж} / 240 \text{ кДж/моль} = 5625 \text{ моль.}$$

Объем водорода:

$$V(\text{H}_2) = \nu \cdot V_m = 5625 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 126 \text{ м}^3.$$

2) Объем углекислого газа:



3) Рассмотрим двигатель на сжиженном газе. Необходимая теплота:

$$Q = A / \eta = 2.7 \cdot 10^5 / 0.4 = 6.75 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

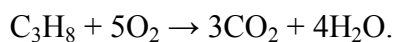
Количество вещества пропана:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = Q / Q_m = 6.75 \cdot 10^5 \text{ кДж} / 2200 \text{ кДж/моль} = 307 \text{ моль.}$$

Объем пропана:

$$V(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu \cdot M / \rho = 307 \text{ моль} \cdot 44 \text{ г/моль} / 550 \text{ г/л} = 24.5 \text{ л.}$$

Объем углекислого газа:



$$\nu(\text{CO}_2) = 3 \cdot 307 = 921 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 921 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 20.6 \text{ м}^3.$$

Получается, что двигатель, работающий на сжиженном газе, более экологичен, чем водородный, в отношении выделения углекислого газа.

Ответ: 1) 126 м³, 2) 31.5 м³, 3) 24.5 л, 20.6 м³.

6.2. Автомобили, двигатели которых работают на водороде, называют более «зелеными», т. е. экологически более чистыми, чем те, которые используют углеводородное топливо. Сравним эти двигатели. Возьмем 50 л жидкого водорода (плотность 71 кг/м³) и 50 л жидкого пропана (плотность 550 кг/м³).

1) Сколько времени сможет работать на каждом из этих видов топлива автомобильный двигатель мощностью 50 кВт?

2) Сколько кубометров углекислого газа (н. у.) выделится в атмосферу:

а) при производстве такого количества водорода из метана в реакции с водой;

б) при сгорании такого количества пропана?

Известно, что КПД водородного двигателя – 20%, КПД двигателя на газе – 40%, теплота сгорания водорода – 240 кДж/моль, теплота сгорания пропана – 2200 кДж/моль. **(20 баллов)**

Решение. 1) Рассмотрим водородный двигатель. Количество вещества водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = m / M = 50 \text{ л} \cdot 71 \text{ г/л} / 2 \text{ г/моль} = 1775 \text{ моль.}$$

Теплота сгорания:

$$Q = \nu Q_m = 1775 \text{ моль} \cdot 240 \text{ кДж/моль} = 4.26 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

Работа, совершенная двигателем:

$$A = \eta Q = 0.2 \cdot 4.26 \cdot 10^5 = 8.52 \cdot 10^4 \text{ кДж.}$$

Время работы двигателя:

$$t = A / W = 8.52 \cdot 10^4 \text{ кДж} / 50 \text{ кВт} = 1704 \text{ с} = 28.4 \text{ мин.}$$

Теперь рассмотрим двигатель на природном газе. Количество вещества пропана:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = m / M = 50 \text{ л} \cdot 550 \text{ г/л} / 44 \text{ г/моль} = 625 \text{ моль.}$$

Теплота сгорания:

$$Q = \nu Q_m = 625 \text{ моль} \cdot 2200 \text{ кДж/моль} = 1.375 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

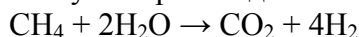
Работа, совершенная двигателем:

$$A = \eta Q = 0.4 \cdot 1.375 \cdot 10^6 = 5.5 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

Время работы двигателя:

$$t = A / W = 5.5 \cdot 10^5 \text{ кДж} / 50 \text{ кВт} = 11000 \text{ с} = 3.06 \text{ ч.}$$

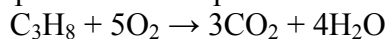
2) а) Объем углекислого газа в случае производства водорода из метана:



$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{H}_2) / 4 = 444 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 444 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 9.94 \text{ м}^3.$$

б) Объем углекислого газа при сжигании пропана:



$$\nu(\text{CO}_2) = 3 \cdot 625 = 1875 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 1875 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 42 \text{ м}^3.$$

Ответ: 1) 28.4 мин и 3.06 ч, 2) а) 9.94 м³, б) 42 м³.

6.3. Автомобили, двигатели которых работают на водороде, называют более «зелеными», т. е. экологически более чистыми, чем те, которые используют углеводородное топливо. Сравним эти двигатели. Возьмем по одному килограмму жидкого водорода и жидкого пропана (плотность 550 кг/м³).

1) Сколько времени сможет работать на каждом из этих видов топлива автомобильный двигатель мощностью 60 кВт?

2) Сколько кубометров углекислого газа (н.у.) выделится в атмосферу:

а) при производстве такого количества водорода из метана в реакции с водой;

б) при сгорании такого количества пропана?

Известно, что КПД водородного двигателя – 20%, КПД двигателя на газе – 40%, теплота сгорания водорода – 240 кДж/моль, теплота сгорания пропана – 2200 кДж/моль. **(20 баллов)**

Решение. 1) Рассмотрим водородный двигатель. Количество вещества водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = m / M = 1000 \text{ г} / 2 \text{ г/моль} = 500 \text{ моль.}$$

Теплота сгорания:

$$Q = \nu Q_m = 500 \text{ моль} \cdot 240 \text{ кДж/моль} = 1.2 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

Работа, совершенная двигателем:

$$A = \eta Q = 0.2 \cdot 1.2 \cdot 10^5 = 2.4 \cdot 10^4 \text{ кДж.}$$

Время работы водородного двигателя:

$$t = A / W = 2.4 \cdot 10^4 \text{ кДж} / 60 \text{ кВт} = 400 \text{ с} = 6.7 \text{ мин.}$$

Теперь рассмотрим двигатель на природном газе. Количество вещества пропана:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = m / M = 1000 \text{ г} / 44 \text{ г/моль} = 22.7 \text{ моль.}$$

Теплота сгорания:

$$Q = \nu Q_m = 22.7 \text{ моль} \cdot 2200 \text{ кДж/моль} = 5 \cdot 10^4 \text{ кДж.}$$

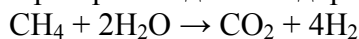
Работа, совершенная двигателем:

$$A = \eta Q = 0.4 \cdot 5 \cdot 10^4 = 2 \cdot 10^4 \text{ кДж.}$$

Время работы двигателя на природном газе:

$$t = A / W = 2 \cdot 10^4 \text{ кДж} / 60 \text{ кВт} = 333 \text{ с} = 5.6 \text{ мин.}$$

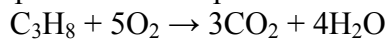
2) а) Объем углекислого газа при производстве водорода:



$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{H}_2) / 4 = 125 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 125 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 2.8 \text{ м}^3.$$

б) Объем углекислого газа при сжигании пропана:



$$\nu(\text{CO}_2) = 3 \cdot 22.7 = 68.1 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 68.1 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 1.5 \text{ м}^3.$$

Ответ: 1) 6.7 мин и 5.6 мин, 2) а) 2.8 м³, б) 1.5 м³.

6.4. Автомобили, двигатели которых работают на водороде, называют более «зелеными», т. е. экологически более чистыми, чем те, которые используют углеводородное топливо. Сравним эти двигатели.

1) Сколько килограммов водорода потребуется для работы в течение двух часов автомобильного двигателя мощностью 75 кВт?

2) Сколько кубометров углекислого газа (н. у.) выделится в атмосферу при производстве такого количества водорода из метана в реакции с парами воды?

3) Сколько килограммов сжиженного газа (примем, что это – пропан) потребуется для двухчасовой работы такого же двигателя, и сколько при этом образуется углекислого газа (в м³, н. у.)?

Известно, что КПД водородного двигателя – 20%, КПД двигателя на газе – 40%, теплота сгорания водорода – 240 кДж/моль, теплота сгорания пропана – 2200 кДж/моль. **(20 баллов)**

Решение. 1) Работа, совершенная водородным двигателем:

$$A = Wt = 75 \text{ кВт} \cdot 7200 \text{ с} = 5.4 \cdot 10^5 \text{ кДж.}$$

Необходимая теплота:

$$Q = A / \eta = 5.4 \cdot 10^5 / 0.2 = 2.7 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

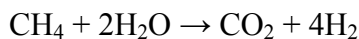
Количество вещества водорода:

$$\nu(\text{H}_2) = Q / Q_m = 2.7 \cdot 10^6 \text{ кДж} / 240 \text{ кДж/моль} = 11250 \text{ моль.}$$

Масса водорода:

$$V(\text{H}_2) = \nu \cdot M = 11250 \text{ моль} \cdot 0.002 \text{ кг/моль} = 22.5 \text{ кг.}$$

2) Найдем объем углекислого газа:



$$\nu(\text{CO}_2) = \nu(\text{H}_2) / 4 = 2813 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 2813 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 63 \text{ м}^3.$$

3) Теперь рассмотрим двигатель на сжиженном газе. Необходимая теплота:

$$Q = A / \eta = 5.4 \cdot 10^5 / 0.4 = 1.35 \cdot 10^6 \text{ кДж.}$$

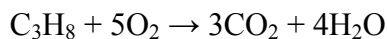
Количество вещества пропана:

$$\nu(\text{C}_3\text{H}_8) = Q / Q_m = 1.35 \cdot 10^6 \text{ кДж} / 2200 \text{ кДж/моль} = 613.6 \text{ моль.}$$

Масса пропана:

$$m(\text{C}_3\text{H}_8) = \nu \cdot M = 613.6 \text{ моль} \cdot 0.044 \text{ кг/моль} = 27 \text{ кг.}$$

Найдем объем углекислого газа:



$$\nu(\text{CO}_2) = 3 \cdot 613.6 = 1841 \text{ моль.}$$

$$V(\text{CO}_2) = \nu \cdot V_m = 1841 \text{ моль} \cdot 0.0224 \text{ м}^3/\text{моль} = 41 \text{ м}^3.$$

Получается, что двигатель на сжиженном газе более экологичен, чем водородный в отношении выделения углекислого газа.

Ответ: 1) 22.5 кг, 2) 63 м³, 3) 27 кг и 41 м³.

ЗАДАНИЕ 7

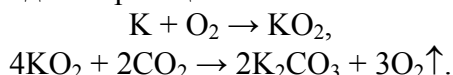
7.1. Простые вещества **А** и **Б** бурно реагируют между собой с образованием продукта **В**. При обработке **В** углекислым газом выделяется вещество **Б** и образуется продукт **Г**, содержащий 8.70% углерода и 34.78% кислорода по массе. Назовите неизвестные вещества, напишите уравнения реакций. Ответ подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Продукт **Г** – карбонат калия. Подтвердим расчетом – в карбонате калия

$$\omega(\text{C}) = 12 / 138 = 0.087 \text{ (или 8.7\%)},$$

$$\omega(\text{O}) = 3 \cdot 16 / 138 = 0.3478 \text{ (или } 34.78\%).$$

Уравнения описанных в задании реакций:



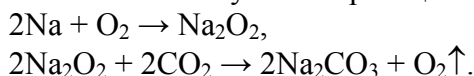
Ответ: **А** – К, **Б** – O₂, **В** – KO₂, **Г** – K₂CO₃.

7.2. Простые вещества **А** и **Б** бурно реагируют между собой с образованием продукта **В**. При обработке **В** углекислым газом выделяется вещество **Б** и образуется продукт **Г**, содержащий 11.3% углерода и 45.3% кислорода по массе. Назовите неизвестные вещества, напишите уравнения реакций. Ответ подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Продукт **Г** – карбонат натрия. Подтвердим расчетом – в карбонате натрия:

$$\begin{aligned} \omega(\text{C}) &= 12 / 106 = 0.113 \text{ (или } 11.3\%), \\ \omega(\text{O}) &= 3 \cdot 16 / 106 = 0.453 \text{ (или } 45.3\%). \end{aligned}$$

Уравнения описанных в условии реакций:



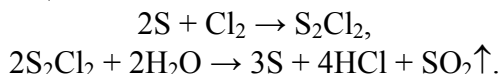
Ответ: **А** – Na, **Б** – O₂, **В** – Na₂O₂, **Г** – Na₂CO₃.

7.3. Твердое простое вещество **А** массой 6.4 г обработали хлором и получили единственный продукт **Б**, жидкий при обычных условиях. При внесении **Б** в избыток воды образуется 4.8 г вещества **А**, а из получившегося сильноокислого раствора при нагревании выделяется газ **В**, имеющий плотность по воздуху 2.2. Определите неизвестные вещества, напишите уравнения реакций. Ответ подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Найдем молярную массу газа **В**:

$$M(\text{В}) = 2.2 \cdot 29 = 64 \text{ г/моль,}$$

подходит SO₂. Уравнения реакций:



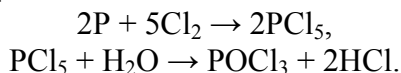
Подтвердим расчетами по уравнениям:

$$\begin{aligned} \nu_1(\text{S}) &= 6.4 / 32 = 0.2 \text{ моль,} \\ \nu(\text{S}_2\text{Cl}_2) &= 0.2 / 2 = 0.1 \text{ моль,} \\ \nu_2(\text{S}) &= 0.1 \cdot 3 / 2 = 0.15 \text{ моль,} \\ m_2(\text{S}) &= 0.15 \cdot 32 = 4.8 \text{ г – совпадает с условием задачи.} \end{aligned}$$

Ответ: **А** – S, **Б** – S₂Cl₂, **В** – SO₂.

7.4. Твердое простое вещество **А** массой 1.00 г реагирует с избытком газа **Б**, образуя кристаллический продукт **В** массой 6.73 г. Вещество **В** реагирует с водой в мольном соотношении 1 : 1, образуя дымящую на воздухе жидкость **Г**, содержащую 10.42% кислорода по массе. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения реакций. Ответ подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Уравнения реакций:



Массовая доля кислорода в POCl₃ (жидкость **Г**):

$$\omega(\text{O}) = 16 / 153.5 = 0.1042 = 10.42\%.$$

Подтвердим расчетами по уравнениям:

$$\nu(\text{P}) = 1.00 / 31 = 0.0323 \text{ моль} = \nu(\text{PCl}_5).$$

$$m(\text{PCl}_5) = 0.0323 \cdot 208.5 = 6.73 \text{ г} - \text{совпадает с условием задачи.}$$

Ответ: А – P, Б – Cl₂, В – PCl₅, Г – POCl₃.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР, 10-11 КЛАССЫ

ВАРИАНТ 1

1.1. Красный цвет крови большинства позвоночных обусловлен гемоглобином. Рассчитайте массовую долю водорода в гемоглобине C₂₉₅₄H₄₅₁₆N₇₈₀O₈₀₆S₁₂Fe₄. (4 балла)

Решение. Молярная масса гемоглобина

$$M = 2954 \cdot 12 + 4516 \cdot 1 + 780 \cdot 14 + 806 \cdot 16 + 12 \cdot 32 + 4 \cdot 56 = 64388 \text{ г/моль.}$$

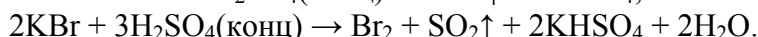
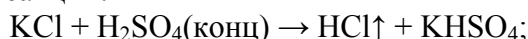
Массовая доля водорода составляет

$$\omega(\text{H}) = 4516 / 64388 = 0.0701 \text{ (или 7.01\%)}$$

Ответ: 7.01%.

2.1. Напишите реакции взаимодействия кристаллических хлорида калия и бромида калия с концентрированной серной кислотой. Сравнив эти реакции, определите, какой из галогенид-ионов проявляет более сильные восстановительные свойства. (6 баллов)

Решение. Уравнения реакций:



Реакция хлорида калия с серной кислотой не приводит к изменению степени окисления хлора, а в реакции бромида калия с серной кислотой происходит окисление бромид-иона до Br₂. Бромид-ион – более сильный восстановитель.

3.4. В 5.6 л (н. у.) газообразного продукта взаимодействия фтора и простого вещества X содержится $10.535 \cdot 10^{23}$ атомов и $10.535 \cdot 10^{24}$ электронов. Определите неизвестный газ. (8 баллов)

Решение. Неизвестное вещество имеет формулу XF_n. Количество вещества

$$\nu(\text{XF}_n) = 0.25 \text{ моль.}$$

Значит, число молекул в этой порции составляет

$$N(\text{мол}) = 0.25 \cdot N_A,$$

а число атомов в одной молекуле равно

$$N(\text{ат}) = 10.535 \cdot 10^{23} / (0.25 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 7.$$

Тогда число атомов фтора в молекуле равно $n = 7 - 1 = 6$, т.е. формула газа – XF₆.

Число электронов в одной молекуле $N(\text{е}) = 10.535 \cdot 10^{24} / (0.25 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 70$.

$$70 = Z + 6 \cdot 9,$$

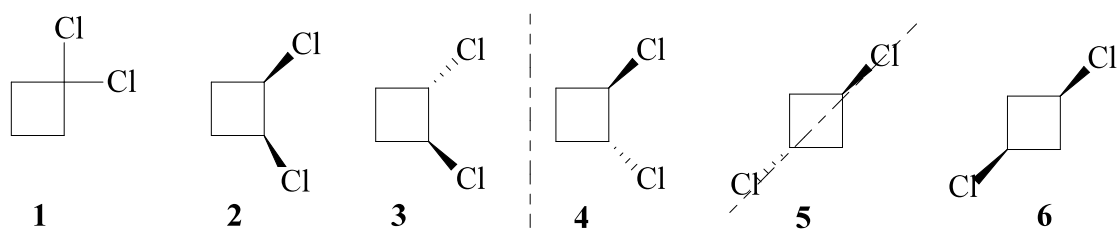
$$Z = 16.$$

Элемент X – сера, неизвестный газ – SF₆.

Ответ: SF₆.

4.2. Сколько существует изомерных дихлорциклобутанов? Изобразите их структурные формулы. (8 баллов)

Решение.



Соединения **3** и **4** являются оптическими изомерами *транс*-1,2-дихлорциклобутана. Молекула соединения **5** (*транс*-1,3-дихлорциклобутан) обладает элементом симметрии (плоскость симметрии, показана пунктиром), следовательно, она не имеет оптических изомеров.

Ответ: 6 изомерных дихлорциклобутанов.

5.3. К 100 г насыщенного при 20°C раствора хлорида двухвалентного металла **X** добавили 14.6 г безводной соли, после чего в осадок выпало 37.6 г кристаллогидрата состава $XCl_2 \cdot 4H_2O$. Определите неизвестный металл, если растворимость его безводного хлорида при 20°C составляет 68.1 г на 100 г воды. (10 баллов)

Решение. Массовая доля XCl_2 в насыщенном растворе при 20°C составляет

$$\omega(XCl_2) = 68.1 / 168.1 = 0.405,$$

следовательно, в 100 г исходного раствора находилось 40.5 г соли.

После добавления 14.6 г безводной соли к этому раствору выпал осадок кристаллогидрата, над которым находится насыщенный (40.5%-ный) раствор соли:

$$\omega(XCl_2) = m(XCl_2) / m(p-ра) = \frac{40.5 + 14.6 - x}{100 + 14.6 - 37.6} = 0.405,$$

где x – масса соли в осадке кристаллогидрата. Из полученного уравнения

$$(55.1 - x) / 77 = 0.405$$

находим $x = 23.915$ (г). Пусть M – молярная масса металла. Массовую долю безводной соли в кристаллогидрате, равную

$$\omega = 23.915 / 37.6 = 0.636,$$

можно выразить как $\frac{M + 71}{M + 71 + 18 \cdot 4}$. Тогда из уравнения

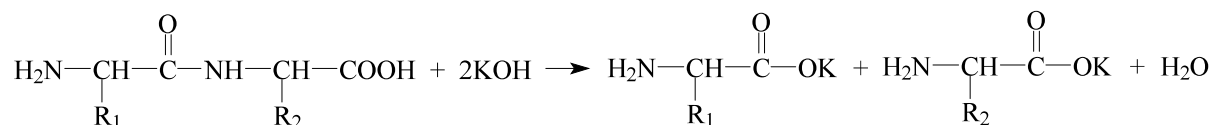
$$\frac{M + 71}{M + 143} = 0.636$$

получаем $M \approx 55$ г/моль (это марганец Mn).

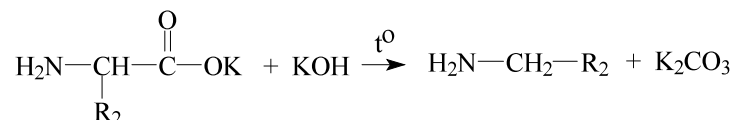
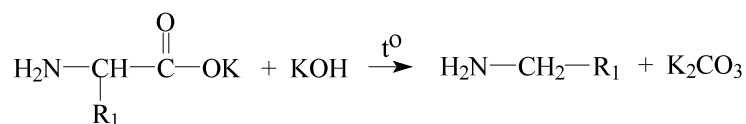
Ответ: марганец.

6.6. Дипептид, образованный природными аминокислотами, подвергли щелочному гидролизу. После сплавления продуктов гидролиза со щёлочью и обработки избытком азотистой кислоты была получена смесь пентандиола-1,5 и пропанола-1. Установите возможное строение дипептида. Напишите уравнения протекающих реакций. (10 баллов)

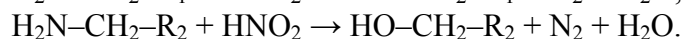
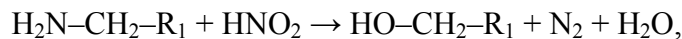
Решение. Основное свойство пептидов – способность к гидролизу. Запишем уравнение щелочного гидролиза дипептида, образованного двумя разными аминокислотами:



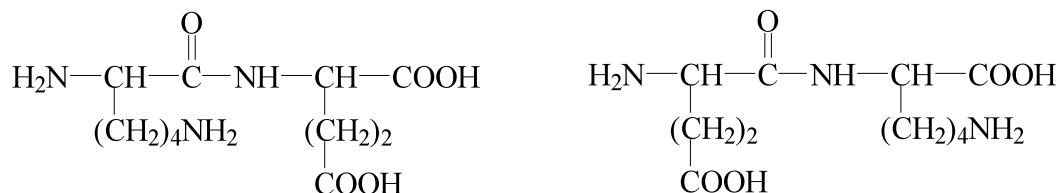
Сплавление продуктов гидролиза со щёлочью (реакция декарбоксилирования) приводит к образованию соответствующих аминов:



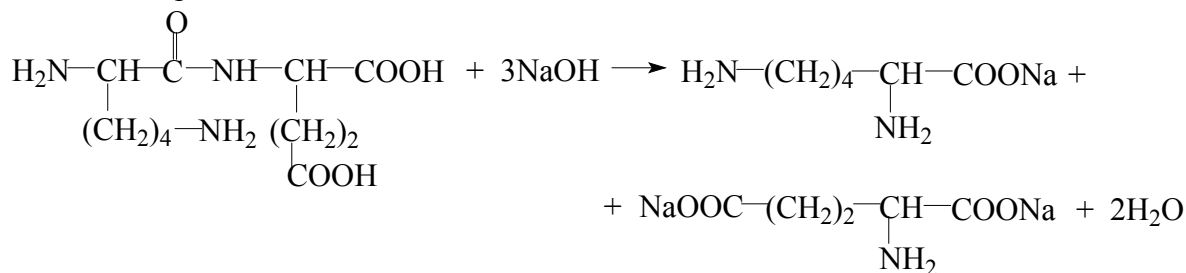
Образовавшиеся первичные амины реагируют с избытком азотистой кислоты, образуя спирты:



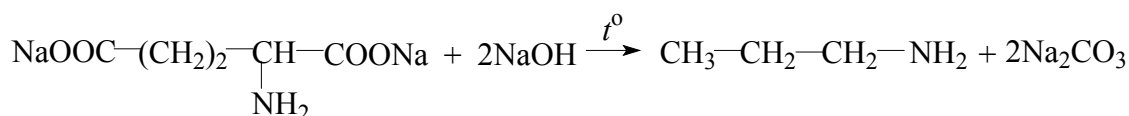
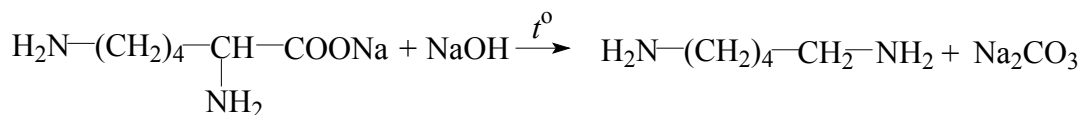
В составе дипептида могут быть и аминокислоты, содержащие дополнительные карбоксильные группы (например, глутаминовая кислота) или аминогруппы (например, лизин). Можно заключить, что один из радикалов принадлежит молекуле лизина, а второй – глутаминовой кислоте. Таким образом, можно предположить две формулы исходного дипептида, отвечающих условию задачи (2 изомера):



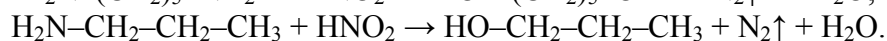
Реакция гидролиза:



Прокаливание:

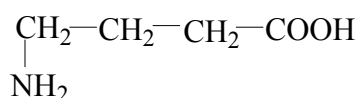


Реакции с азотистой кислотой:



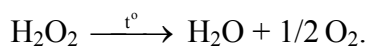
Ответ: дипептид образован лизином и глутаминовой кислотой.

Участники олимпиады предложили еще одно решение. Пропанол-1 может образоваться в ходе химических превращений, описанных в задаче, не из глутаминовой, а из γ -аминоасляной кислоты. Это природная аминокислота, выполняющая важные функции в организме:



Вариант решения с лизином и γ -аминомасляной кислотой при условии правильной записи всех реакций принимался как верный.

7.3. Разложение пероксида водорода в водном растворе протекает как реакция первого порядка:



Раствор, содержащий 72 г H_2O_2 , выдерживали при определенной температуре в течение 30 мин, и за это время образовалось 20.75 л кислорода (измерено при н. у.). Рассчитайте период полупревращения пероксида водорода при этой температуре. (10 баллов)

Решение. Для реакции первого порядка зависимость массы реагента от времени:

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

По условию, получено кислорода

$$\nu(\text{O}_2) = 20.75 / 22.4 = 0.926 \text{ моль,}$$

значит, пероксида разложилось

$$\nu(\text{H}_2\text{O}_2) = 0.926 \cdot 2 = 1.853 \text{ моль,}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}_2) = 1.853 \cdot 34 = 63 \text{ г.}$$

Осталось пероксида $m(\text{H}_2\text{O}_2) = 72 - 63 = 9 \text{ г.}$ Тогда

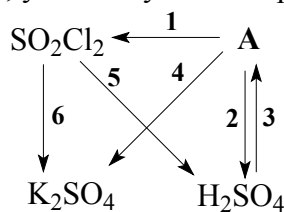
$$9 = 72 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{30}{\tau_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{30}{\tau_{1/2}}} = \frac{9}{72} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2} \right)^3.$$

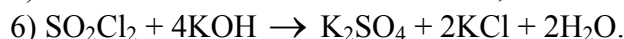
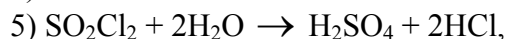
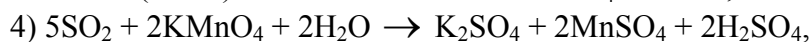
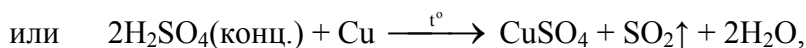
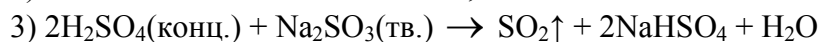
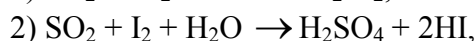
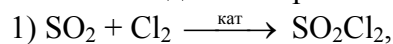
отсюда $\frac{30}{\tau_{1/2}} = 3$, $\tau_{1/2} = 30 / 3 = 10 \text{ мин.}$

Ответ: 10 мин.

8.2. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Определите неизвестное вещество А, укажите условия протекания реакций. (12 баллов)



Решение. Один из вариантов решения:

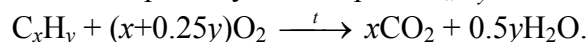


Ответ: А – SO_2 .

9.3. При полном сгорании углеводорода образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 17.0. Известно, что этот углеводород не обесцвечивает раствор брома в тетрахлорметане, а при хлорировании на свету образуются два монохлорпроизводных. Установите структурную формулу углеводорода и предложите способ его получения из

метана (напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания). Вычислите объем кислорода (25°C, 1 атм), необходимый для сжигания 10 г данного углеводорода. (16 баллов)

Решение. Реакция полного сгорания углеводорода C_xH_y :



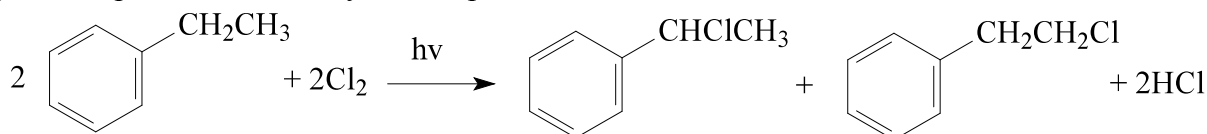
Найдем среднюю молярную массу образовавшейся газовой смеси (CO_2 и H_2O):

$$M_{cp} = 17 \cdot 2 = 34 \text{ г/моль.}$$

Выразим среднюю молярную массу смеси через молярные массы и количества компонентов смеси:

$$M_{cp} = \frac{44x + 18 \cdot 0.5y}{x + 0.5y} = 34.$$

Отсюда получаем соотношение $y = 1.25x$. Установим простейшую формулу исходного углеводорода: $x : y = 1 : 1.25 = 4 : 5$, простейшая формула C_4H_5 , ей не соответствует ни один углеводород. Подходит углеводород C_8H_{10} , и, поскольку при хлорировании образуется смесь двух изомеров, то искомым углеводород – это этилбензол:



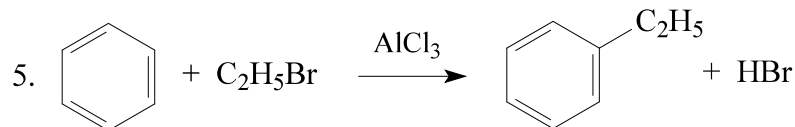
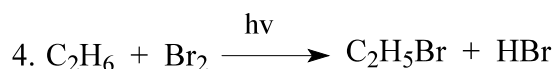
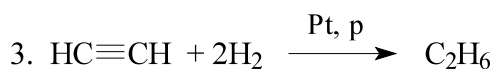
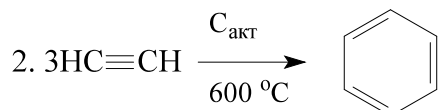
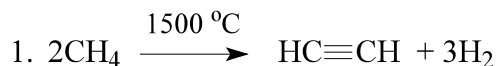
Реакция сжигания: $C_8H_{10} + 10.5O_2 \xrightarrow{t} 8CO_2 + 5H_2O$,

$$v(C_8H_{10}) = 10 / 106 = 0.094 \text{ моль,}$$

$$v(O_2) = 10.5 \cdot 0.094 = 0.987 \text{ моль,}$$

$$V(O_2) = \frac{vRT}{p} = \frac{0.987 \cdot 8.31 \cdot 298}{101.3} = 24.13 \text{ л.}$$

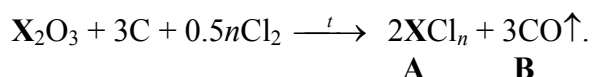
Один из возможных путей синтеза этилбензола из метана:



Ответ: этилбензол, 24.13 л.

10.1. Оксид металла состава X_2O_3 массой 35.7 г обработали хлором в присутствии избытка угля при температуре 1000°C и получили вещество **A** и газ **B**. Газ **B** был пропущен через избыток аммиачного раствора оксида серебра, что привело к выпадению 226.8 г осадка. Вещество **A** обработали 574.71 мл 15%-ного раствора гидроксида натрия с плотностью 1.16 г/мл. Определите состав и массу образовавшегося при этом осадка, а также массовые доли веществ в растворе над осадком. Предложите способ получения металла **X** из исходного оксида. Напишите уравнения всех упомянутых реакций. (16 баллов)

Решение. При высокотемпературном хлорировании оксида X_2O_3 в присутствии угля образуется хлорид этого металла (вещество **A**) и оксид углерода(II) (газ **B**):



Оксид углерода(II) при пропускании через аммиачный раствор оксида серебра восстанавливает серебро до металла:



$$v(Ag) = 226.8 / 108 = 2.1 \text{ моль},$$

$$v(CO) = 0.5v(Ag) = 1.05 \text{ моль},$$

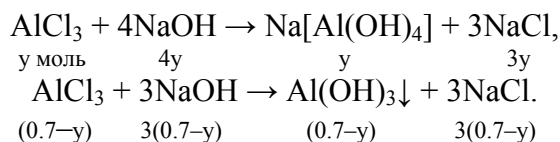
$$v(X_2O_3) = 1.05 / 3 = 0.35 \text{ моль}.$$

Значит, $M(X_2O_3) = 35.7 / 0.35 = 102$ г/моль, отсюда $M(X) = 27$ г/моль. Металл **X** – алюминий, его хлорид (вещество **A**) – $AlCl_3$, $v(AlCl_3) = 2v(Al_2O_3) = 0.7$ моль.

Для обработки 0.7 моль хлорида алюминия было взято $574.71 \cdot 1.16 = 666.66$ г раствора гидроксида натрия, содержащего

$$v(NaOH) = 666.66 \cdot 0.15 / 40 = 2.5 \text{ моль}.$$

При взаимодействии хлорида алюминия с раствором гидроксида натрия протекают следующие реакции:



$$v(NaOH) = 2.5 \text{ моль} = 4\text{у} + 3(0.7 - \text{у}), \text{ тогда } \text{у} = 0.4 \text{ моль}.$$

$$v(Al(OH)_3) = 0.7 - 0.4 = 0.3 \text{ моль},$$

$$m(Al(OH)_3) = 78 \cdot 0.3 = 23.4 \text{ г}.$$

В растворе над осадком гидроксида алюминия содержатся соли $Na[Al(OH)_4]$ и $NaCl$:

$$v(Na[Al(OH)_4]) = 0.4 \text{ моль},$$

$$v(NaCl) = 3\text{у} + 3(0.7 - \text{у}) = 2.1 \text{ моль}.$$

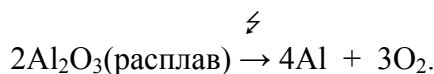
Масса раствора составляет

$$m(p-pa) = m(AlCl_3) + m(NaOH(p-p)) - m(Al(OH)_3) = 133.5 \cdot 0.7 + 666.66 - 23.4 = 736.71 \text{ г}.$$

$$\omega(Na[Al(OH)_4]) = 118 \cdot 0.4 / 736.71 = 0.064 \text{ (или 6.40\%)},$$

$$\omega(NaCl) = 58.5 \cdot 2.1 / 736.71 = 0.1667 \text{ (или 16.67\%)}.$$

Алюминий получают электролизом расплава оксида алюминия в криолите Na_3AlF_6 :



Ответ: 23.4 г осадка $Al(OH)_3$; 6.40% $Na[Al(OH)_4]$, 16.67% $NaCl$.

ВАРИАНТ 2

1.3. Зеленый цвет фотосинтезирующих организмов обусловлен хлорофиллом. Рассчитайте массовую долю углерода в хлорофилле $C_{55}H_{72}O_5N_4Mg$. (4 балла)

Решение. Молярная масса хлорофилла

$$M = 55 \cdot 12 + 72 \cdot 1 + 5 \cdot 16 + 4 \cdot 14 + 1 \cdot 24 = 892 \text{ г/моль}.$$

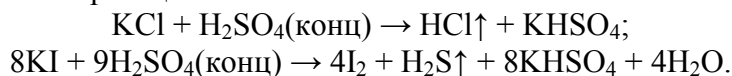
Массовая доля углерода составляет

$$\omega(C) = 660 / 892 = 0.7399 \text{ (или 73.99\%)}.$$

Ответ: 73.99%.

2.5. Напишите реакции взаимодействия кристаллических хлорида калия и иодида калия с концентрированной серной кислотой. Сравнив эти реакции, определите, какой из галогенид-ионов проявляет более сильные восстановительные свойства. (6 баллов)

Решение. Уравнения реакций:



Реакция хлорида калия с серной кислотой не приводит к изменению степени окисления хлора, а в реакции иодида калия с серной кислотой происходит окисление иодид-иона до I_2 . (Как правильное, принимались уравнения реакций KI с серной кислотой, в которых сера восстанавливается до S^0 или до SO_2). Иодид-ион – более сильный восстановитель.

3.2. В 4.48 л (н. у.) газообразного продукта взаимодействия мышьяка с одним из галогенов содержится $7.224 \cdot 10^{23}$ атомов и $9.3912 \cdot 10^{24}$ электронов. Определите неизвестный газ. (8 баллов)

Решение. Неизвестное газообразное вещество имеет формулу AsHal_n . Количество вещества равно

$$\nu(\text{AsHal}_n) = 4.48 / 22.4 = 0.2 \text{ моль.}$$

Значит, число молекул вещества в этой порции составляет

$$N(\text{мол}) = 0.2 \cdot N_A,$$

а число атомов в одной молекуле равно

$$N(\text{ат}) = 7.224 \cdot 10^{23} / (0.2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 6.$$

Тогда число атомов галогена в молекуле равно $n = 6 - 1 = 5$, т.е. формула газа AsHal_5 .

Число электронов в одной молекуле составляет

$$N(e) = 9.3912 \cdot 10^{24} / (0.2 \cdot 6.02 \cdot 10^{23}) = 78.$$

$$78 = 33 + 5 \cdot Z,$$

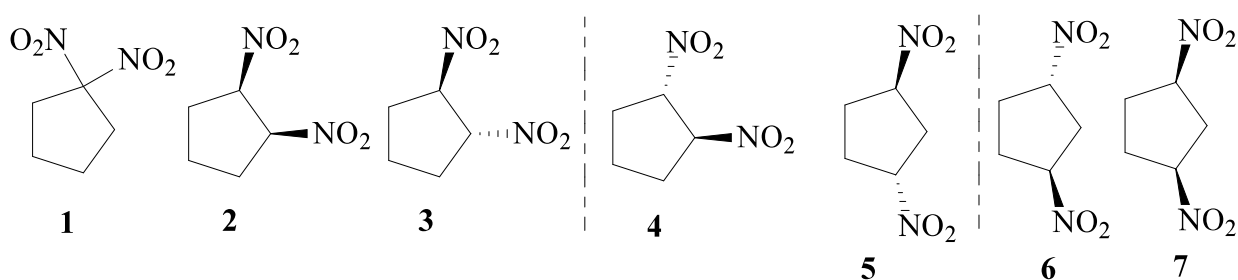
$$Z = 9.$$

Неизвестный элемент – фтор, искомый газ – AsF_5 .

Ответ: AsF_5 .

4.6. Сколько существует изомерных динитроциклопентанов? Изобразите их структурные формулы. (8 баллов)

Решение.



Изомеры 3 и 4, а также 5 и 6 являются оптическими изомерами.

Ответ: 7 изомерных динитроциклопентанов.

5.5. К 100 г насыщенного при 20°C раствора карбоната одновалентного металла X добавили 10.1 г безводной соли, после чего в осадок выпало 43.1 г кристаллогидрата состава $\text{X}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$. Определите неизвестный металл, если растворимость его безводного карбоната при 20°C составляет 21.5 г на 100 г воды. (10 баллов)

Решение. Массовая доля X_2CO_3 в насыщенном растворе при $20^\circ C$ составляет

$$\omega(X_2CO_3) = 21.5 / 121.5 = 0.177,$$

следовательно, в 100 г исходного раствора находилось 17.7 г соли.

После добавления безводной соли к этому раствору выпал осадок кристаллогидрата, над которым находится насыщенный (17.7%-ный) раствор соли:

$$\omega(X_2CO_3) = m(X_2CO_3) / m(p-pa) = \frac{17.7 + 10.1 - x}{100 + 10.1 - 43.1} = 0.177,$$

где x – масса соли в осадке кристаллогидрата. Из полученного уравнения

$$\frac{27.8 - x}{67} = 0.177$$

находим $x = 15.94$ (г). Пусть M – молярная масса металла. Массовую долю соли в осадке кристаллогидрата, равную

$$\omega = 15.94 / 43.1 = 0.37,$$

можно выразить как $\frac{2M + 60}{2M + 60 + 10 \cdot 18}$. Тогда из уравнения

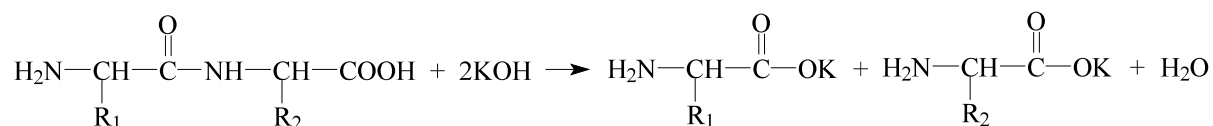
$$\frac{2M + 60}{2M + 240} = 0.37$$

получаем $M \approx 23$ г/моль (это натрий Na).

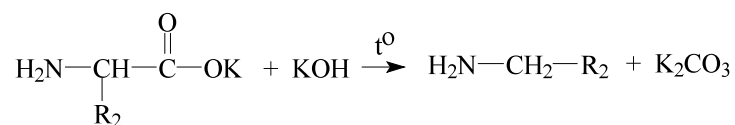
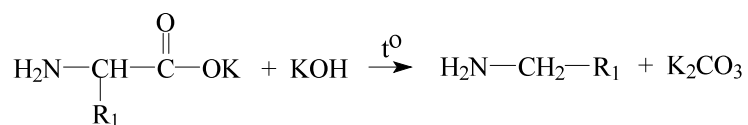
Ответ: натрий.

6.4. Дипептид, образованный природными аминокислотами, подвергли щелочному гидролизу. После сплавления продуктов гидролиза со щёлочью и обработки избытком азотистой кислоты была получена смесь пентандиола-1,5 и метанола. Установите возможное строение дипептида. Напишите уравнения протекающих реакций. (10 баллов)

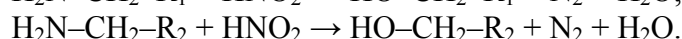
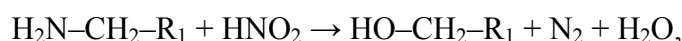
Решение. Основное свойство пептидов – способность к гидролизу. Запишем уравнение щелочного гидролиза дипептида, образованного двумя разными аминокислотами:



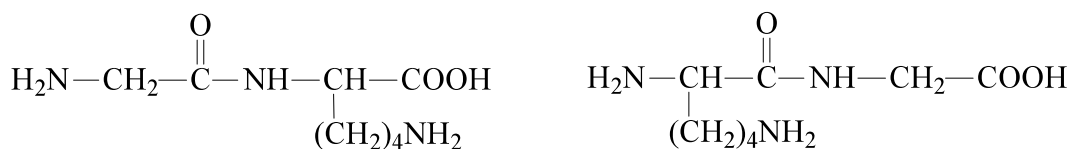
Сплавление продуктов гидролиза со щёлочью (реакция декарбоксилирования) приводит к образованию соответствующих аминов:



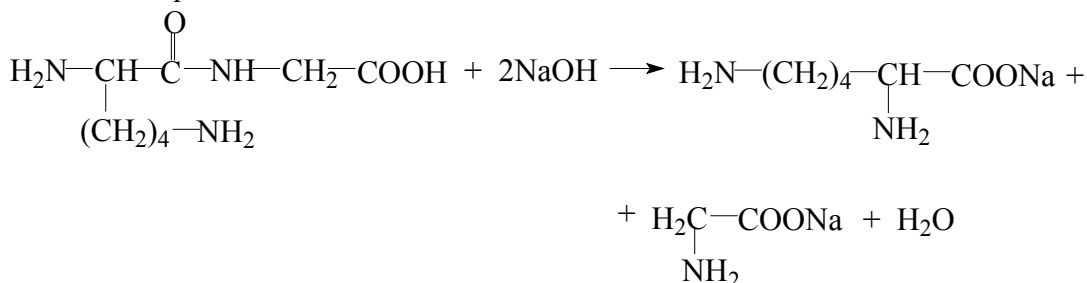
Образовавшиеся первичные амины реагируют с избытком азотистой кислоты, образуя спирты:



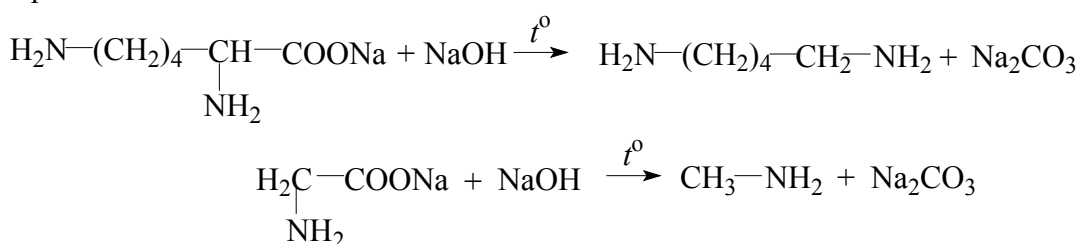
В составе дипептида могут быть и аминокислоты, содержащие дополнительные карбоксильные группы (например, глутаминовая кислота) или аминогруппы (например, лизин). Один из радикалов принадлежит молекуле лизина, а второй – глицину. Можно предположить две формулы исходного дипептида, отвечающих условию задачи:



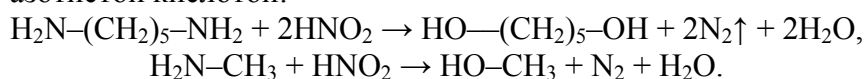
Реакция гидролиза:



Прокаливание:

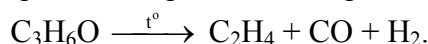


Реакции с азотистой кислотой:



Ответ: дипептид образован лизином и глицином.

7.5. Разложение паров ацетона при 500°C протекает как реакция первого порядка:



Порцию ацетона массой 88 г выдерживали при данной температуре в течение 72 мин и получили 29.738 л этилена (измерено при н. у.). Рассчитайте период полупревращения ацетона. (10 баллов)

Решение. Для реакции первого порядка зависимость массы реагента от времени:

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

По условию, получено этилена

$$v(\text{C}_2\text{H}_4) = 29.738 / 22.4 = 1.328 \text{ моль},$$

значит, ацетона разложилось такое же количество, и

$$m(\text{ацетона}) = 1.328 \cdot 58 = 77 \text{ г}.$$

Осталось $m(\text{ацетона}) = 88 - 77 = 11 \text{ г}$. Тогда

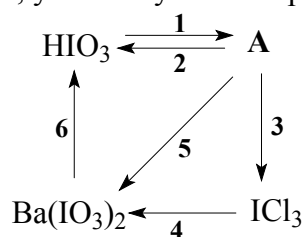
$$11 = 88 \cdot \left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{72}{\tau_{1/2}}}$$

$$\left(\frac{1}{2} \right)^{\frac{72}{\tau_{1/2}}} = \frac{11}{88} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2} \right)^3,$$

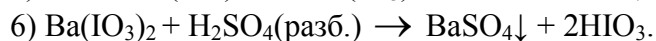
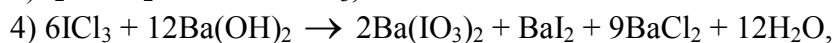
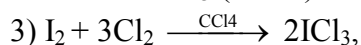
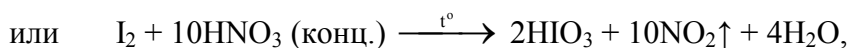
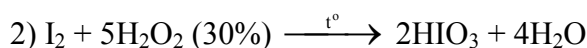
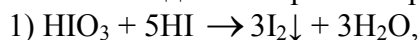
отсюда $\frac{72}{\tau_{1/2}} = 3$, $\tau_{1/2} = 72 / 3 = 24 \text{ мин}$.

Ответ: 24 мин.

8.1. Запишите уравнения реакций, соответствующих следующей схеме превращений. Определите неизвестное вещество А, укажите условия протекания реакций. (12 баллов)



Решение. Один из вариантов решения:

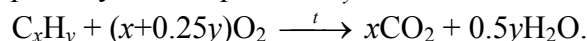


Ответ: А – I₂.

9.5. При полном сгорании углеводорода образовалась газовая смесь с плотностью по водороду 18.455. Известно, что 0.01 моль этого углеводорода может обесцветить 32 г 10%-го раствора брома в тетрахлорметане. Установите структурную формулу углеводорода и предложите способ его получения из метана (напишите уравнения реакций и укажите условия их протекания). Вычислите объем кислорода (25°C, 1 атм), необходимый для сжигания 10 г данного углеводорода. (16 баллов)

Решение.

Реакция полного сгорания углеводорода C_xH_y:



Найдем среднюю молярную массу образовавшейся газовой смеси (CO₂ и H₂O):

$$M_{\text{cp}} = 18.455 \cdot 2 = 36.91 \text{ г/моль}.$$

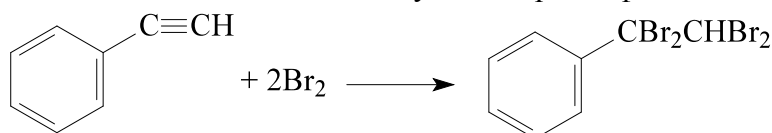
Выразим среднюю молярную массу смеси через молярные массы и количества компонентов смеси:

$$M_{\text{cp}} = \frac{44x + 18 \cdot 0.5y}{x + 0.5y} = 36.91$$

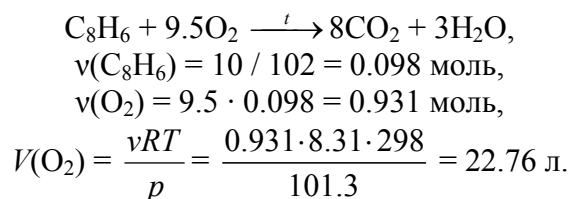
Отсюда получаем соотношение $1.333y = x$. Установим простейшую формулу исходного углеводорода: $x : y = 4 : 3$, простейшая формула C₄H₃, такой формуле не соответствует ни один углеводород. Истинная формула углеводорода C₈H₆. По условию, 0.01 моль углеводорода присоединяет бром в количестве

$$v(\text{Br}_2) = 32 \cdot 0.1 / 160 = 0.02 \text{ моль}.$$

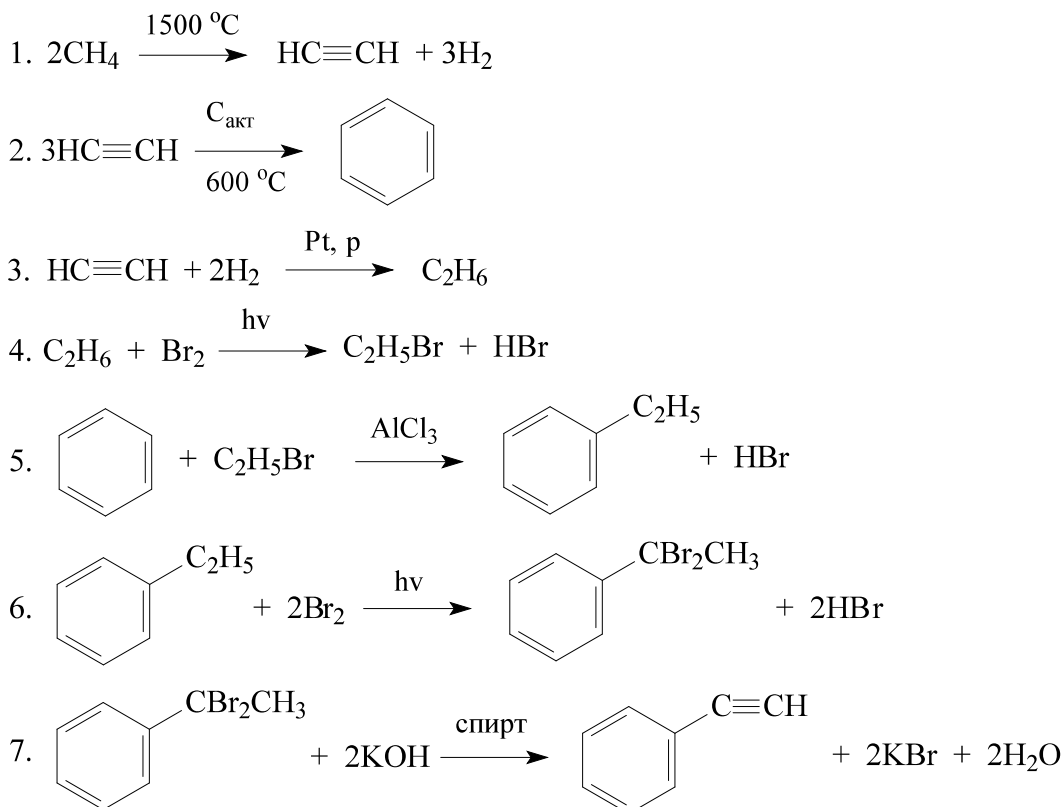
Если при бромировании требуется двукратное количество брома, то исходный углеводород – это алкин или диен. Подходящий углеводород – фенилацетилен:



Реакция сжигания:



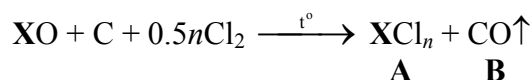
Один из возможных путей синтеза фенилацетилена из метана:



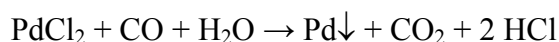
Ответ: фенилацетилен, 22.76 л.

10.2. Оксид металла состава **XO** массой 11.25 г обработали хлором в присутствии избытка угля при температуре 1000°C и получили вещество **A** и газ **B**. Газ **B** был пропущен через избыток водного раствора хлорида палладия(II), что привело к выпадению 47.7 г осадка. Вещество **A** обработали 647.93 мл 11%-ного раствора гидроксида калия с плотностью 1.10 г/мл. Определите состав и массу образовавшегося при этом осадка, а также массовые доли веществ в растворе над осадком. Предложите способ получения металла **X** из вещества **A**. Напишите уравнения всех упомянутых реакций. (16 баллов)

Решение. При высокотемпературном хлорировании оксида металла **X** состава **XO** в присутствии угля образуется хлорид этого металла (вещество **A**) и оксид углерода(II) (газ **B**):



Оксид углерода(II) восстанавливает палладий до металла при пропускании этого газа через водный раствор хлорида палладия:



Количество палладия:

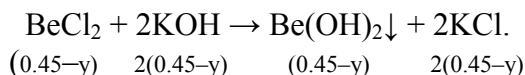
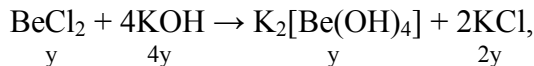
$$v(\text{Pd}) = 47.7 / 106 = 0.45 \text{ моль.}$$

Значит, $M(\text{XO}) = 11.25 / 0.45 = 25$ г/моль, $M(\text{X}) = 9$ г/моль. Металл **X** – бериллий, его хлорид (вещество **A**) – BeCl_2 , $v(\text{BeCl}_2) = 0.45$ моль.

Для обработки 0.45 моль хлорида бериллия было взято $647.93 \cdot 1.10 = 712.72$ г раствора гидроксида калия, содержащего

$$v(\text{KOH}) = 712.72 \cdot 0.11 / 56 = 1.4 \text{ моль.}$$

При взаимодействии хлорида бериллия с раствором гидроксида калия протекают следующие реакции:



$$v(\text{KOH}) = 1.4 \text{ моль} = 4y + 2(0.45 - y), \text{ тогда } y = 0.25 \text{ моль.}$$

Масса осадка:

$$v(\text{Be}(\text{OH})_2) = 0.2 \text{ моль}, m(\text{Be}(\text{OH})_2) = 43 \cdot 0.2 = 8.6 \text{ г.}$$

В растворе над осадком гидроксида бериллия содержатся соли $\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$ и KCl .

$$v(\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]) = y = 0.25 \text{ моль}, v(\text{KCl}) = 2y + 2(0.45 - y) = 0.9 \text{ моль.}$$

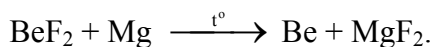
Масса раствора:

$$m(\text{р-ра}) = m(\text{BeCl}_2) + m(\text{KOH(р-р)}) - m(\text{Be}(\text{OH})_2) = 80 \cdot 0.45 + 712.72 - 8.6 = 740.12 \text{ г.}$$

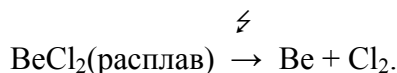
$$\omega(\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]) = 155 \cdot 0.25 / 740.12 = 0.0524 \text{ (или 5.24\%)},$$

$$\omega(\text{KCl}) = 74.5 \cdot 0.9 / 740.12 = 0.0906 \text{ (или 9.06\%)}.$$

Бериллий получают из фторида бериллия металлотермией. Для восстановления металла используют магний или кальций:



Можно также получить бериллий электролизом расплава его хлорида в присутствии хлорида натрия:



Ответ: 8.6 г осадка $\text{Be}(\text{OH})_2$; 5.24% $\text{K}_2[\text{Be}(\text{OH})_4]$, 9.06% KCl .

Задание для 5-9 классов

1. Сульфат двухвалентного металла образует кристаллогидрат, в котором доля кислорода составляет 55.8% по массе и 50% по молям. Установите формулу кристаллогидрата.

(10 баллов)

Решение. Пусть формула кристаллогидрата – $\text{MSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$. Молярная доля кислорода в кристаллогидрате составляет

$$x(\text{O}) = 0.5 = \frac{4 + n}{6 + 3n},$$

откуда находим значение $n = 2$.

Выразим массовую долю кислорода в $\text{MSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$:

$$\omega(\text{O}) = 0.558 = \frac{6 \cdot 16}{M(\text{M}) + 32 + 4 \cdot 16 + 2 \cdot 18},$$

откуда определяем молярную массу металла $M(\text{M}) = 40$ г/моль. Это – кальций Ca.

Кристаллогидрат – $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Ответ: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

2. Приведите по одному примеру получения кислот:

- а) из двух газов,
- б) из двух жидкостей,
- в) из жидкого и твердого вещества,
- г) из соли и другой кислоты,
- д) при разложении соли.

Напишите уравнения соответствующих реакций.

(10 баллов)

Ответ. Возможные варианты реакций:

- а) $\text{H}_2 + \text{Cl}_2 \rightarrow 2\text{HCl}$
- б) $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$
- в) $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4$
- г) $\text{BaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{BaSO}_4\downarrow + 2\text{HCl}$,
- д) $\text{NaHF}_2 \rightarrow \text{NaF} + \text{HF}\uparrow$.

Примечание: в пункте д) варианты с кислыми солями неустойчивых кислот – угольной и сернистой – не принимались, так как в этом случае при разложении образуется кислотный оксид, а не кислота. Также не принимались гидросульфаты – у щелочноземельных металлов они не существуют, а у щелочных разлагаются с выделением воды, а не серной кислоты.

3. Чистую азотную кислоту (плотность 1.51 г/мл) объемом 500 мл аккуратно прилили к одному литру воды и получили раствор объемом 1380 мл. Рассчитайте массовую долю и молярную концентрацию HNO_3 в этом растворе, а также плотность раствора. **(12 баллов)**

Решение. Найдем массы компонентов раствора и его массу:

$$m(\text{HNO}_3) = 500 \cdot 1.51 = 755 \text{ г},$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 1000 \text{ г},$$

$$m(\text{р-ра}) = 1000 + 755 = 1755 \text{ г}.$$

Массовая доля кислоты:

$$\omega(\text{HNO}_3) = 755 / 1755 = 0.430 \text{ (или 43.0\%)}$$

Определим молярную концентрацию кислоты:

$$\rho(\text{р-ра}) = 1755 \text{ г} / 1380 \text{ мл} = 1.27 \text{ г/мл},$$

$$v(\text{HNO}_3) = 755 / 63 = 11.98 \text{ моль},$$

$$c(\text{HNO}_3) = 11.98 \text{ моль} / 1.38 \text{ л} = 8.68 \text{ М}.$$

Ответ: 43.0%, 8.68 М, 1.27 г/мл.

4. Какие вещества вступили в реакцию, если в результате образовались следующие вещества (коэффициенты не указаны)? Напишите полные уравнения реакций.

- а) $\text{S} + \text{HBr}$
- б) $\text{NaClO}_2 + \text{NaClO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- в) $\text{CaCO}_3 + \text{Cl}_2$
- г) $\text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + \text{KNO}_3 + \text{CO}_2$

(12 баллов)

- Ответ:*
- а) $\text{H}_2\text{S} + \text{Br}_2 \rightarrow \text{S}\downarrow + 2\text{HBr}$,
 - б) $2\text{ClO}_2 + 2\text{NaOH} \rightarrow \text{NaClO}_2 + \text{NaClO}_3 + \text{H}_2\text{O}$,
 - в) $\text{CaOCl}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{Cl}_2$,
 - г) $2\text{Pb}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{K}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Pb}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3 + 4\text{KNO}_3 + \text{CO}_2$.

5. В вашем распоряжении имеется 19.6 г серной кислоты. Как с ее помощью получить: а) 2.24 л, б) 4.48 л, в) 6.72 л, г) 8.96 л сернистого газа? Напишите уравнения реакций и приведите расчеты. Все объемы измерены при н. у. Во всех случаях серная кислота израсходована полностью. **(16 баллов)**

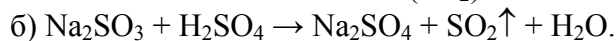
Решение. Найдем количество серной кислоты, которое одинаково во всех четырех опытах:

$$v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 19.6 / 98 = 0.2 \text{ моль.}$$



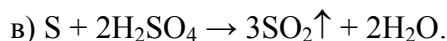
$$v(\text{SO}_2) = 0.5 v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.1 \text{ моль,}$$

$$V(\text{SO}_2) = 0.1 \cdot 22.4 = 2.24 \text{ л.}$$



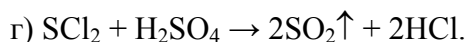
$$v(\text{SO}_2) = v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.2 \text{ моль,}$$

$$V(\text{SO}_2) = 4.48 \text{ л.}$$



$$v(\text{SO}_2) = 1.5 v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.3 \text{ моль,}$$

$$V(\text{SO}_2) = 6.72 \text{ л.}$$



$$v(\text{SO}_2) = 2v(\text{H}_2\text{SO}_4) = 0.4 \text{ моль,}$$

$$V(\text{SO}_2) = 8.96 \text{ л.}$$

Возможны и другие варианты решения.

6. Неизвестное вещество состоит из трех элементов – бария, водорода и кислорода. 12.52 г вещества нагрели до 150°C и выдержали до постоянной массы, которая составила 6.76 г. Полученное твердое вещество прокалили при 900°C и получили после охлаждения твердый остаток массой 6.12 г. При выдерживании во влажной атмосфере этот остаток постепенно присоединяет 1.44 г воды с образованием чистого твердого вещества. Напишите уравнения всех описанных реакций. Ответ подтвердите расчетами. **(20 баллов)**

Решение. Исходное вещество может быть гидроксидом бария, его кристаллогидратом или кристаллогидратом пероксида бария. В любом случае после прокаливании при высокой температуре остается BaO.

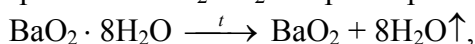
$$v(\text{BaO}) = 6.12 / 153 = 0.04 \text{ моль.}$$

Всех остальных соединений бария – тоже по 0.04 моль. Найдем их молярные массы и формулы.

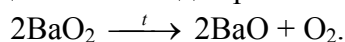
$$6.76 / 0.04 = 169 \text{ г/моль – это соответствует BaO}_2,$$

$$12.52 / 0.04 = 313 \text{ г/моль – это кристаллогидрат BaO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}.$$

При первоначальном нагревании $\text{BaO}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ теряет кристаллизационную воду:



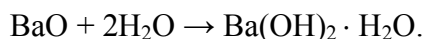
а затем теряет кислород и превращается в оксид бария:



$$v(\text{H}_2\text{O}) = 1.44 / 18 = 0.08 \text{ моль.}$$

В качестве правильного принимался также вариант с веществами $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ba}(\text{OH})_2$, хотя он не совсем точно соответствует массам в условии.

Оксид бария присоединяет двойное количество воды, это приводит к образованию моногидрата гидроксида бария:



7. Газ X с резким запахом тяжелее водорода в 33 раза. Он легко гидролизуеться даже небольшими количествами воды, превращаясь в смесь двух газов Y и Z, которая легче воздуха на 3.4%. Эта смесь полностью поглощается известковой водой, при этом выпадает белый осадок, частично растворимый в разбавленных кислотах с выделением газа Y. Газ Y входит в состав воздуха и вызывает «парниковый эффект». Определите формулы всех газов и напишите уравнения всех реакций. Найдите состав газовой смеси в объемных процентах.

(20 баллов)

Решение. Парниковый газ **Y**, входящий в состав воздуха, – это CO_2 . Молярная масса смеси CO_2 с газом **Z**:

$$M_{\text{см}} = 29 \cdot 0.966 = 28 \text{ г/моль.}$$

Поскольку $M(\text{CO}_2) > 28$ г/моль, следовательно, $M(\mathbf{Z}) < 28$ г/моль. Кроме того, известно, что **Z** реагирует с $\text{Ca}(\text{OH})_2$, образуя осадок, не растворимый в разбавленных кислотах. Этим условиям удовлетворяет только HF.

Найдем состав смеси CO_2 и HF. Пусть объемная доля CO_2 равна x , тогда

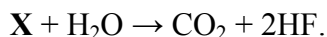
$$\begin{aligned} 44x + 20(1 - x) &= 28, \\ x &= 0.333. \end{aligned}$$

Состав смеси: 33.33% CO_2 , 66.67% HF.

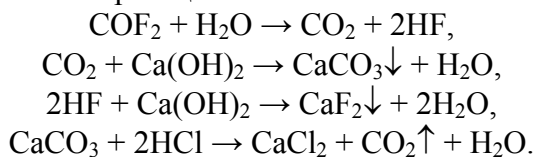
Газ **X** имеет молярную массу

$$M(\mathbf{X}) = 33 \cdot 2 = 66 \text{ г/моль,}$$

и при гидролизе дает смесь CO_2 и HF в соотношении 1 : 2:



Газ **X** – это COF_2 . Уравнения реакций:



Ответ: **X** – COF_2 , **Y** – CO_2 , **Z** – HF; 33.33% CO_2 и 66.67% HF.