

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» ПО ХИМИИ

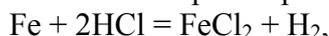
Отборочный тур НОЯБРЬ, 10-11 классы

Задание №1

1.1. Предложите способ разделения смеси железных и медных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

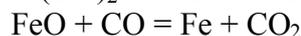
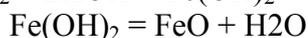
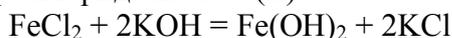
Решение:

При обработке смеси соляной кислотой растворяется только железо:



а медь остаётся в виде простого вещества.

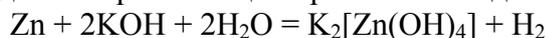
Выделение железа из раствора хлорида железа (II):



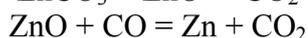
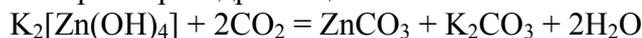
1.2. Предложите способ разделения смеси цинковых и серебряных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

Решение:

Серебро можно отделить при помощи обработки исходной смеси щёлочью:



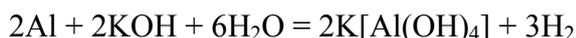
Выделение цинка из раствора тетрагидроксоцинката:



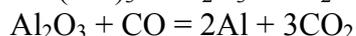
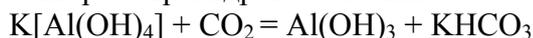
1.3. Предложите способ разделения смеси алюминиевых и железных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

Решение:

Железо можно отделить при помощи обработки исходной смеси раствором щёлочи:



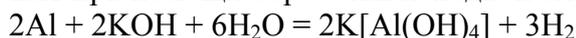
Выделение алюминия из раствора тетрагидроксоалюмината:



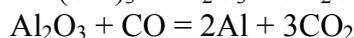
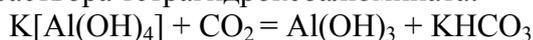
1.4. Предложите способ разделения смеси алюминиевых и медных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

Решение:

Медь можно отделить при помощи обработки исходной смеси раствором щёлочи:



Выделение алюминия из раствора тетрагидроксоалюмината:



Задание №2

2.1. Хлорпроизводное пропана содержит 78.02% хлора по массе. Определите молекулярную формулу этого вещества. **(6 баллов)**

Решение:

Брутто-формула неизвестного хлорпроизводного пропана $\text{C}_3\text{H}_{8-x}\text{Cl}_x$. Его молярная масса

$$M = 36 + 8 - x + 35.5x = 44 + 34.5x.$$

Выразим массовую долю хлора в соединении:

$$\omega(\text{Cl}) = \frac{m(\text{Cl})}{M} = \frac{35.5x}{44 + 34.5x} = 0.7802.$$

Отсюда $x = 4$. Формула соединения $\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_4$, это тетрахлорпропан.

Ответ: $\text{C}_3\text{H}_4\text{Cl}_4$.

2.2. Фторпроизводное циклогексана содержит 41.30% фтора по массе. Определите молекулярную формулу этого вещества. **(6 баллов)**

Решение. Брутто-формула неизвестного фторпроизводного циклогексана $\text{C}_6\text{H}_{12-x}\text{F}_x$. Его молярная масса

$$M = 72 + 12 - x + 19x = 84 + 18x.$$

Выразим массовую долю фтора в соединении:

$$\omega(\text{F}) = \frac{m(\text{F})}{M} = \frac{19x}{84 + 18x} = 0.413.$$

Отсюда $x = 3$. Формула соединения $\text{C}_6\text{H}_9\text{F}_3$, это трифторциклогексан.

Ответ: $\text{C}_6\text{H}_9\text{F}_3$.

2.3. Бромпроизводное гексана содержит 48.48% брома по массе. Определите молекулярную формулу этого вещества. **(6 баллов)**

Решение.

Брутто-формула неизвестного бромпроизводного гексана $\text{C}_6\text{H}_{14-x}\text{Br}_x$. Его молярная масса

$$M = 72 + 14 - x + 80x = 86 + 79x.$$

Выразим массовую долю брома в соединении:

$$\omega(\text{Br}) = \frac{m(\text{Br})}{M} = \frac{80x}{86 + 79x} = 0.4848.$$

Отсюда $x = 1$. Формула соединения $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Br}$, это бромгексан.

Ответ: $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{Br}$.

2.4. Хлорпроизводное циклопентана содержит 51.08% хлора по массе. Определите молекулярную формулу этого вещества. **(6 баллов)**

Решение.

Брутто-формула неизвестного хлорпроизводного циклопентана
 $C_5H_{10-x}Cl_x$. Его молярная масса

$$M = 60 + 10 - x + 35.5x = 70 + 34.5x.$$

Выразим массовую долю хлора в соединении:

$$\omega(Cl) = \frac{m(Cl)}{M} = \frac{35.5x}{70 + 34.5x} = 0.5108.$$

Отсюда $x = 2$. Формула соединения $C_5H_8Cl_2$, это дихлорциклобутан.

Ответ: $C_5H_8Cl_2$.

Задание №3

3.1. Установите формулу гексагидрата галогенида металла, если известно, что один из его ионов имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, а масса воды в нем больше массы металла в 1.23 раза. **(6 баллов)**

Решение:

Формула галогенида $MeHal_n \cdot 6H_2O$. $M_{металла} = 6 \cdot 18 / 1.23 = 87.8$ г/моль. Это стронций.
Электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ соответствует иону Cl^- .
Отсюда формула соли – $SrCl_2 \cdot 6H_2O$.

Ответ: $SrCl_2 \cdot 6H_2O$.

3.2. Установите формулу дигидрата галогенида металла, если известно, что один из его ионов имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, а масса металла в нем больше массы воды в 3.81 раза. **(6 баллов)**

Решение:

Формула галогенида $MeHal_n \cdot 2H_2O$. $M_{металла} = 2 \cdot 18 \cdot 3.81 = 137.2$ г/моль. Это барий.
Электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ соответствует иону Cl^- .
Отсюда формула соли – $BaCl_2 \cdot 2H_2O$.

Ответ: $BaCl_2 \cdot 2H_2O$.

3.3. Установите формулу гексагидрата галогенида металла, если известно, что один из его ионов имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, а масса воды в нем больше массы металла в 4.5 раза. **(6 баллов)**

Решение:

Формула галогенида $MeHal_n \cdot 6H_2O$. $M_{металла} = 6 \cdot 18 / 4.5 = 24$ г/моль. Это магний.
Электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ соответствует иону Cl^- .
Отсюда формула соли – $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

Ответ: $MgCl_2 \cdot 6H_2O$.

3.4. Установите формулу гексагидрата галогенида металла, если известно, что один из его ионов имеет электронную конфигурацию $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$, а масса воды в нем больше массы металла в 4 раза. **(6 баллов)**

Решение:

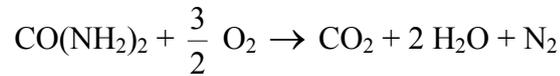
Формула галогенида $MeHal_n \cdot 6H_2O$. $M_{металла} = 6 \cdot 18 / 4 = 27$ г/моль. Это алюминий.
Электронная конфигурация $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ соответствует иону Cl^- .
Отсюда формула соли – $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

Ответ: $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

Задание №4

4.1. Рассчитайте давление, создаваемое при температуре 25 °С продуктами сгорания мочевины в литровом сосуде, если количество теплоты, выделившееся при сгорании равно 94.8 кДж, а теплота сгорания мочевины составляет 632 кДж/моль. (8 баллов)

Решение:



$$\nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{Q}{Q_{\text{сгор.}}} = \frac{94.8}{632} = 0.15 \text{ моль}$$

При 25 °С H₂O – жидкость, тогда число моль газообразных продуктов сгорания

$$\nu(\text{газ}) = \nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) \cdot (1+1) = 0.15 \cdot 2 = 0.3 \text{ моль}$$

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.3 \cdot 0.082 \cdot 298}{1} = 7.3 \text{ атм} = 742.8 \text{ кПа}$$

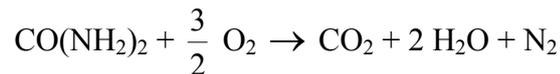
Ответ: 7.3 атм.

4.2. Рассчитайте количество теплоты, выделившееся при сжигании навески мочевины, если продукты ее сгорания создают при температуре 100 °С в литровом сосуде давление равное 3.5 атм, теплота сгорания мочевины составляет 632 кДж/моль. (8 баллов)

Решение:

Рассчитаем число моль газообразных веществ

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{3.5 \cdot 1}{0.082 \cdot 373} = 0.115 \text{ моль}$$



При 100 °С H₂O – пар, тогда число моль газообразных продуктов сгорания

$$\nu(\text{газ}) = \nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) \cdot (1+2+1) = 4 \cdot \nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = 0.115 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{0.115}{4} = 0.029 \text{ моль}$$

$$Q = 0.029 Q_{\text{сгор.}} = 632 \cdot 0.029 = 18.3 \text{ кДж}$$

Ответ: 18.17 кДж.

4.3. Рассчитайте давление, создаваемое при температуре 100 °С продуктами сгорания анилина в трехлитровом сосуде, если количество теплоты, выделившееся при сгорании равно 169.8 кДж, а теплота сгорания анилина составляет 3396 кДж/моль. (8 баллов)

Решение:



$$\nu(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}) = \frac{Q}{Q_{\text{сгор.}}} = 0.05 \text{ моль}$$

При 100 °С H₂O – пар, тогда число моль продуктов сгорания

$$\nu(\text{газ}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_7\text{N})(6 + 3.5 + 0.5) = 0.05 \cdot 10 = 0.5 \text{ моль}$$

$$p = \frac{\nu RT}{V} = \frac{0.5 \cdot 0.082 \cdot 373}{3} = 5.1 \text{ атм} = 516.5 \text{ кПа}$$

Ответ: 5.1 атм.

4.4. Рассчитайте количество теплоты, выделившееся при сжигании некоторого объема анилина, если продукты его сгорания создают при температуре 25 °С в литровом сосуде давление равное 3.18 атм, а теплота сгорания анилина составляет 3396 кДж/моль. **(8 баллов)**

Решение:

Рассчитаем число моль газообразных веществ

$$\nu = \frac{PV}{RT} = \frac{3.18 \cdot 1}{0.082 \cdot 298} = 0.13 \text{ моль}$$



При 25 °С H₂O – жидкость, тогда число моль газообразных продуктов сгорания

$$\nu(\text{газ}) = \nu(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}) \cdot (6 + 0.5) = 6.5 \cdot \nu(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}) = 0.13 \text{ моль}$$

$$\nu(\text{C}_6\text{H}_7\text{N}) = \frac{0.13}{6.5} = 0.02 \text{ моль}$$

$$Q = 0.02 Q_{\text{сгор.}} = 3396 \cdot 0.02 = 67.9 \text{ кДж}$$

Ответ: 67.9 кДж.

Задание №5

5.1. Химическое соединение массой 100 г, состоящее из атомов двух элементов, содержит 30.437 мг электронов. Масса электрона составляет 1/1823 ат. ед. массы. Предложите возможную формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение:

Атомная единица массы (а.е.м.) – это двенадцатая часть массы одного атома изотопа углерода-12:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{N_A} = \frac{1}{6.02 \cdot 10^{23}} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Масса электрона составляет

$$m(e) = \frac{1.66 \cdot 10^{-24}}{1823} = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ г.}$$

Рассчитаем число электронов в образце:

$$N(e) = \frac{0.030437}{9.1 \cdot 10^{-28}} = 3.345 \cdot 10^{25}.$$

Понятно, что число протонов равно числу электронов: $N(p) = N(e)$. Рассчитаем число нейтронов $N(n)$ в образце:

$$m(e) + m(p) + m(n) = 100, \\ 0.030437 + 3.345 \cdot 10^{25} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + N(n) \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} = 100,$$

отсюда число нейтронов составляет

$$N(n) = 2.6776 \cdot 10^{25}.$$

Мы выяснили, что нейтронов в искомом соединении меньше, чем протонов. Это возможно только в том случае, если в составе соединения есть водород. Число атомов водорода в образце – это разница между числами протонов и нейтронов:

$$N(H) = (3.345 - 2.678) \cdot 10^{25} = 6.67 \cdot 10^{24},$$

и их масса составляет

$$m(H) = 6.67 \cdot 10^{24} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + 6.67 \cdot 10^{24} \cdot 9.1 \cdot 10^{-28} = 11.079.$$

Пусть соединение имеет формулу $\text{Э}_x\text{H}_y$. На элемент Э приходится

$$m(\text{Э}) = 100 - 11.079 = 88.921 \text{ г}.$$

Определим простейшую формулу искомого соединения $\text{Э}_x\text{H}_y$:

$$x : y = \frac{88.921}{A(\text{Э})} : \frac{11.079}{1}.$$

Если состав соединения – ЭН, то $A(\text{Э}) = 8$ г/моль – такого нет. Если состав ЭH_2 , то $A(\text{Э}) = 16$ г/моль, это кислород, искомое соединение H_2O .

Ответ: H_2O .

5.2. Химическое соединение массой 100 г, состоящее из атомов двух элементов, содержит 34.239 мг электронов. Масса электрона составляет $1/1823$ ат. ед. массы. Предложите возможную формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение:

Атомная единица массы (а.е.м.) – это двенадцатая часть массы одного атома изотопа углерода-12:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{N_A} = \frac{1}{6.02 \cdot 10^{23}} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ г}.$$

Масса электрона составляет

$$m(e) = \frac{1.66 \cdot 10^{-24}}{1823} = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ г}.$$

Рассчитаем число электронов в образце:

$$N(e) = \frac{0.034239}{9.1 \cdot 10^{-28}} = 3.7625 \cdot 10^{25}.$$

Понятно, что число протонов равно числу электронов: $N(p) = N(e)$. Рассчитаем число нейтронов $N(n)$ в образце:

$$m(e) + m(p) + m(n) = 100, \\ 0.034239 + 3.7625 \cdot 10^{25} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + N(n) \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} = 100,$$

отсюда число нейтронов составляет

$$N(n) = 2.2575 \cdot 10^{25}.$$

Мы выяснили, что нейтронов в искомом соединении меньше, чем протонов. Это возможно только в том случае, если в составе соединения есть водород. Число атомов водорода в образце – это разница между числами протонов и нейтронов:

$$N(H) = (3.7625 - 2.2575) \cdot 10^{25} = 1.505 \cdot 10^{25},$$

и их масса составляет

$$m(H) = 1.505 \cdot 10^{25} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + 1.505 \cdot 10^{25} \cdot 9.1 \cdot 10^{-28} = 25.0.$$

Пусть соединение имеет формулу $\text{Э}_x\text{H}_y$. На элемент Э приходится

$$m(\text{Э}) = 100 - 25 = 75 \text{ г.}$$

Определим простейшую формулу искомого соединения $\text{Э}_x\text{H}_y$:

$$x : y = \frac{75}{A(\text{Э})} : \frac{25}{1}.$$

Если состав соединения – ЭН, то $A(\text{Э}) = 3$ г/моль – такого нет. Если состав ЭН_2 , то $A(\text{Э}) = 6$ г/моль – такого нет. Если ЭН_3 , то $A(\text{Э}) = 9$ г/моль, это бериллий, но соединения BeH_3 нет. Если ЭН_4 , то $A(\text{Э}) = 12$, это углерод, и искомое соединение – CH_4 , метан.

Ответ: CH_4 .

5.3. Химическое соединение массой 100 г, состоящее из атомов двух элементов, содержит 30.815 мг электронов. Масса электрона составляет $1/1823$ ат. ед. массы. Предложите возможную формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение:

Атомная единица массы (а.е.м.) – это двенадцатая часть массы одного атома изотопа углерода-12:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{N_A} = \frac{1}{6.02 \cdot 10^{23}} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Масса электрона составляет

$$m(e) = \frac{1.66 \cdot 10^{-24}}{1823} = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ г.}$$

Рассчитаем число электронов в образце:

$$N(e) = \frac{0.030815}{9.1 \cdot 10^{-28}} = 3.3862 \cdot 10^{25}.$$

Понятно, что число протонов равно числу электронов: $N(p) = N(e)$. Рассчитаем число нейтронов $N(n)$ в образце:

$$\begin{aligned} m(e) + m(p) + m(n) &= 100, \\ 0.030815 + 3.3862 \cdot 10^{25} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + N(n) \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} &= 100, \end{aligned}$$

отсюда число нейтронов составляет

$$N(n) = 2.6339 \cdot 10^{25}.$$

Мы выяснили, что нейтронов в искомом соединении меньше, чем протонов. Это возможно только в том случае, если в составе соединения есть водород. Число атомов водорода в образце – это разница между числами протонов и нейтронов:

$$N(\text{H}) = (3.3862 - 2.6339) \cdot 10^{25} = 7.523 \cdot 10^{24},$$

и их масса составляет

$$m(\text{H}) = 7.523 \cdot 10^{24} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + 7.523 \cdot 10^{24} \cdot 9.1 \cdot 10^{-28} = 12.49.$$

Пусть соединение имеет формулу $\text{Э}_x\text{H}_y$. На элемент Э приходится

$$m(\text{Э}) = 100 - 12.49 = 87.51 \text{ г.}$$

Определим простейшую формулу искомого соединения $\text{Э}_x\text{H}_y$:

$$x : y = \frac{87.51}{A(\text{Э})} : \frac{12.49}{1}.$$

Если состав соединения – ЭН, то $A(\text{Э}) = 7$ г/моль – такого нет. Если состав ЭН_2 , то $A(\text{Э}) = 14$ г/моль, это азот, простейшая формула NH_2 , истинная формула N_2H_4 – гидразин. Если ЭН_3 , то $A(\text{Э}) = 21$ г/моль – такого нет. Если ЭН_4 , то $A(\text{Э}) = 28$, это кремний, искомое соединение SiH_4 .

Ответ: N_2H_4 или SiH_4 .

5.4. Химическое соединение массой 100 г, состоящее из атомов двух элементов, содержит 29.002 мг электронов. Масса электрона составляет 1/1823 ат. ед. массы. Предложите возможную формулу соединения. **(10 баллов)**

Решение:

Атомная единица массы (а.е.м.) – это двенадцатая часть массы одного атома изотопа углерода-12:

$$1 \text{ а.е.м.} = \frac{1}{12} m({}^{12}_6\text{C}) = \frac{1}{N_A} = \frac{1}{6.02 \cdot 10^{23}} = 1.66 \cdot 10^{-24} \text{ г.}$$

Масса электрона составляет

$$m(e) = \frac{1.66 \cdot 10^{-24}}{1823} = 9.1 \cdot 10^{-28} \text{ г.}$$

Рассчитаем число электронов в образце:

$$N(e) = \frac{0.029002}{9.1 \cdot 10^{-28}} = 3.187 \cdot 10^{25}.$$

Понятно, что число протонов равно числу электронов: $N(p) = N(e)$. Рассчитаем число нейтронов $N(n)$ в образце:

$$m(e) + m(p) + m(n) = 100, \\ 0.029002 + 3.187 \cdot 10^{25} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + N(n) \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} = 100,$$

отсюда число нейтронов составляет

$$N(n) = 2.83328 \cdot 10^{25}.$$

Мы выяснили, что нейтронов в искомом соединении меньше, чем протонов. Это возможно только в том случае, если в составе соединения есть водород. Число атомов водорода в образце – это разница между числами протонов и нейтронов:

$$N(\text{H}) = (3.187 - 2.83328) \cdot 10^{25} = 3.5372 \cdot 10^{24},$$

и их масса составляет

$$m(\text{H}) = 3.5372 \cdot 10^{24} \cdot 1.66 \cdot 10^{-24} + 3.5372 \cdot 10^{24} \cdot 9.1 \cdot 10^{-28} = 5.8737.$$

Пусть соединение имеет формулу $\text{Э}_x\text{H}_y$. На элемент Э приходится

$$m(\text{Э}) = 100 - 5.8737 = 94.1263 \text{ г.}$$

Определим простейшую формулу искомого соединения $\text{Э}_x\text{H}_y$:

$$x : y = \frac{94.1263}{A(\text{Э})} : \frac{5.8737}{1}.$$

Если состав соединения – ЭН, то $A(\text{Э}) = 16$ г/моль, это кислород, простейшая формула ОН, истинная формула H_2O_2 – пероксид водорода. Если состав ЭH_2 , то $A(\text{Э}) = 32$ г/моль, это сера, искомое соединение H_2S , сероводород.

Ответ: H_2O_2 или H_2S .

Задание №6

6.1. Для ацилирования смеси фруктозы и мальтозы массой 35.1 г потребовалось 91.8 г уксусного ангидрида. Какой максимальный объем 3 %-ного водного раствора брома (плотность 1.02 г/мл) может обесцветить исходная смесь углеводов? **(10 баллов)**

Решение:

Ацилирование углеводов – это реакция производного карбоновой кислоты (ангидрида) с гидроксильными группами углевода.



Молекула фруктозы содержит пять гидроксильных групп, молекула мальтозы – восемь гидроксильных групп.

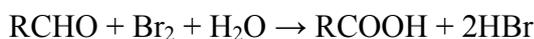
$$V_{\text{уксусного ангидрида}} = 91.8/102 = 0.9 \text{ моль.}$$

Пусть смесь содержит x моль фруктозы и y моль мальтозы.

Тогда:

$$\begin{cases} 180x + 342y = 35.1 \\ 5x + 8y = 0.9 \end{cases}$$
$$x = 0.1, y = 0.05$$

Только мальтоза может реагировать с бромной водой (окисление альдегидной группы):



$$v_{\text{брома}} = v_{\text{мальтозы}} = 0.05 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{раствора}} = v \cdot M / \rho \cdot \omega = 0.05 \cdot 160 / 1.02 \cdot 0.03 = 261.4 \text{ мл.}$$

Ответ: 261.4 мл.

6.2. Для ацилирования смеси рибозы и сахарозы массой 11.34 г потребовалось 36.4 г пропионового ангидрида. Какой максимальный объем 3%-ного водного раствора брома (плотность 1.02 г/мл) может обесцветить исходная смесь углеводов? **(10 баллов)**

Решение:

Ацилирование углеводов – это реакция производного карбоновой кислоты (ангидрида) с гидроксильными группами углевода.



Молекула рибозы содержит четыре гидроксильные группы, молекула сахарозы – восемь гидроксильных групп.

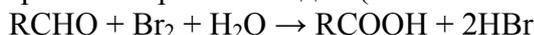
$$V_{\text{пропионового ангидрида}} = 36.4 / 130 = 0.28 \text{ моль.}$$

Пусть смесь содержит x моль рибозы и y моль сахарозы.

Тогда:

$$\begin{cases} 150x + 342y = 11.34 \\ 4x + 8y = 0.28 \end{cases}$$
$$x = 0.03, y = 0.02$$

Только рибоза может реагировать с бромной водой (окисление альдегидной группы):



$$v_{\text{брома}} = v_{\text{рибозы}} = 0.03 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{раствора}} = v \cdot M / \rho \cdot \omega = 0.03 \cdot 160 / 1.02 \cdot 0.03 = 156.9 \text{ мл.}$$

Ответ: 156.9 мл.

6.3. Для ацилирования смеси дезоксирибозы и сахарозы массой 12.94 г потребовалось 30.6 г уксусного ангидрида. Какой максимальный объем 3%-ного водного раствора брома (плотность 1.02 г/мл) может обесцветить исходная смесь углеводов? **(10 баллов)**

Решение:

Ацилирование углеводов – это реакция производного карбоновой кислоты (ангидрида) с гидроксильными группами углевода.



Молекула дезоксирибозы содержит три гидроксильные группы, молекула сахарозы – восемь гидроксильных групп.

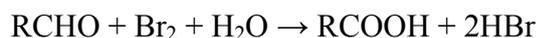
$$V_{\text{уксусного ангидрида}} = 30.6 / 102 = 0.3 \text{ моль.}$$

Пусть смесь содержит x моль дезоксирибозы и y моль сахарозы.

Тогда:

$$\begin{cases} 134x + 342y = 12.94 \\ 3x + 8y = 0.3 \end{cases}$$
$$x = 0.02, y = 0.03$$

Только дезоксирибоза может реагировать с бромной водой (окисление альдегидной группы):



$$V_{\text{брома}} = v_{\text{дезоксирибозы}} = 0.02 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{раствора}} = v \cdot M / \rho \cdot \omega = 0.02 \cdot 160 / 1.02 \cdot 0.03 = 104.6 \text{ мл.}$$

Ответ: 104.6 мл.

6.4. Для ацилирования смеси фруктозы и целлобиозы массой 24.48 г потребовалось 80.6 г пропионового ангидрида. Какой максимальный объем 3 %-ного водного раствора брома (плотность 1.02 г/мл) может обесцветить исходная смесь углеводов? **(10 баллов)**

Решение:

Ацилирование углеводов – это реакция производного карбоновой кислоты (ангидрида) с гидроксильными группами углевода.



Молекула фруктозы содержит пять гидроксильных групп, молекула целлобиозы – восемь гидроксильных групп.

$$V_{\text{пропионового ангидрида}} = 80.6 / 130 = 0.62 \text{ моль.}$$

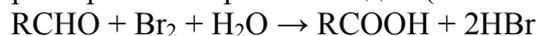
Пусть смесь содержит x моль фруктозы и y моль целлобиозы.

Тогда:

$$\begin{cases} 180x + 342y = 24.48 \\ 5x + 8y = 0.62 \end{cases}$$

$$x = 0.06, y = 0.04$$

Только целлобиоза может реагировать с бромной водой (окисление альдегидной группы):



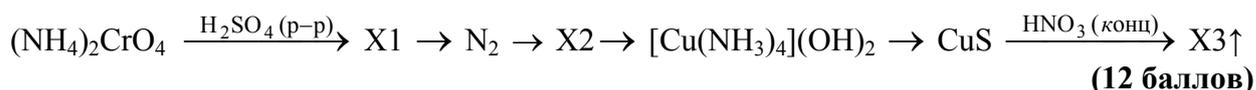
$$V_{\text{брома}} = v_{\text{целлобиозы}} = 0.04 \text{ моль.}$$

$$V_{\text{раствора}} = v \cdot M / \rho \cdot \omega = 0.04 \cdot 160 / 1.02 \cdot 0.03 = 209.2 \text{ мл.}$$

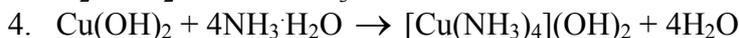
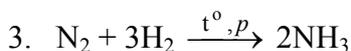
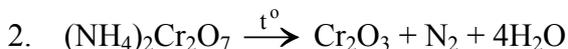
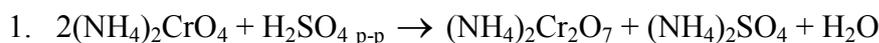
Ответ: 209.2 мл.

Задание №7

7.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат азот).

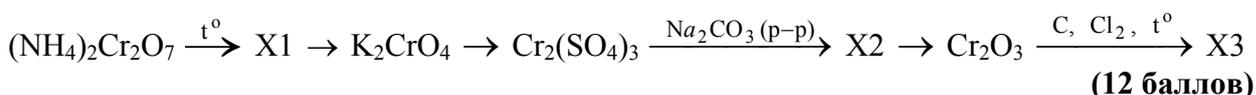


Решение:



X1 – $(NH_4)_2Cr_2O_7$, X2 – NH_3 , X3 – NO_2

7.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат хром).

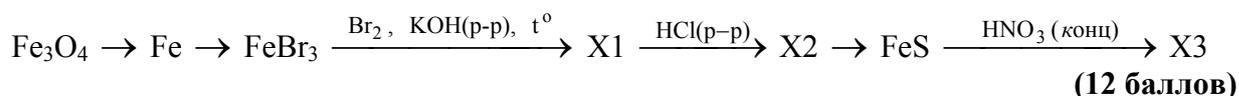


Решение:

1. $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7 \xrightarrow{t^\circ} \text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{N}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
2. $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 4\text{KOH} + \text{KClO}_3 \xrightarrow{\text{сплавление}} 2\text{K}_2\text{CrO}_4 + \text{KCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
3. $2\text{K}_2\text{CrO}_4 + 3\text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ p-p} \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$
4. $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Na}_2\text{CO}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{OH})_3 + 3\text{CO}_2 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4$
5. $2\text{Cr}(\text{OH})_3 \xrightarrow{t^\circ} \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
6. $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{CrCl}_3 + 3\text{CO}$

X1 – Cr_2O_3 , X2 – $\text{Cr}(\text{OH})_3$, X3 – CrCl_3

7.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат железо).

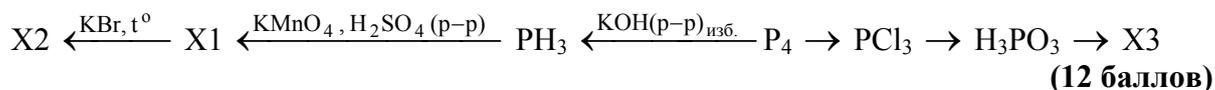


Решение:

1. $3\text{Fe}_3\text{O}_4 + 8\text{Al} \xrightarrow{t^\circ} 9\text{Fe} + 4\text{Al}_2\text{O}_3$
2. $2\text{Fe} + 3\text{Br}_2 \xrightarrow{t^\circ} 2\text{FeBr}_3$
3. $2\text{FeBr}_3 + 3\text{Br}_2 + 16\text{KOH} \text{ p-p} \xrightarrow{t^\circ} 2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 12\text{KBr} + 8\text{H}_2\text{O}$
4. $2\text{K}_2\text{FeO}_4 + 16\text{HCl} \text{ p-p} \rightarrow 2\text{FeCl}_3 + 4\text{KCl} + 3\text{Cl}_2 + 8\text{H}_2\text{O}$
5. $2\text{FeCl}_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{S} \text{ p-p} \rightarrow 2\text{FeS} + \text{S} + 6\text{NH}_4\text{Cl}$
6. $\text{FeS} + 12\text{HNO}_3 \text{ конц} \rightarrow \text{Fe}(\text{NO}_3)_3 + 9\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 5\text{H}_2\text{O}$

X1 – K_2FeO_4 , X2 – FeCl_3 , X3 – $\text{Fe}(\text{NO}_3)_3$

7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат фосфор).



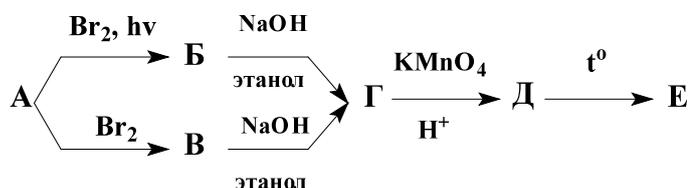
Решение:

1. $\text{P}_4 + 3\text{KOH} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{PH}_3 + 3\text{KH}_2\text{PO}_2$
2. $5\text{PH}_3 + 8\text{KMnO}_4 + 12\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ p-p} \rightarrow 5\text{H}_3\text{PO}_4 + 4\text{K}_2\text{SO}_4 + 8\text{MnSO}_4 + 12\text{H}_2\text{O}$
3. $\text{H}_3\text{PO}_4 \text{ конц} + \text{KBr} \xrightarrow{t^\circ} \text{HBr} + \text{KH}_2\text{PO}_4$
4. $\text{P}_4 + 6\text{Cl}_2 \text{ недост.} \rightarrow 4\text{PCl}_3$
5. $\text{PCl}_3 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{PO}_3 + 3\text{HCl}$
6. $\text{H}_3\text{PO}_3 + 2\text{KOH} \text{ p-p, изб.} \rightarrow \text{K}_2\text{HPO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$

X1 – H_3PO_4 , X2 – KH_2PO_4 , X3 – K_2HPO_3

Задание №8

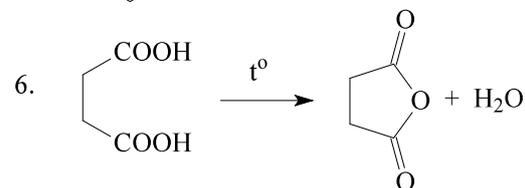
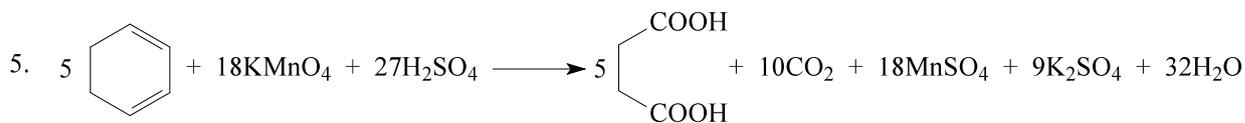
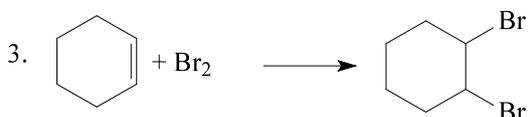
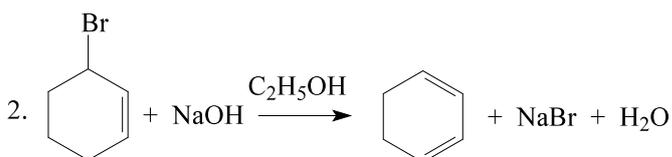
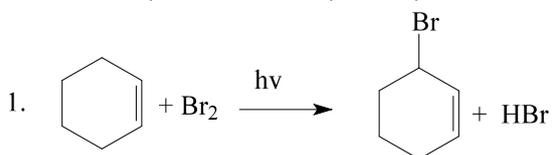
8.1. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкен, а массовая доля брома в соединении В больше массовой доли брома в соединении Б в 1.3306 раза. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.



(12 баллов)

Решение:

Исходя из схемы можно предположить, что соединение Б – это продукт замещения водорода на бром, а соединение В – это продукт присоединения брома по кратной связи. Тогда $160/(C_nH_{2n-2} + 160) : 80/(C_nH_{2n-3} + 80) = 1.3306$. Отсюда $n = 6$. C_6H_{10} .



8.2. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкен, а массовая доля хлора в соединении Д больше массовой доли хлора в соединении Б в 1.549 раза. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

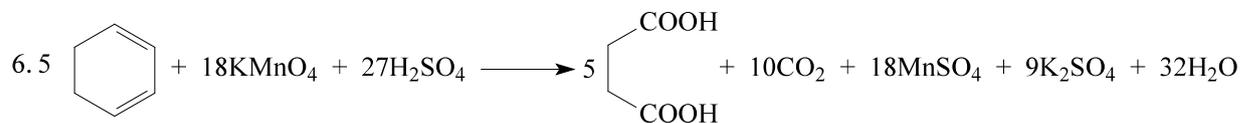
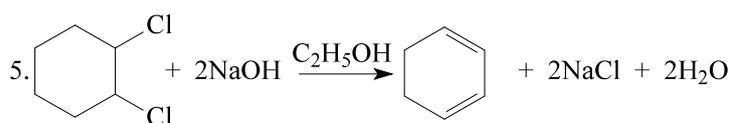
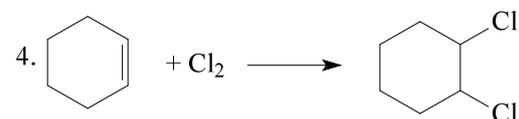
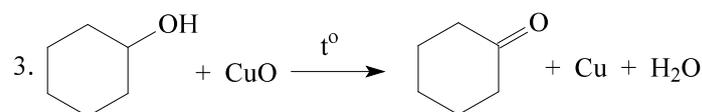
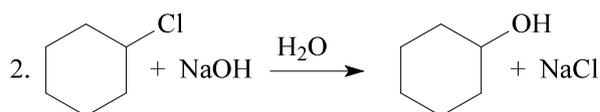
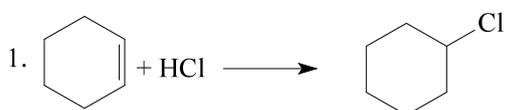


(12 баллов)

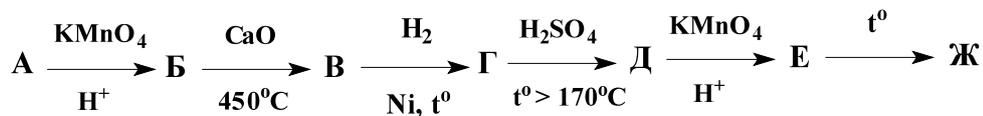
Решение:

Исходя из схемы можно предположить, что соединение Б – это продукт присоединения хлороводорода, а соединение Д – это продукт присоединения хлора по кратной связи.

Тогда $71 / (\text{C}_n\text{H}_{2n-2} + 71) : 36.5 / (\text{C}_n\text{H}_{2n-2} + 36.5) = 1.549$. Отсюда $n = 6$. C_6H_{10} .

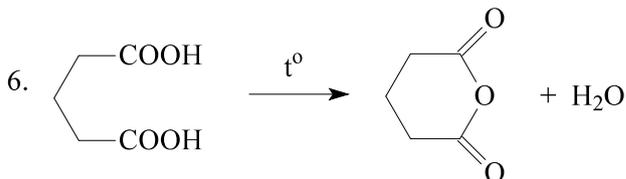
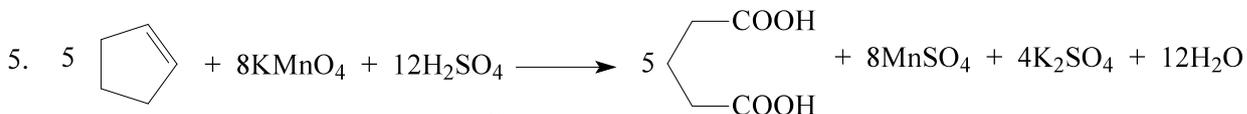
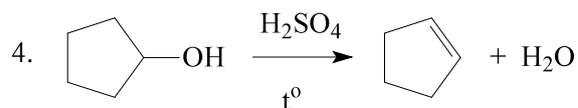
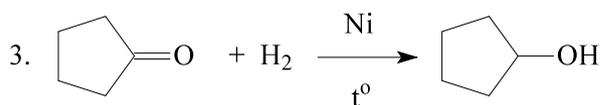
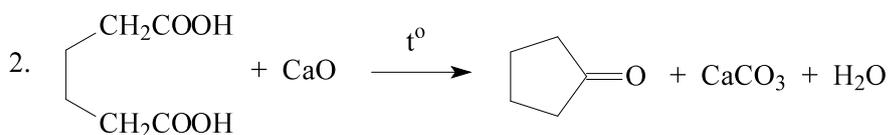
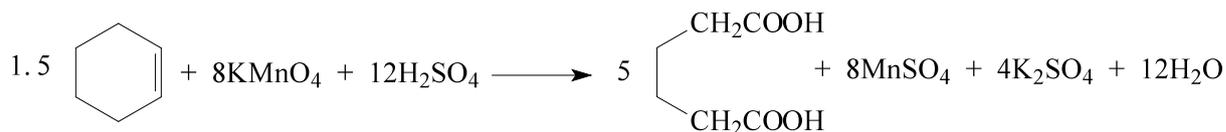


8.3. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкен, а соединения А и Д – гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

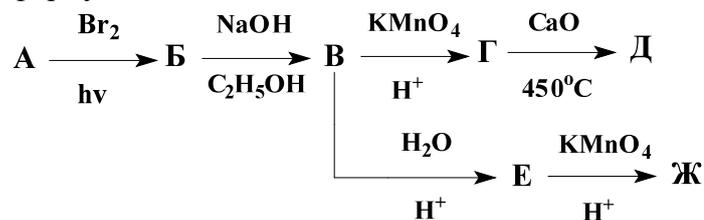


(12 баллов)

Решение:

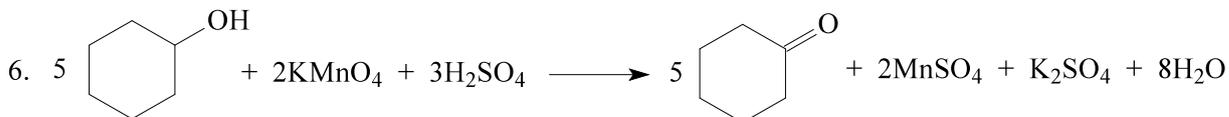
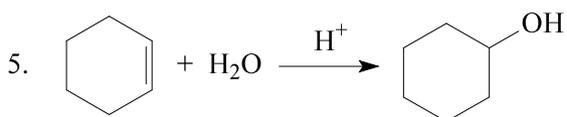
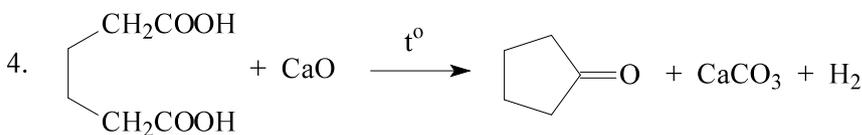
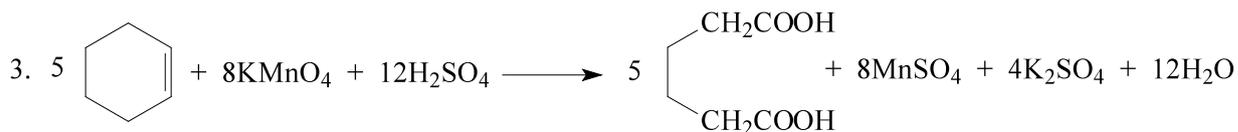
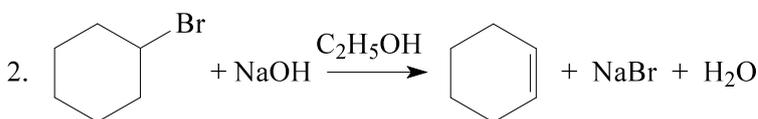
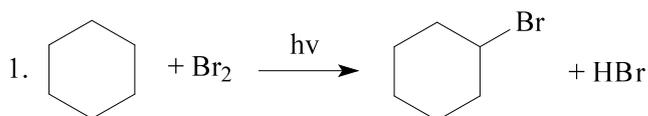


8.4. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкан, а соединения Д и Ж - гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.



(12 баллов)

Решение:



Задание №9

9.1. Неизвестный металл М образует оксиды MO, MO₂, а также смешанные оксиды M₂O₃, M₃O₄. Смесь оксидов MO₂ и M₃O₄ массой 160.9 г обработали концентрированной соляной кислотой, при этом выделилось 6.72 л газа (н.у.). После обработки такого же количества смеси разбавленным раствором азотной кислоты в осадке был обнаружен только оксид MO₂ массой 71.7 г. Определите неизвестный металл, рассчитайте массы оксидов в исходной смеси. (15 баллов)

Решение:

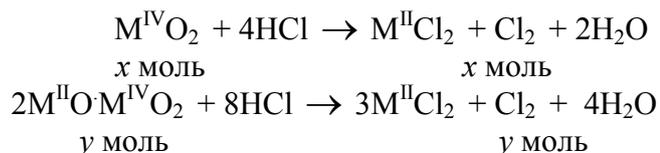
Состав оксидов указывает на то, что для металла М характерны степени окисления II и IV: M^{II}O, M^{IV}O₂, M^{II}O·M^{IV}O₂ (M₂O₃), 2M^{II}O·M^{IV}O₂ (M₃O₄).

кислотой, при этом выделилось 8.96 л газа (н.у.). После обработки такого же количества смеси разбавленным раствором азотной кислоты в осадке был обнаружен только оксид MO_2 массой 95.6 г. Определите неизвестный металл, рассчитайте массы оксидов в исходной смеси. (15 баллов)

Решение:

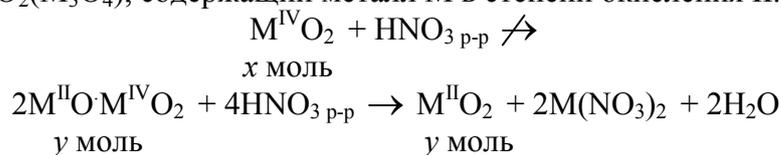
Состав оксидов указывает на то, что для металла M характерны степени окисления II и IV: $M^{II}O$, $M^{IV}O_2$, $M^{II}O \cdot M^{IV}O_2$ (M_2O_3), $2M^{II}O \cdot M^{IV}O_2$ (M_3O_4).

Так как при взаимодействии смеси $M^{IV}O_2$ и $2M^{II}O \cdot M^{IV}O_2$ (M_3O_4) с концентрированной соляной кислотой выделяется газ (хлор), можно предположить, что оксиды, содержащие металл M в степени окисления IV, проявляют окислительные свойства:



Хлор выделился в количестве $\nu(Cl_2) = x + y = 8,96/22,4 = 0,4$ моль.

Разбавленная азотная кислота не взаимодействует с оксидом $M^{IV}O_2$ (он остается после обработки ею в неизменном виде), в реакцию с азотной кислотой вступает только оксид $2M^{II}O \cdot M^{IV}O_2$ (M_3O_4), содержащий металл M в степени окисления II:



Тогда $x + y = 0.4$

$(M_M + 32)(x + y) = 143,4$ (M_M – молярная масса металла).

Отсюда $M_M = 207$ г/моль, металл – свинец. Значит, в исходной смеси находятся оксиды PbO_2 и Pb_3O_4 .

Рассчитаем их количества:

$$\begin{array}{l} 239x + 685y = 184.8 \\ x + y = 0.4 \end{array}$$

Отсюда $x = 0.2$ моль, $y = 0.2$ моль.

Тогда масса PbO_2 $0,2 \cdot 239 = 47,8$ г, а масса Pb_3O_4 $0,2 \cdot 685 = 137$ г.

Ответ: $m(PbO_2) = 47.8$ г, $m(Pb_3O_4) = 137$ г.

Задание №10

10.1. В результате биологических процессов в аквариуме образуется очень токсичный для рыбок аммиак и неядовитые соли аммония. Аквариумные тесты дают возможность определить лишь их суммарное содержание. Для того чтобы избежать токсического шока у рыб, аквариумисты используют так называемые средства «рН – минус». Рассчитайте, сколько миллилитров такого средства (раствор кислоты с рН 3) нужно добавить в столитровый аквариум, чтобы снизить концентрацию аммиака до ПДК (предельно допустимая концентрация), равной $1.5 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Какой при этом будет рН аквариумной воды, если изначально аквариумный тест показал, что рН воды равно 7.5, суммарная концентрация аммиака и аммония – $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л, а константа основности аммиака составляет $1.8 \cdot 10^{-5}$. (16 баллов)

Решение:

Пусть a_{H^+} моль – количество кислоты, которое надо добавить на каждый литр воды. Оно складывается из количеств кислоты, необходимых, чтобы нейтрализовать

исходную аквариумную воду – x и y подкислить до pH, при котором концентрация аммиака достигнет ПДК ($a_{H^+} = x + y$).

Рассчитаем, при каком pH концентрация аммиака достигла ПДК. $NH_3 \cdot H_2O = NH_4^+ + OH^-$

$$K_b = \frac{c_{NH_4^+} \cdot c_{OH^-}}{c_{NH_3 \cdot H_2O}}$$

Суммарная концентрация по показаниям теста:

$$c_{об.} = c_{NH_4^+} + c_{NH_3 \cdot H_2O}$$

Тогда концентрация аммония

$$c_{NH_4^+} = c_{об.} - c_{NH_3 \cdot H_2O}$$

Подставим в выражение для константы основности

$$K_b = \frac{(c_{об.} - c_{NH_3 \cdot H_2O}) \cdot c_{OH^-}}{c_{NH_3 \cdot H_2O}}$$

$$c_{OH^-} = \frac{K_b \cdot c_{NH_3 \cdot H_2O}}{c_{об.} - c_{NH_3 \cdot H_2O}} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-4} - 1.5 \cdot 10^{-6}} = 0.54 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

При этом y – концентрация H^+ составит

$$c_{H^+} = y = \frac{K_w}{c_{OH^-}} = \frac{10^{-14}}{0.54 \cdot 10^{-7}} = 1.85 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$pH = -\lg(1.85 \cdot 10^{-7}) = 6.73$ при этом значении концентрация аммиака достигнет ПДК

Рассчитаем x необходимое для нейтрализации щелочи в аквариумной воде

$$x = c_{OH^- \text{ изб.}} = 10^{-14 + pH} = 10^{-6.5} = 3.16 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$a_{H^+} = x + y = (3.16 + 1.85) \cdot 10^{-7} = 5 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$ – количество кислоты, которое надо добавить на каждый литр аквариумной воды,

тогда количество кислоты необходимое на 100 л, $v = 5 \cdot 10^{-5} \text{ моль,}$

Объем раствора кислоты равен

$$V = \frac{5 \cdot 10^{-5} \cdot 1000}{10^{-3}} = 50 \text{ мл}$$

Ответ: 50 мл, pH=6.73.

10.2. В результате биологических процессов в аквариуме образуется очень токсичный для рыбок аммиак и неядовитые соли аммония. Аквариумные тесты дают возможность определить лишь их суммарное содержание. Для того чтобы избежать токсического шока у рыб, аквариумисты используют так называемые средства «pH – минус». После добавления в столитровый аквариум 118.5 мл такого средства (раствор кислоты с pH 3) концентрация аммиака снизилась до ПДК (предельно допустимая концентрация) $1.5 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$. Определите изначальное значение pH аквариумной воды и концентрацию аммиака, во сколько раз превышен ПДК, если тест показал, что суммарная концентрация аммиака и аммония составляет $5 \cdot 10^{-4} \text{ моль/л}$, а константа основности аммиака равна $1.8 \cdot 10^{-5}$. **(16 баллов)**

Решение:

В аквариум добавили 118.5 мл раствора,
Тогда количество кислоты, добавленное на каждый литр

$$a_{H^+} = \frac{10^{-3} \cdot 0.1185}{100} = 1.185 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

Оно складывается из количеств кислоты, необходимых, чтобы нейтрализовать исходную аквариумную воду – x и y подкислить до рН при котором концентрация аммиака достигнет ПДК $a_{H^+} = x + y$.

Рассчитаем, какая должна быть кислотность раствора, чтобы концентрация аммиака достигла ПДК.



$$K_b = \frac{c_{\text{NH}_4^+} \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

Суммарная концентрация по показаниям теста:

$$c_{\text{об.}} = c_{\text{NH}_4^+} + c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Тогда концентрация аммония

$$c_{\text{NH}_4^+} = c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Подставим в выражение для константы основности

$$K_b = \frac{(c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}) \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{K_b \cdot c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-4} - 1.5 \cdot 10^{-6}} = 0.54 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

При этом y – концентрация H^+ составит

$$c_{\text{H}^+} = y = \frac{K_w}{c_{\text{OH}^-}} = \frac{10^{-14}}{0.54 \cdot 10^{-7}} = 1.85 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$\text{pH} = -\lg(1.85 \cdot 10^{-7}) = 6.73$ при этом значении концентрация аммиака достигнет ПДК.

Тогда $x = c_{\text{OH}^- \text{ изб.}}$ – количество кислоты (на литр), чтобы нейтрализовать исходную аквариумную воду, оно равно концентрации щелочи.

$$x = c_{\text{OH}^- \text{ изб.}} = a_{\text{H}^+} - y = 1.185 \cdot 10^{-6} - 1.85 \cdot 10^{-7} = 10^{-6} \text{ моль/л}$$

Тогда рН исходной аквариумной воды

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 6 = 8$$

Рассчитаем концентрацию аммиак в воде

$$c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = \frac{c_o \cdot c_{\text{OH}^-}}{K_b + c_{\text{OH}^-}} = \frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10^{-6}}{1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-6}} = 2.6 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л,}$$

$$\text{ПДК превышена в } \frac{2.6 \cdot 10^{-5}}{1.5 \cdot 10^{-6}} = 17 \text{ раз}$$

Ответ: $\text{pH} = 8$, $c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 2.6 \cdot 10^{-5}$ моль/л, 17 раз.

10.3. В результате биологических процессов в аквариуме образуется очень токсичный для рыбок аммиак и неядовитые соли аммония. Аквариумные тесты дают возможность определить лишь их суммарное содержание. Для того чтобы избежать токсического шока у рыб, аквариумисты используют так называемые средства «рН – минус». Рассчитайте сколько миллилитров такого средства (раствор кислоты с рН 3) нужно добавить в столитровый аквариум, чтобы снизить концентрацию аммиака до ПДК (предельно допустимая концентрация), равной $1.5 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Какой при этом будет рН аквариумной

воды, если изначально аквариумный тест показал, что рН воды равно 8, суммарная концентрация аммиака и аммония – 10^{-3} моль/л, а константа основности аммиака составляет $1.8 \cdot 10^{-5}$. (16 баллов)

Решение:

Пусть a_{H^+} моль – количество кислоты, которое надо добавить на каждый литр воды. Оно складывается из количеств кислоты, необходимых, чтобы нейтрализовать исходную аквариумную воду – x и y подкислить до рН, при котором концентрация аммиака достигнет ПДК ($a_{\text{H}^+} = x + y$).

Рассчитаем, при котром рН концентрация аммиака достигла ПДК. $\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} = \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$

$$K_b = \frac{c_{\text{NH}_4^+} \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

Суммарная концентрация по показаниям теста:

$$c_{\text{об.}} = c_{\text{NH}_4^+} + c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Тогда концентрация аммония

$$c_{\text{NH}_4^+} = c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Подставим в выражение для константы основности

$$K_b = \frac{(c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}) \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{K_b \cdot c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{10^{-3} - 1.5 \cdot 10^{-6}} = 0.27 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

При этом y – концентрация H^+ составит

$$c_{\text{H}^+} = y = \frac{K_w}{c_{\text{OH}^-}} = \frac{10^{-14}}{0.27 \cdot 10^{-7}} = 3.7 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$\text{pH} = -\lg(3.7 \cdot 10^{-7}) = 6.43$ при этом значении концентрация аммиака достигнет ПДК

Рассчитаем x необходимое для нейтрализации щелочи в аквариумной воде

$$x = c_{\text{OH}^- \text{ изб.}} = 10^{-14 + \text{pH}} = 10^{-6} = 10^{-6} \text{ моль/л,}$$

$a_{\text{H}^+} = x + y = (10 + 3.7) \cdot 10^{-7} = 13.7 \cdot 10^{-7}$ моль/л – количество кислоты, которое надо добавить на каждый литр аквариумной воды,

тогда количество кислоты необходимое на 100 л, $v = 13.7 \cdot 10^{-5}$ моль,

Объем раствора кислоты равен

$$V = \frac{13.7 \cdot 10^{-5} \cdot 1000}{10^{-3}} = 137 \text{ мл}$$

Ответ: 137 мл, рН=6.73.

10.4. В результате биологических процессов в аквариуме образуется очень токсичный для рыбок аммиак и неядовитые соли аммония. Аквариумные тесты дают возможность определить лишь их суммарное содержание. Для того чтобы избежать токсического шока у рыб, аквариумисты используют так называемые средства «рН – минус». После добавления в пятидесятилитровый аквариум 68.5 мл такого средства (раствор кислоты с рН 3) концентрация аммиака снизилась до ПДК (предельно допустимая концентрация) $1.5 \cdot 10^{-6}$ моль/л. Определите изначально значение рН аквариумной воды и концентрацию

аммиака, во сколько раз превышен ПДК, если тест показал, что суммарная концентрация аммиака и аммония составляет 10^{-3} моль/л, а константа основности аммиака равна $1.8 \cdot 10^{-5}$.
(16 баллов)

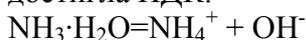
Решение:

В аквариум добавили 68.5 мл раствора,
Тогда количество кислоты, добавленное на каждый литр

$$a_{H^+} = \frac{10^{-3} \cdot 0.0685}{50} = 1.37 \cdot 10^{-6} \text{ моль/л}$$

Оно складывается из количеств кислоты, необходимых, чтобы нейтрализовать исходную аквариумную воду – x и y подкислить до рН при котором концентрация аммиака достигнет ПДК $a_{H^+} = x + y$.

Рассчитаем, какая должна быть кислотность раствора, чтобы концентрация аммиака достигла ПДК.



$$K_b = \frac{c_{\text{NH}_4^+} \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

Суммарная концентрация по показаниям теста:

$$c_{\text{об.}} = c_{\text{NH}_4^+} + c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Тогда концентрация аммония

$$c_{\text{NH}_4^+} = c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}$$

Подставим в выражение для константы основности

$$K_b = \frac{(c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}) \cdot c_{\text{OH}^-}}{c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}$$

$$c_{\text{OH}^-} = \frac{K_b \cdot c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}}{c_{\text{об.}} - c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}}} = \frac{1.8 \cdot 10^{-5} \cdot 1.5 \cdot 10^{-6}}{10^{-3} - 1.5 \cdot 10^{-6}} = 0.27 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л}$$

При этом y – концентрация H^+ составит

$$c_{\text{H}^+} = y = \frac{K_w}{c_{\text{OH}^-}} = \frac{10^{-14}}{0.27 \cdot 10^{-7}} = 3.7 \cdot 10^{-7} \text{ моль/л,}$$

$\text{pH} = -\lg(3.7 \cdot 10^{-7}) = 6.43$ при этом значении концентрация аммиака достигнет ПДК.

Тогда $x = c_{\text{OH}^- \text{ изб.}}$ – количество кислоты (на литр), чтобы нейтрализовать исходную аквариумную воду, равно концентрации щелочи

$$x = c_{\text{OH}^- \text{ изб.}} = a_{\text{H}^+} - y = 1.37 \cdot 10^{-6} - 3.7 \cdot 10^{-7} = 10^{-6} \text{ моль/л}$$

Тогда рН исходной аквариумной воды

$$\text{pH} = 14 - \text{pOH} = 14 - 6 = 8$$

Рассчитаем концентрацию аммиак в воде

$$c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = \frac{c_o \cdot c_{\text{OH}^-}}{K_b + c_{\text{OH}^-}} = \frac{10^{-5} \cdot 10^{-6}}{1.8 \cdot 10^{-5} + 10^{-6}} = 5.3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л,}$$

$$\text{ПДК превышена в } \frac{5.3 \cdot 10^{-5}}{1.5 \cdot 10^{-6}} = 35 \text{ раз}$$

Ответ: $\text{pH} = 8$, $c_{\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}} = 5.3 \cdot 10^{-5}$ моль/л, 35 раз.

Отборочный тур ДЕКАБРЬ, 10-11 классы

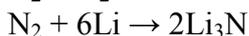
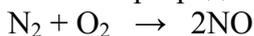
Задание №1

1.1. Приведите пример газообразного вещества с плотностью по водороду 14, которое может проявлять свойства окислителя и восстановителя. Приведите уравнения соответствующих реакций. (4 балла)

Решение:

$M_{\text{газа}} = 28 \text{ г/моль. } \text{C}_2\text{H}_4, \text{CO}, \text{N}_2.$

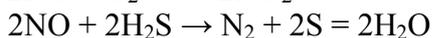
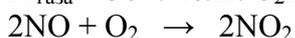
Эл.разряд



1.2. Приведите пример газообразного вещества с плотностью по водороду 15, которое может проявлять свойства окислителя и восстановителя. Приведите уравнения соответствующих реакций. (4 балла)

Решение:

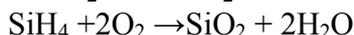
$M_{\text{газа}} = 30 \text{ г/моль. } \text{C}_2\text{H}_6, \text{CH}_2\text{O}, \text{NO}.$



1.3. Приведите пример двух газообразных веществ с плотностью по водороду 16, одно из которых проявляет окислительные свойства, а второе – восстановительные свойства. Приведите уравнения соответствующих реакций. (4 балла)

Решение:

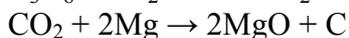
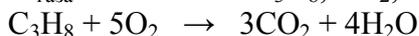
$M_{\text{газа}} = 32 \text{ г/моль. } \text{SiH}_4, \text{O}_2.$



1.4. Приведите пример двух газообразных веществ с плотностью по водороду 22, одно из которых проявляет окислительные свойства, а второе – восстановительные свойства. Приведите уравнения соответствующих реакций. (4 балла)

Решение:

$M_{\text{газа}} = 44 \text{ г/моль. } \text{C}_3\text{H}_8, \text{CO}_2, \text{N}_2\text{O}.$



Задание №2

2.1. Рассчитайте массу электронов в эквимольной смеси оксидов азота (I) и азота (II) объемом 11.2 л (н.у.), если масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м. (6 баллов)

Решение:

Поскольку объем газовой смеси 11.2 л (0.5 моль), смесь содержит 0.25 моль N_2O и 0.25 моль NO . Одна молекула NO содержит 15 электронов, 0.25 моль NO содержит $0.25 \cdot 15 = 3.75$ моль электронов. Одна молекула N_2O содержит 22 электрона, 0.25 моль N_2O содержит $0.25 \cdot 22 = 5.5$ моль электронов. Газовая смесь содержит 9.25 моль электронов.

Поскольку масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м., то молярная масса электронов равна 0.00055 г/моль. Тогда $m_e = 9.25 \cdot 0.00055 = 0.0051 \text{ г} = 5.1 \text{ мг}$.

Ответ: 5.1 мг

2.2. Рассчитайте массу электронов в эквимольной смеси оксидов азота (II) и азота (IV) объемом 33.6 л (н.у.), если масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м. **(6 баллов)**

Решение:

Поскольку объем газовой смеси 33.6 л (1.5 моль), смесь содержит 0.75 моль NO и 0.75 моль NO₂. Одна молекула NO содержит 15 электронов, 0.75 моль NO содержит $0.75 \cdot 15 = 11.25$ моль электронов. Одна молекула NO₂ содержит 23 электрона, 0.75 моль NO₂ содержит $0.75 \cdot 23 = 17.25$ моль электронов. Газовая смесь содержит 28.5 моль электронов. Поскольку масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м., то молярная масса электронов равна 0.00055 г/моль. Тогда $m_e = 28.5 \cdot 0.00055 = 0.015675 \text{ г} = 15.675 \text{ мг}$.

Ответ: 15.675 мг.

2.3. Рассчитайте массу электронов в эквимольной смеси оксидов азота (I) и азота (IV) объемом 56 л (н.у.), если масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м. **(6 баллов)**

Решение:

Поскольку объем газовой смеси 56 л (2.5 моль), смесь содержит 1.25 моль N₂O и 1.25 моль NO₂. Одна молекула N₂O содержит 22 электрона, 1.25 моль N₂O содержит $1.25 \cdot 22 = 27.5$ моль электронов. Одна молекула NO₂ содержит 23 электрона, 1.25 моль NO₂ содержит $1.25 \cdot 23 = 28.75$ моль электронов. Газовая смесь содержит 56.25 моль электронов. Поскольку масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м., то молярная масса электронов равна 0.00055 г/моль. Тогда $m_e = 56.25 \cdot 0.00055 = 0.0309375 \text{ г} = 30.9375 \text{ мг}$.

Ответ: 30.9375 мг

2.4. Рассчитайте массу электронов в эквимольной смеси оксидов углерода (II) и углерода (IV) объемом 28 л (н.у.), если масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м. **(6 баллов)**

Решение:

Поскольку объем газовой смеси 28 л (1.25 моль), смесь содержит 0.625 моль CO и 0.625 моль CO₂. Одна молекула CO содержит 14 электронов, 0.625 моль CO содержит $0.625 \cdot 14 = 8.75$ моль электронов. Одна молекула CO₂ содержит 22 электрона, 0.625 моль CO₂ содержит $0.625 \cdot 22 = 13.75$ моль электронов. Газовая смесь содержит 22.5 моль электронов.

Поскольку масса одного электрона равна 0.00055 а.е.м., то молярная масса электронов равна 0.00055 г/моль. Тогда $m_e = 22.5 \cdot 0.00055 = 0.0124 \text{ г} = 12.4 \text{ мг}$.

Ответ: 12.4 мг.

Задание №3

3.1. При растворении навески меди в 50%-ной азотной кислоте выделилось 4.89 л (25°C, 1 атм) смеси равных количеств двух газов (плотность газовой смеси 1.554 г/л). Определите массу растворенной меди. **(6 баллов)**

Решение:

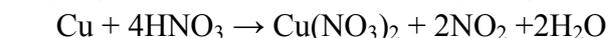
Количество выделившегося газа $v_{\text{газа}} = P \cdot V / R \cdot T = 101.3 \cdot 4.89 / 8.314 \cdot 298 = 0.2$ моль.
Средняя молярная масса образовавшейся в реакции газовой смеси $M_{\text{ср}} = \rho \cdot R \cdot T / P = 1.554 \cdot 8.314 \cdot 298 / 101.3 = 38$ г/моль.

При растворении меди в 50%-ной азотной кислоте могут выделяться NO (M = 30 г/моль) и NO₂ (M = 46 г/моль). M_{ср} = 38 г/моль.

Следовательно в реакции образовалось 0.1 моль NO и 0.1 моль NO₂.



0.15 моль 0.1 моль



0.05 моль 0.1 моль

$$m_{\text{Cu}} = 0.2 \cdot 64 = 12.8 \text{ г.}$$

Ответ: 12.8 г.

3.2. При растворении навески железа в 40%-ной азотной кислоте выделилось 7.34 л (25°C, 1 атм) смеси равных количеств двух газов (плотность газовой смеси 1.513 г/л). Определите массу растворенного железа. **(6 баллов)**

Решение:

Количество выделившегося газа $v_{\text{газа}} = P \cdot V / R \cdot T = 101.3 \cdot 7.34 / 8.314 \cdot 298 = 0.3$ моль.

Средняя молярная масса образовавшейся в реакции газовой смеси $M_{\text{ср}} = \rho \cdot R \cdot T / P = 1.513 \cdot 8.314 \cdot 298 / 101.3 = 37$ г/моль.

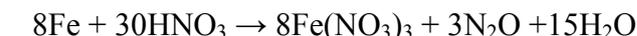
При растворении железа в 40%-ной азотной кислоте могут выделяться N₂ (M = 28 г/моль), N₂O (M = 44 г/моль), NO (M = 30 г/моль) и NO₂ (M = 46 г/моль).

M_{ср} = 37 г/моль соответствует эквимольной смеси N₂O и NO.

Следовательно в реакции образовалось 0.15 моль NO и 0.15 моль N₂O.



0.15 моль 0.15 моль



0.4 моль 0.15 моль

$$m_{\text{Fe}} = 0.55 \cdot 56 = 30.8 \text{ г.}$$

Ответ: 30.8 г.

3.3. При растворении навески магния в 15%-ной азотной кислоте выделилось 9.78 л (25°C, 1 атм) смеси равных количеств двух газов (плотность газовой смеси 1.472 г/л). Определите массу растворенного магния. **(6 баллов)**

Решение:

Количество выделившегося газа $v_{\text{газа}} = P \cdot V / R \cdot T = 101.3 \cdot 9.78 / 8.314 \cdot 298 = 0.4$ моль.

Средняя молярная масса образовавшейся в реакции газовой смеси $M_{\text{ср}} = \rho \cdot R \cdot T / P = 1.472 \cdot 8.314 \cdot 298 / 101.3 = 36$ г/моль.

При растворении магния в 15%-ной азотной кислоте могут выделяться выделяться N₂ (M = 28 г/моль), N₂O (M = 44 г/моль), NO (M = 30 г/моль).

M_{ср} = 36 г/моль соответствует эквимольной смеси N₂ и N₂O.

Следовательно в реакции образовалось 0.2 моль N₂ и 0.2 моль N₂O.



1 моль 0.2 моль



0.8 моль 0.2 моль

$$m_{\text{Mg}} = 1.8 \cdot 24 = 43.2 \text{ г.}$$

Ответ: 43.2 г.

3.4. При растворении навески цинка в 20%-ной азотной кислоте выделилось 6.01 л (20°C, 1 атм) смеси равных количеств двух газов (плотность газовой смеси 1.539 г/л). Определите массу растворенного цинка. **(6 баллов)**

Решение:

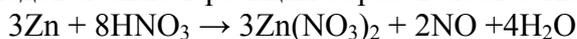
Количество выделившегося газа $v_{\text{газа}} = P \cdot V / R \cdot T = 101.3 \cdot 6.01 / 8.314 \cdot 293 = 0.25$ моль.

Средняя молярная масса образовавшейся в реакции газовой смеси $M_{\text{ср}} = \rho \cdot R \cdot T / P = 1.539 \cdot 8.314 \cdot 293 / 101.3 = 37$ г/моль.

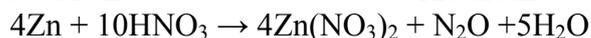
При растворении магния в 15%-ной азотной кислоте могут выделяться выделяться N_2 ($M = 28$ г/моль), N_2O ($M = 44$ г/моль), NO ($M = 30$ г/моль).

$M_{\text{ср}} = 37$ г/моль соответствует эквимольной смеси NO и N_2O .

Следовательно в реакции образовалось 0.125 моль N_2 и 0.125 моль N_2O .



0.1875 моль 0.125 моль



0.5 моль 0.125 моль

$M_{Zn} = 0.6875 \cdot 65 = 44.6875$ г.

Ответ: 44.6875 г.

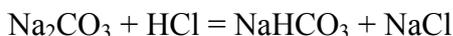
Задание №4

4.1. В 1000 мл 0.5 М раствора (плотность 1.05 г/мл) карбоната натрия растворили 4.48 л (н.у.) газообразного хлороводорода. Рассчитайте молярные концентрации солей в полученном растворе, считая, что объем раствора при растворении хлороводорода не меняется. Как изменится качественный состав и масса раствора после кратковременного нагревания до температуры кипения раствора? Напишите уравнения перечисленных реакций. **(8 баллов)**

Решение:

$n(Na_2CO_3) = cV = 0.5 \cdot 1 = 0.5$ моль

$n(HCl) = V/V_m = 4.48 / 22.4 = 0.2$ моль



После реакции:

$n(Na_2CO_3) = 0.5 - 0.2 = 0.3$ моль

$n(NaHCO_3) = 0.2$ моль

$n(NaCl) = 0.2$ моль

Т.к. объем раствора не меняется, то его объем 1 л.

$C(Na_2CO_3) = 0.3 / 1 = 0.3$ М

$C(NaHCO_3) = 0.2 / 1 = 0.2$ М

$C(NaCl) = 0.2 / 1 = 0.2$ М

При нагревании раствора протекает реакция:



В конечном растворе $n(Na_2CO_3) = 0.3 + 0.2 : 2 = 0.4$ моль

$C(Na_2CO_3) = 0.4 / 1 = 0.4$ М

$C(NaCl) = 0.2 / 1 = 0.2$ М

Масса конечного раствора:

$m(\text{р-ра } Na_2CO_3) + m(HCl) - m(CO_2) = 1000 \cdot 1.05 + 0.2 \cdot 36.5 - 0.1 \cdot 44 = 1052.9$ г

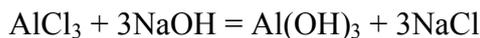
Ответ: $m(\text{р-ра } Na_2CO_3) = 1052.9$ г, $C(Na_2CO_3) = 0.3$ М, $C(NaHCO_3) = 0.2$ М, $C(NaCl) = 0.2$ М.

4.2. К 80 г 15%-ного раствора хлорида алюминия добавили 9.6 г гидроксида натрия. Рассчитайте необходимую массу 10 %-ного раствора серной кислоты, которую надо добавить, чтобы растворить выпавший осадок. Напишите уравнение реакции. Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе. **(8 баллов)**

Решение:

$$n(\text{AlCl}_3) = m(\text{AlCl}_3)/M(\text{AlCl}_3) = m(\text{p-ра}) \cdot w/M = 80 \cdot 0.15/133.5 = 0.09 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 9.6/40 = 0.24 \text{ моль}$$

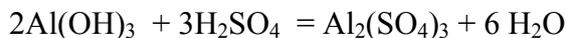


После протекания реакции :

$$n(\text{AlCl}_3) = 0.09 - 0.24/3 = 0.01 \text{ моль}$$

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0.24/3 = 0.08 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaCl}) = 0.24 \text{ моль}$$



$$n(\text{H}_2\text{SO}_4) = 1.5n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 1.5 \cdot 0.08 = 0.12 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{SO}_4) = nM = 0.12 \cdot 98 = 11.76 \text{ г}$$

$$m(\text{p-ра H}_2\text{SO}_4) = 11.76/0.1 = 117.6 \text{ г}$$

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{p-ра AlCl}_3) + m(\text{NaOH}) + m(\text{p-ра H}_2\text{SO}_4) = 80 + 9.6 + 117.6 = 207.2 \text{ г}$$

$$\omega(\text{AlCl}_3) = 0.01 \cdot 133.5/207.2 = 0.00644$$

$$\omega(\text{NaCl}) = 0.24 \cdot 58.5/207.2 = 0.0678$$

$$\omega(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0.04 \cdot 342/207.2 = 0.066$$

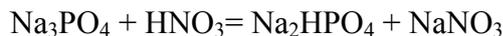
Ответ: $m(\text{p-ра H}_2\text{SO}_4) = 117.6 \text{ г}$, $\omega(\text{AlCl}_3) = 0.00644$, $\omega(\text{NaCl}) = 0.0678$, $\omega(\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3) = 0.066$.

4.3. К 500 г 10%-ного раствора ортофосфата натрия прибавили при перемешивании 31 мл 60%-ного раствора азотной кислоты (плотность 1.373 г/мл). Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе. Напишите уравнения соответствующих реакций. **(8 баллов)**

Решение:

$$n(\text{Na}_3\text{PO}_4) = m(\text{p-ра}) \cdot w/M = 500 \cdot 0.1/164 = 0.305 \text{ моль}$$

$$n(\text{HNO}_3) = V \cdot d \cdot w/M = 31 \cdot 1.373 \cdot 0.6/63 = 0.405 \text{ моль}$$

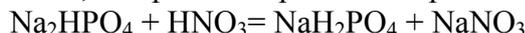


После протекания этой реакции $n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.305 \text{ моль}$

$$n(\text{NaNO}_3) = 0.305 \text{ моль}$$

$$n(\text{HNO}_3) = 0.405 - 0.305 = 0.1 \text{ моль}$$

Так как осталась кислота, то протекает реакция образования дигидрофосфата :



После протекания этой реакции $n(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.305 - 0.1 = 0.205 \text{ моль}$

$$n(\text{NaNO}_3) = 0.305 + 0.1 = 0.405 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.1 \text{ моль}$$

Масса конечного раствора

$$m(\text{p-ра}) = m(\text{p-ра Na}_3\text{PO}_4) + m(\text{p-ра HNO}_3) = 500 + 31 \cdot 1.373 = 542.56 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.205 \cdot 142/542.56 = 0.054$$

$$\omega(\text{NaNO}_3) = 0.405 \cdot 85/542.56 = 0.063$$

$$\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.1 \cdot 120/542.56 = 0.022$$

Ответ: $\omega(\text{Na}_2\text{HPO}_4) = 0.054$, $\omega(\text{NaNO}_3) = 0.063$, $\omega(\text{NaH}_2\text{PO}_4) = 0.022$.

4.4. Для приготовления раствора использовали 15 г алюмоаммониевых квасцов $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ и 150 г воды. К полученному раствору добавили 5.8 г гидроксида натрия и раствор нагрели. Рассчитайте массовые доли веществ в конечном растворе. **(8 баллов)**

Решение:

$$n((\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = m/M = 15/453 = 0.033 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH}) = m/M = 5.8/40 = 0.145 \text{ моль}$$



После протекания реакции

$$n(\text{NH}_3) = 0.033 \text{ моль}$$

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0.033 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.066 \text{ моль}$$

$$n(\text{NaOH}) = 0.145 - 0.033 \cdot 4 = 0.013 \text{ моль}$$

Протекает реакция



$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = 0.033 - 0.013 = 0.02 \text{ моль}$$

$$n(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0.013 \text{ моль}$$

$$m(\text{p-ра}) = 15 + 150 + 5.8 - 0.033 \cdot 17 - 0.02 \cdot 78 = 163.63 \text{ г}$$

$$\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.066 \cdot 142 / 163.63 = 0.057$$

$$\omega(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0.013 \cdot 118 / 163.63 = 0.009$$

Ответ: $\omega(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 0.057$, $\omega(\text{Na}[\text{Al}(\text{OH})_4]) = 0.009$

Задание №5

5.1. Старинный портрет с изображением М.В. Ломоносова был подвергнут радиоуглеродному анализу, по результатам которого оказалось, что содержание ^{14}C в холсте на 3.1 % меньше по сравнению с живыми растениями. Определите возраст картины. Мог ли это быть прижизненный портрет Ломоносова, если период полураспада ^{14}C составляет 5730 лет? **(10 баллов)**

Решение:

Реакции радиоактивного распада – реакции первого порядка.

$$C = C_0 e^{-kt}$$

отсюда $t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}$, где $C = (1 - 0.031)C_0 = 0.969C_0$

Найдем константу скорости. Период полураспада – время, при котором текущая концентрация равна половине от исходной

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{0.5C_0} = \frac{1}{k} \ln 2$$

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5730} = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ лет}^{-1}$$

Тогда

$$t = \frac{1}{1.21 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1}{0.969} = 260 \text{ лет.}$$

Год написания 2016 – 260 = 1756 г.

Это мог быть прижизненным портретом М.В. Ломоносова (1711-1765 гг.)

Ответ: 260 лет, изображение могло быть прижизненным портретом М.В. Ломоносова.

5.2. Тирольский ледяной человек, мумия, обнаруженная в леднике на севере Италии в 1991 г., идеально сохранилась. Это позволило провести множественные исследования артефакта, в том числе и радиоуглеродный анализ, показавший, что содержание ^{14}C в образце составляет 69% по сравнению с живыми организмами. Определите возраст мумии, если период полураспада ^{14}C составляет 5730 лет. **(10 баллов)**

Решение:

Реакции радиоактивного распада – реакции первого порядка.

$$C = C_0 e^{-kt}$$

отсюда $t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}$, где $C = 0.69C_0$

Найдем константу скорости. Период полураспада – время, при котором текущая концентрация равна половине от исходной

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{0.5C_0} = \frac{1}{k} \ln 2$$

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5730} = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ лет}^{-1},$$

Тогда

$$t = \frac{1}{1.21 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1}{0.69} = 3066 \text{ лет.}$$

Ответ: на момент проведения анализа 3066 лет

5.3. В 1988 г. было проведено исследование фрагментов Туринской плащаницы методом радиоуглеродного анализа, по результатам которого оказалось, что содержание ^{14}C в образце на 7% меньше по сравнению с живыми растениями. Определите возраст артефакта. Подтвердил ли анализ подлинность плащаницы, если период полураспада ^{14}C составляет 5730 лет? (10 баллов)

Решение:

Реакции радиоактивного распада – реакции первого порядка.

$$C = C_0 e^{-kt}$$

отсюда $t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}$, где $C = 0.93C_0$

Найдем константу скорости. Период полураспада – время, при котором текущая концентрация равна половине от исходной

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{0.5C_0} = \frac{1}{k} \ln 2$$

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5730} = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ лет}^{-1},$$

Тогда

$$t = \frac{1}{1.21 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1}{0.93} = 600 \text{ лет.}$$

Следовательно анализ не подтвердил подлинность.

Ответ: 600 лет, не подтвердил.

5.4. В 2000 году Германия вернула России мозаичную картину, являющуюся фрагментом янтарной комнаты. Для подтверждения подлинности картины было проведено исследование фрагментов деревянной рамы и мозаики методом радиоуглеродного анализа. Исследование показало, что содержание ^{14}C в деревянном образце составляет 97% по сравнению с живыми деревьями, а в янтарном фрагменте чувствительность метода не дала возможности обнаружить данный изотоп углерода. Какие можно сделать выводы на основании полученных данных, если период полураспада ^{14}C составляет 5730 лет? Подтвердил или опроверг анализ подлинность мозаики, подаренной Елизавете Петровне императрицей Марией Терезией? Ответ подтвердите расчетом. (10 баллов)

Решение:

Предельный возраст образца, который может быть точно определен радиоуглеродным методом анализа, составляет 60000 лет (приблизительно 10 периодов

полураспада ^{14}C). Янтарь – окаменевшая смола, которой девятки миллионов лет, поэтому чувствительность метода не дала возможности обнаружить данный изотоп углерода.

Реакции радиоактивного распада – реакции первого порядка.

$$C = C_0 e^{-kt}$$

отсюда $t = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{C}$, где $C = 0.97C_0$

Найдем константу скорости. Период полураспада – время, при котором текущая концентрация равна половине от исходной

$$t_{1/2} = \frac{1}{k} \ln \frac{C_0}{0.5C_0} = \frac{1}{k} \ln 2$$

$$k = \frac{\ln 2}{\tau_{1/2}} = \frac{\ln 2}{5730} = 1.21 \cdot 10^{-4} \text{ лет}^{-1},$$

Тогда

$$t = \frac{1}{1.21 \cdot 10^{-4}} \ln \frac{1}{0.97} = 250 \text{ лет.}$$

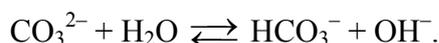
Ответ: 250 лет, год создания 1750, не опроверг.

Задание №6

6.1. Навеску кристаллогидрата карбоната натрия массой 50.00 г растворили в воде и объём раствора довели до 1.000 л. В полученном растворе $\text{pH} = 11.82$. Определите формулу кристаллогидрата. Константа диссоциации угольной кислоты по второй ступени: $K_a(\text{HCO}_3^-) = 4.8 \cdot 10^{-11}$. **(11 баллов)**

Решение:

В растворе происходит гидролиз карбоната (учитываем только первую ступень):



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[\text{HCO}_3^-] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{CO}_3^{2-}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C - [\text{OH}^-]},$$

где C – исходная концентрация карбонат-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[\text{OH}^-]$ – из pH .

$$K = \frac{K_w}{K_a(\text{HCO}_3^-)} = \frac{10^{-14}}{4.8 \cdot 10^{-11}} = 2.08 \cdot 10^{-4}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-2.18} = 6.607 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию карбоната в растворе:

$$C = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 0.216 \text{ М}$$

С учетом того, что объём раствора равен 1.000 л, $\nu(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0.216$ моль,

$M(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 50.00 / 0.216 = 232$ г/моль,

$x = 7$.

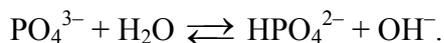
Ответ: $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

6.2. Навеску кристаллогидрата фосфата натрия массой 100.0 г растворили в воде и объём раствора довели до 2.000 л. В полученном растворе $\text{pH} = 12.77$. Определите формулу

кристаллогидрата. Константа диссоциации фосфорной кислоты по третьей ступени:
 $K_a(\text{HPO}_4^{2-}) = 2.08 \cdot 10^{-13}$. (11 баллов)

Решение:

В растворе происходит гидролиз фосфата (учитываем только первую ступень):



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[\text{HPO}_4^{2-}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{PO}_4^{3-}]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C - [\text{OH}^-]},$$

где C – исходная концентрация фосфат-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[\text{OH}^-]$ – из pH.

$$K = \frac{K_w}{K_a(\text{HPO}_4^{2-})} = \frac{10^{-14}}{2.08 \cdot 10^{-13}} = 4.81 \cdot 10^{-2}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-1.23} = 5.888 \cdot 10^{-2} \text{ М}$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию фосфата в растворе:

$$C = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 0.131 \text{ М}$$

$$v(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0.131 \cdot 2 = 0.262 \text{ моль},$$

$$M(\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 100.0 / 0.262 = 382 \text{ г/моль},$$

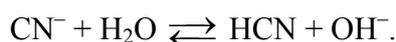
$$x = 12.$$

Ответ: $\text{Na}_3\text{PO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$.

6.3. Навеску кристаллогидрата цианида натрия массой 20.0 г растворили в воде и объём раствора довели до 500 мл. В полученном растворе $\text{pH} = 11.44$. Определите формулу кристаллогидрата. Константа диссоциации циановодородной кислоты:
 $K_a(\text{HCN}) = 6.17 \cdot 10^{-10}$. (11 баллов)

Решение:

В растворе происходит гидролиз цианида:



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[\text{HCN}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{CN}^-]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C - [\text{OH}^-]},$$

где C – исходная концентрация цианид-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[\text{OH}^-]$ – из pH.

$$K = \frac{K_w}{K_a(\text{HCN})} = \frac{10^{-14}}{6.17 \cdot 10^{-10}} = 1.62 \cdot 10^{-5}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{\text{pH}-14} = 10^{-2.56} = 2.754 \cdot 10^{-3} \text{ М}$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию цианида в растворе:

$$C = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 0.471 \text{ М}$$

$$v(\text{NaCN} \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 0.471 \cdot 0.5 = 0.2355 \text{ моль},$$

$$M(\text{NaCN} \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 20.00 / 0.2355 = 85 \text{ г/моль},$$

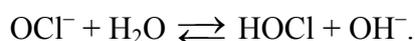
$$x = 2.$$

Ответ: $\text{NaCN} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

6.4. Навеску кристаллогидрата гипохлорита натрия массой 120.0 г растворили в воде и объём раствора довели до 300 мл. В полученном растворе $pH = 10.96$. Определите формулу кристаллогидрата. Константа диссоциации хлорноватистой кислоты: $K_a(\text{HOCl}) = 2.95 \cdot 10^{-8}$. **(11 баллов)**

Решение:

В растворе происходит гидролиз гипохлорита:



Константа равновесия гидролиза равна:

$$K = \frac{[\text{HOCl}] \cdot [\text{OH}^-]}{[\text{OCl}^-]} = \frac{[\text{OH}^-]^2}{C - [\text{OH}^-]},$$

где C – исходная концентрация гипохлорит-иона. Константу гидролиза найдем через константу диссоциации и ионное произведение воды, а $[\text{OH}^-]$ – из pH .

$$K = \frac{K_w}{K_a(\text{HOCl})} = \frac{10^{-14}}{2.95 \cdot 10^{-8}} = 3.39 \cdot 10^{-7}$$

$$[\text{OH}^-] = 10^{pH-14} = 10^{-3.04} = 9.12 \cdot 10^{-4} \text{ М}$$

С помощью этих величин рассчитаем молярную концентрацию гипохлорита в растворе:

$$C = \frac{[\text{OH}^-]^2}{K} + [\text{OH}^-] = 2.454 \text{ М}$$

$$v(\text{NaOCl} \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 2.454 \cdot 0.3 = 0.736 \text{ моль},$$

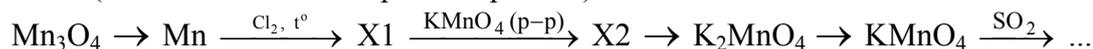
$$M(\text{NaOCl} \cdot x\text{H}_2\text{O}) = 120.0 / 0.736 = 163 \text{ г/моль},$$

$$x = 5.$$

Ответ: $\text{NaOCl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$.

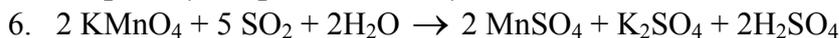
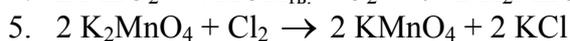
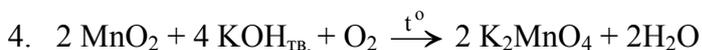
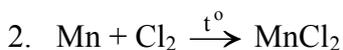
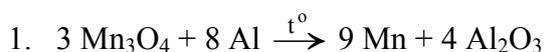
Задание №7

7.1. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат марганец).



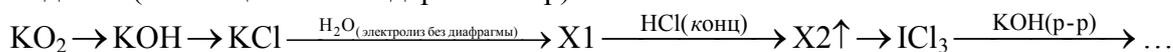
(12 баллов)

Решение:



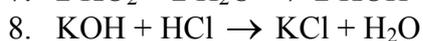
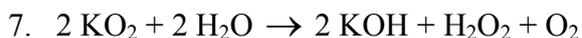
$X1 - \text{MnCl}_2, X2 - \text{MnO}_2$

7.2. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат хлор).



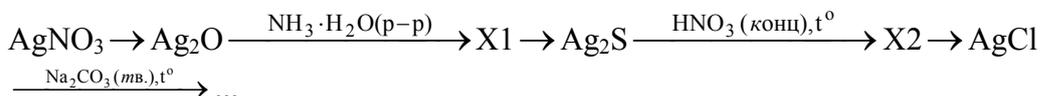
(12 баллов)

Решение:



9. $\text{KCl} + 3\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{(электролиз без диафрагмы)}} \text{KClO}_3 + 3\text{H}_2$
 10. $\text{KClO}_3 + 6\text{HCl}_{\text{конц.}} \rightarrow \text{KCl} + 3\text{Cl}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
 11. $3\text{Cl}_2 + \text{I}_2 \rightarrow 2\text{ICl}_3$
 12. $3\text{ICl}_3 + 12\text{KOH} \rightarrow 2\text{KIO}_3 + \text{KI} + 9\text{KCl} + 6\text{H}_2\text{O}$
 X1 - KClO_3 , X2 - Cl_2

7.3. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат серебро).

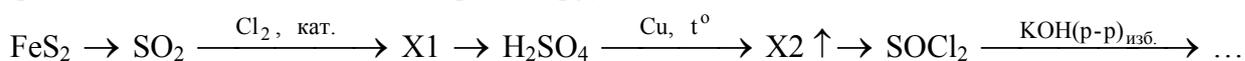


(12 баллов)

Решение:

- $2\text{AgNO}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O} + 2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Ag}_2\text{O} + 4\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}_{\text{p-p}} \rightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{H}_2\text{O}$
 - $2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2(\text{NH}_4)_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{Ag}_2\text{S} + 10\text{HNO}_{3\text{конц.}} \rightarrow 2\text{AgNO}_3 + 8\text{NO}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{AgNO}_3 + \text{NaCl}_{\text{p-p}} \rightarrow \text{AgCl} + \text{NaNO}_3$
 - $4\text{AgCl} + 2\text{Na}_2\text{CO}_{3\text{тв.}} \xrightarrow{t^\circ} 4\text{Ag} + 4\text{NaCl} + 2\text{CO}_2 + \text{O}_2$
- X1 - $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH}$, X2 - AgNO_3

7.4. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения (все вещества X содержат серу).



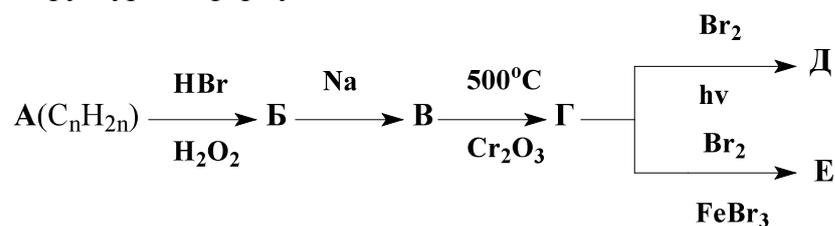
(12 баллов)

Решение:

- $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 8\text{SO}_2 + 2\text{Fe}_2\text{O}_3$
 - $\text{SO}_2 + \text{Cl}_2 \xrightarrow{\text{кат.}} \text{SO}_2\text{Cl}_2$
 - $\text{SO}_2\text{Cl}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{t^\circ} \text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{HCl}$
 - $2\text{H}_2\text{SO}_{4\text{конц.}} + \text{Cu} \xrightarrow{t^\circ} \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
 - $\text{SO}_2 + \text{PCl}_5 \rightarrow \text{POCl}_3 + \text{SOCl}_2$
 - $\text{SOCl}_2 + 4\text{KOH}_{\text{p-p, изб.}} \rightarrow \text{K}_2\text{SO}_3 + 2\text{KCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
- X1 - SO_2Cl_2 , X2 - SO_2

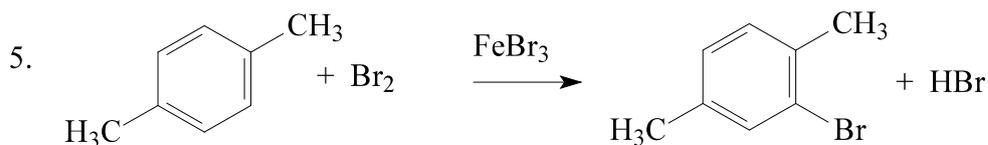
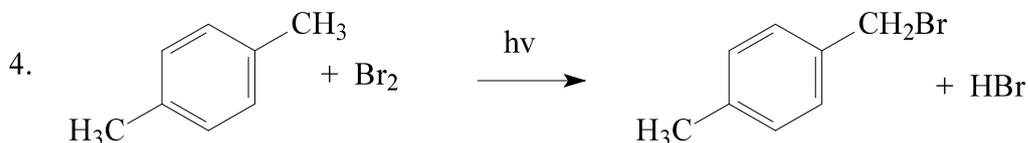
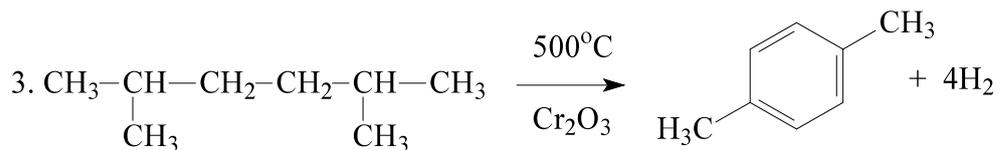
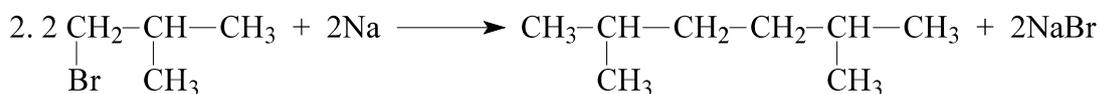
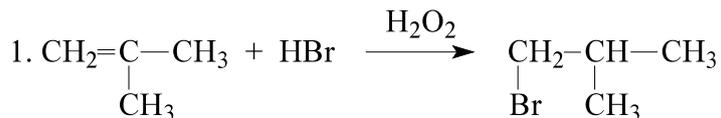
Задание №8

8.1. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что массовая доля водорода в соединении А больше массовой доли водорода в соединении Г на 4.84 %, а соединения Д и Е – изомеры с формулой $\text{C}_x\text{H}_y\text{Br}$. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

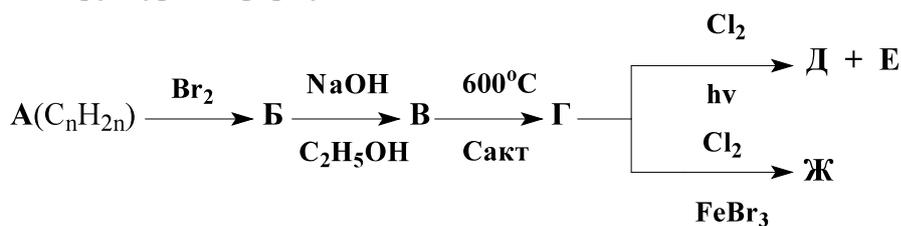


(12 баллов)

Решение:

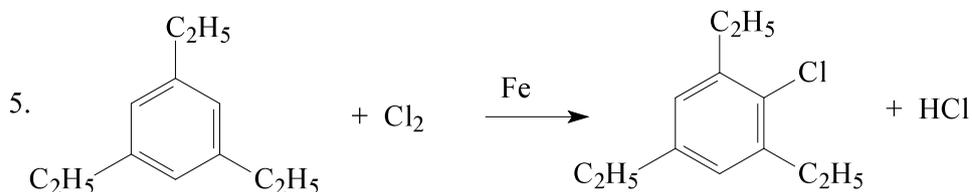
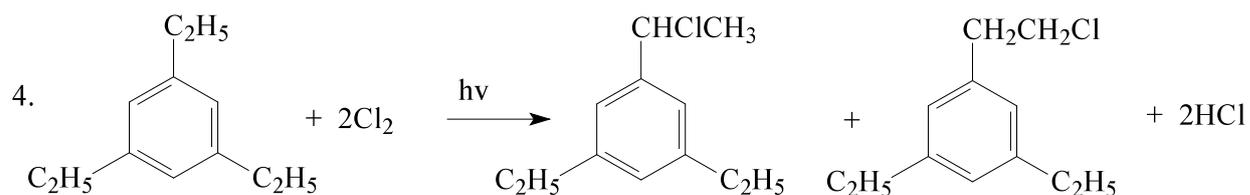
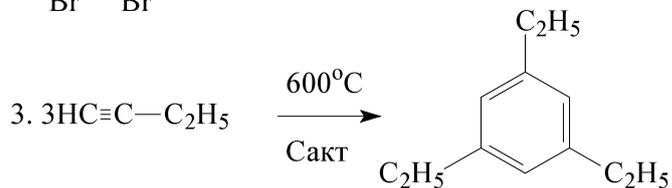
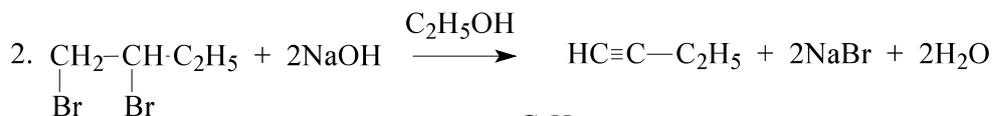
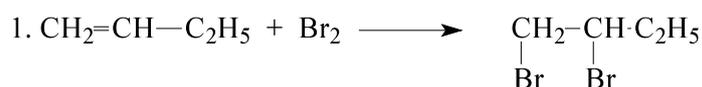


8.2. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что массовая доля водорода в соединении А больше массовой доли водорода в соединении Г на 3.18 %, а соединения Д, Е и Ж – изомеры с формулой $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}$. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

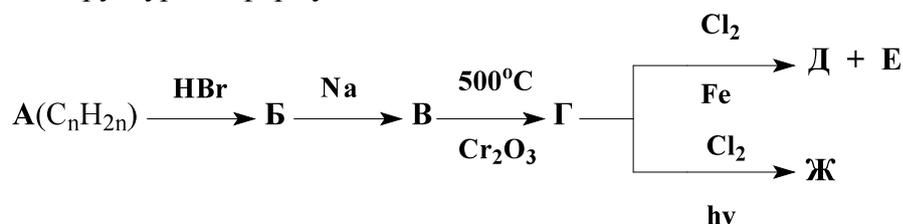


(12 баллов)

Решение:

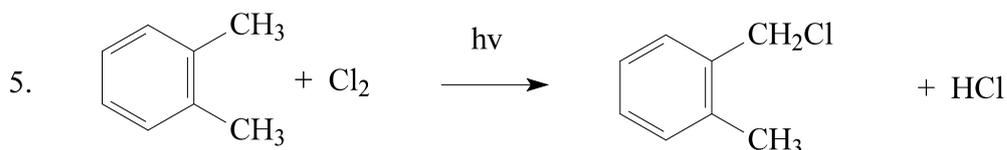
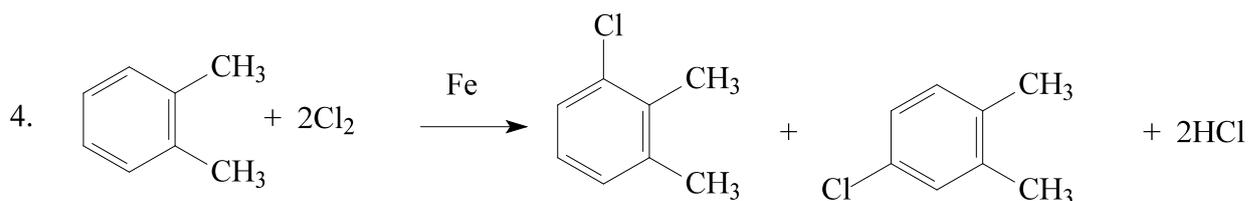
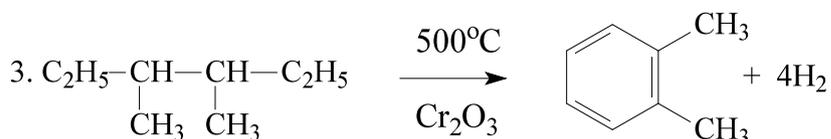
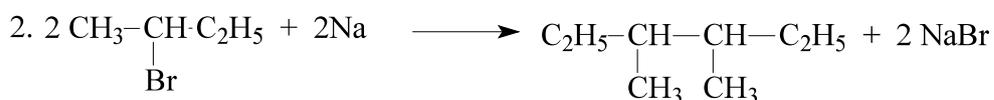


8.3. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что массовая доля водорода в соединении А больше массовой доли водорода в соединении Г на 4.84 %, а соединения Д, Е и Ж – изомеры с формулой $\text{C}_x\text{H}_y\text{Cl}$. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

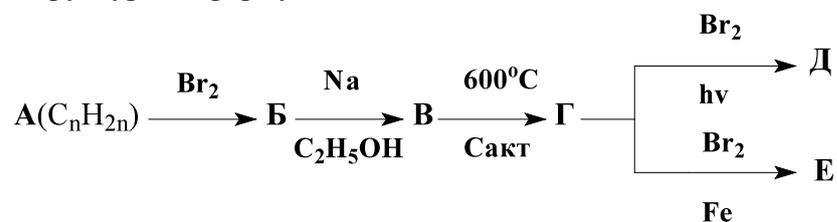


(12 баллов)

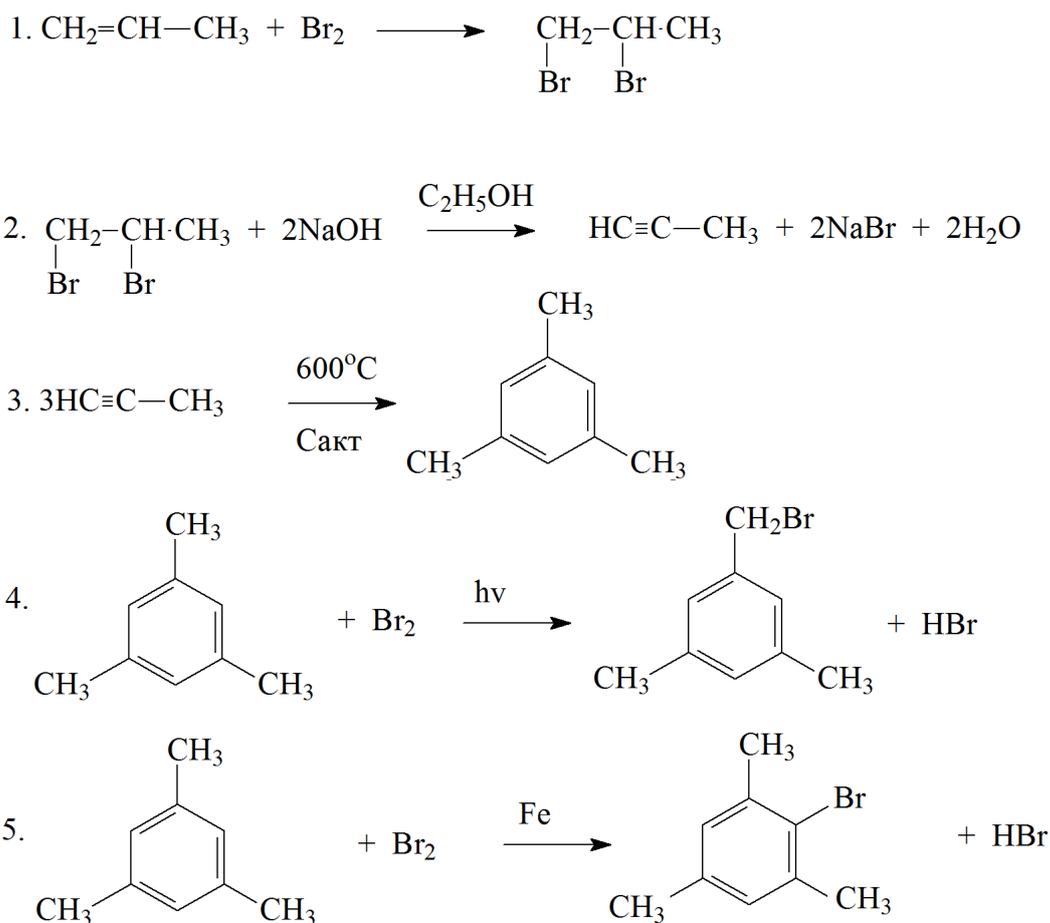
Решение:



8.4. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что массовая доля водорода в соединении А больше массовой доли водорода в соединении Г на 4.29 %, а соединения Д и Е – изомеры с формулой $\text{C}_x\text{H}_y\text{Br}$. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.



Решение:

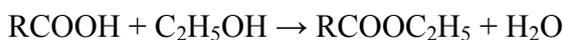


(12 баллов)

Задание №9

9.1. Для полной этерификации смеси двух алифатических одноосновных карбоновых кислот массой 25.2 г, различающихся по составу только на один атом углерода, потребовалось 18.4 г этанола. Установите строение этих кислот и их массовые доли в исходной смеси. (15 баллов)

Решение:



Количество этанола, вступившего в реакцию $\nu = 18.4/46 = 0.4$ моль.

Если формула одной из кислот $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, то формула второй кислоты $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

$$\begin{cases} x + y = 0.4 \\ (14n + 32)x + (14n + 44)y = 25.2 \end{cases}$$

Отсюда:

$$\begin{cases} x + y = 0.4 \\ 5.6n - 12x = 7.2 \end{cases}$$

При $x = 0$ $n = 7.6/5.6 = 1.36$. При $x = 0.4$ $n = 12.4/5.6 = 2.2$. n – целое число. $n = 2$.

Тогда одна из кислот имеет формулу $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ - уксусная кислота CH_3COOH . Формула второй кислоты $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_2$ - акриловая кислота $\text{CH}_2=\text{CHCOOH}$.

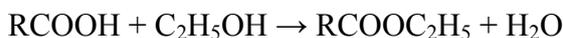
$$\begin{cases} x + y = 0.4 \\ 60x + 72y = 25.2 \\ x = 0.3, y = 0.1 \end{cases}$$

$m_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 0.3 \cdot 60 = 18 \text{ г.}$ $\omega_{\text{CH}_3\text{COOH}} = (18/25.2)100\% = 71.43\%$. $\omega_{\text{CH}_2=\text{CHCOOH}} = 28.57\%$.

Ответ: $\omega_{\text{CH}_3\text{COOH}} = 71.43\%$, $\omega_{\text{CH}_2=\text{CHCOOH}} = 28.57\%$.

9.2 Для полной этерификации смеси двух алифатических спиртов массой 25.4 г, различающихся по составу только на один атом углерода, потребовалось 30 г уксусной кислоты. Установите строение этих спиртов и их массовые доли в исходной смеси. (15 баллов)

Решение:



Количество уксусной кислоты, вступившей в реакцию $\nu = 30/60 = 0.5$ моль.

Если формула одного из спиртов $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}\text{O}$, то формула второй кислоты $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n+2}\text{O}$.

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ (14n + 18)x + (14n + 30)y = 25.4 \end{cases}$$

Отсюда:

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ 7n - 12x = 10.4 \end{cases}$$

При $x = 0$ $n = 10.4/7 = 1.49$. При $x = 0.5$ $n = 16.4/7 = 2.34$. n – целое число. $n = 2$.

Тогда один из спиртов имеет формулу $\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$ – этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$. Формула второго спирта

$\text{C}_3\text{H}_8\text{O}$ – аллиловый спирт $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2\text{OH}$.

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ 46x + 58y = 25.4 \end{cases}$$

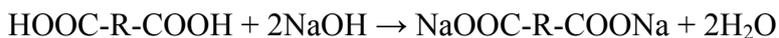
$x = 0.3$, $y = 0.2$

$m_{\text{C}_5\text{H}_5\text{OH}} = 0.3 \cdot 46 = 13.8 \text{ г.}$ $\omega_{\text{C}_5\text{H}_5\text{OH}} = (13.8/25.4)100\% = 54.33\%$. $\omega_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}} = 45.67\%$.

Ответ: $\omega_{\text{C}_5\text{H}_5\text{OH}} = 54.33\%$, $\omega_{\text{CH}_2=\text{CHCH}_2\text{OH}} = 45.67\%$.

9.3. Для полной нейтрализации смеси двух алифатических двухосновных карбоновых кислот массой 53.2 г, различающихся по составу только на один атом углерода, потребовалось 200 г 20%-ного раствора гидроксида натрия. Установите строение этих кислот и их массовые доли в исходной смеси. (15 баллов)

Решение:



Количество гидроксида натрия, вступившего в реакцию $\nu = 200 \cdot 0.2/40 = 1$ моль.

Следовательно суммарное количество двухосновных кислот – 0.5 моль

Если формула одной из кислот $\text{C}_n\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$, то формула второй кислоты $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n-2}\text{O}_4$.

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ (14n + 62)x + (14n + 74)y = 53.2 \end{cases}$$

Отсюда:

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ 7n - 12x = 15.2 \end{cases}$$

При $x = 0$ $n = 15.2/7 = 2.17$. При $x = 0.5$ $n = 21.2/7 = 3.03$. n – целое число. $n = 3$.

Тогда одна из кислот имеет формулу $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_4$ – малоновая кислота $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COON}$.

Формула второй кислоты $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4$ – бутеновая (фумаровая или малеиновая) кислота $\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COON}$.

$$\begin{cases} x + y = 0.5 \\ 104x + 116y = 53.2 \end{cases}$$

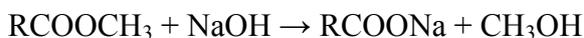
$x = 0.4$, $y = 0.1$

$m_{\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COON}} = 0.4 \cdot 104 = 41.6 \text{ г.}$ $\omega_{\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COON}} = (41.6/53.2)100\% = 78.2\%$. $\omega_{\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COON}} = 21.8\%$.

Ответ: $\omega_{\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{COON}} = 78.2\%$, $\omega_{\text{HOOC}-\text{CH}=\text{CH}-\text{COON}} = 21.8\%$.

9.4. Для полного гидролиза смеси двух метиловых эфиров алифатических одноосновных карбоновых кислот массой 24.6 г, различающихся по составу только на один атом углерода, потребовалось 48 г 25%-ного раствора гидроксида натрия. Установите строение этих эфиров и их массовые доли в исходной смеси. **(15 баллов)**

Решение:



Количество гидроксида натрия, вступившего в реакцию $\nu = 48 \cdot 0.25 / 40 = 0.3$ моль. Если формула одного из эфиров $\text{C}_n\text{H}_{2n}\text{O}_2$, то формула второго эфира $\text{C}_{n+1}\text{H}_{2n}\text{O}_2$.

$$\begin{cases} x + y = 0.3 \\ (14n + 32)x + (14n + 44)y = 24.6 \end{cases}$$

Отсюда:

$$\begin{cases} x + y = 0.3 \\ 4.2n - 12x = 11.4 \end{cases}$$

При $x = 0$ $n = 11.4 / 4.2 = 2.71$. При $x = 0.3$ $n = 15 / 4.2 = 3.57$. n – целое число. $n = 3$.

Тогда один из эфиров имеет формулу $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2$ – метилацетат $\text{CH}_3\text{COOCH}_3$. Формула второго эфира $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2$ – метилакрилат $\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_3$.

$$\begin{cases} x + y = 0.3 \\ 74x + 84y = 24.6 \end{cases}$$

$$x = 0.1, y = 0.2$$

$$m_{\text{CH}_3\text{COOCH}_3} = 0.1 \cdot 74 = 7.4 \text{ г. } \omega_{\text{CH}_3\text{COOCH}_3} = (7.4 / 24.6) 100\% = 31.3\%. \omega_{\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_3} = 68.7\%.$$

Ответ: $\omega_{\text{CH}_3\text{COOCH}_3} = 31.3\%$, $\omega_{\text{CH}_2=\text{CHCOOCH}_3} = 68.7\%$.

Задание №10

10.1. Нагревание перманганата калия экспериментатор проводил не очень внимательно и допустил изменения в температуре, что привело к тому, что при разложении 20.000 г перманганата калия произошло образование не только манганата(VI), но и манганата(V) калия (в результате дальнейшего частичного разложения манганата(VI) до манганата(V) калия). Потеря массы при этом составила 2.500 г. Напишите уравнения всех протекающих реакций, а также рассчитайте объем хлора (н.у.), который может быть получен при взаимодействии полученного твердого остатка с концентрированной соляной кислотой. **(15 баллов)**

Решение:



Потеря массы – это масса образовавшегося кислорода.

$$n(\text{O}_2) = m(\text{O}_2) / M(\text{O}_2) = 2.5 / 32 = 0.078 \text{ моль}$$

$$n(\text{KMnO}_4) = m(\text{KMnO}_4) / M(\text{KMnO}_4) = 20 / 158 = 0.127 \text{ моль}$$

Если бы прошла только первая реакция, то количество кислорода было бы $0.127 / 2 = 0.064$ моль.

В нашем случае образовалось дополнительно $0.078 - 0.064 = 0.014$ моль кислорода.

Таким образом, количество оставшегося манганата(VI) $0.064 - 0.014 \cdot 3 = 0.022$ моль

Количество манганата(V) $2 \cdot 0.014 = 0.028$ моль

Количество оксида марганца(IV) $0.064 + 0.014 = 0.078$ моль



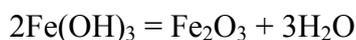
$$n(\text{Cl}_2) = 2n(\text{K}_2\text{MnO}_4) + 1.5n(\text{K}_3\text{MnO}_4) + n(\text{MnO}_2) = 2 \cdot 0.022 + 1.5 \cdot 0.028 + 0.078 = 0.164 \text{ моль}$$

$$V(\text{Cl}_2) = n \cdot V_m = 0.164 \cdot 22.4 = 3.674 \text{ л}$$

Ответ: 3.674 л

10.2. При разложении гидроксида железа (III) массой 40.000 г прошла реакция не только разложения, но из-за несоблюдения температурного режима частично образовался оксид железа(II,III). Потеря массы при термическом разложении составила 10.600 г. Напишите уравнения всех протекающих реакций, а также рассчитайте объем оксида азота(II) (н.у.), который может быть получен при взаимодействии полученного твердого остатка с разбавленной азотной кислотой. **(15 баллов)**

Решение:



$$n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = m(\text{Fe}(\text{OH})_3)/M(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 40/107 = 0.374 \text{ моль}$$

Потеря массы – это масса кислорода и воды.

$$n(\text{H}_2\text{O}) = 1.5n(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 1.5 \cdot 0.374 = 0.561 \text{ моль}$$

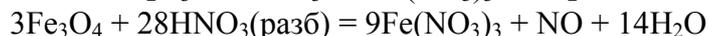
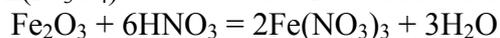
$$m(\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0.561 \cdot 18 = 10.098 \text{ г}$$

$$m(\text{O}_2) = 10.6 - 10.098 = 0.502 \text{ г}$$

$$n(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2) = 0.502/32 = 0.016 \text{ моль}$$

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 4n(\text{O}_2) = 4 \cdot 0.016 = 0.064 \text{ моль}$$

$$n(\text{Fe}_2\text{O}_3) = 0.5 \cdot n(\text{Fe}(\text{OH})_3) - 1.5 \cdot n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0.5 \cdot 0.374 - 1.5 \cdot 0.064 = 0.091 \text{ моль}$$



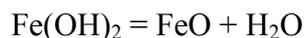
$$n(\text{NO}) = n(\text{Fe}_3\text{O}_4)/3 = 0.064/3 = 0.021 \text{ моль}$$

$$V(\text{NO}) = n \cdot V_m = 0.021 \cdot 22.4 = 0.4704 = 0.470 \text{ л}$$

Ответ: 0.470 л.

10.3. При разложении гидроксида железа (II) массой 50.000 г из-за плохой изоляции от кислорода воздуха прошла реакция не только разложения, но и образования оксида железа(II,III). Суммарная потеря массы при нагревании составила 9.000 г. Напишите уравнения всех протекающих реакций, а также рассчитайте массу осадка, который может быть получен при взаимодействии полученного твердого остатка с подкисленным серной кислотой раствором иодида калия. **(15 баллов)**

Решение:



Потеря массы – за счет воды масса уменьшается, кислород же массу увеличивает.

$$n(\text{Fe}(\text{OH})_2) = m(\text{Fe}(\text{OH})_2)/M(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 50/90 = 0.556 \text{ моль}$$

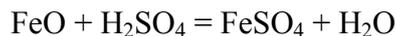
$$n(\text{H}_2\text{O}) = n(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 0.556 \text{ моль}$$

$$m(\text{H}_2\text{O}) = n \cdot M = 0.556 \cdot 18 = 10.008 \text{ г}$$

Чтобы суммарная потеря массы составила 9 г, масса прореагировавшего кислорода должна быть равна $10.008 - 9 = 1.008 \text{ г}$

$$n(\text{O}_2) = m(\text{O}_2)/M(\text{O}_2) = 1.008/32 = 0.032 \text{ моль}$$

$$n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 2n(\text{O}_2) = 2 \cdot 0.032 = 0.064 \text{ моль}$$



$$n(\text{I}_2) = n(\text{Fe}_3\text{O}_4) = 0.064 \text{ моль}$$

$$m(\text{I}_2) = nM = 0.064 \cdot 254 = 16.256 \text{ г}$$

Ответ: 16.256 г.

10.4. Нагревание нитрата меди (II) экспериментатор проводил не очень внимательно и допустил изменения в температуре, что привело к тому, что при разложении 60.000 г соли произошло образование смеси двух оксидов меди. Потеря массы при этом составила 35.500 г. Напишите уравнения всех протекающих реакций, а также рассчитайте массу

осадка, который выделится при взаимодействии полученного твердого остатка с раствором иодоводородной кислоты. (15 баллов)

Решение:



$$n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = m(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) / M(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 60 / 188 = 0.319 \text{ моль}$$

Потеря массы – это масса диоксида азота и кислорода, выделяющегося по 1 и 2 реакциям.

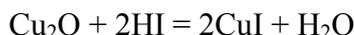
$$n(\text{NO}_2) = 2n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 2 \cdot 0.319 = 0.638 \text{ моль}$$

$$n(\text{O}_2 \text{ 1p}) = 0.5n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) = 0.5 \cdot 0.319 = 0.160 \text{ моль}$$

$$m(\text{NO}_2 + \text{O}_2 \text{ 1p}) = 0.638 \cdot 46 + 0.160 \cdot 32 = 34.468 \text{ г}$$

$$m(\text{O}_2 \text{ 2p}) = 35.5 - 34.468 = 1.032 \text{ г}$$

$$n(\text{O}_2 \text{ 2p}) = 1.032 / 32 = 0.032 \text{ моль}$$



$$n(\text{Cu}_2\text{O}) = 2n(\text{O}_2 \text{ 2p}) = 2 \cdot 0.032 = 0.064 \text{ моль}$$

$$n(\text{CuO}) = n(\text{Cu}(\text{NO}_3)_2) - 2n(\text{Cu}_2\text{O}) = 0.319 - 2 \cdot 0.064 = 0.303 \text{ моль}$$

$$n(\text{CuI}) = n(\text{CuO}) + 2n(\text{Cu}_2\text{O}) = 0.303 + 2 \cdot 0.064 = 0.431 \text{ моль}$$

$$n(\text{I}_2) = 0.5 \cdot n(\text{CuO}) = 0.303 \cdot 0.5 = 0.152 \text{ моль}$$

$$m(\text{осадка}) = m(\text{CuI}) + m(\text{I}_2) = 0.431 \cdot 191 + 0.152 \cdot 254 = 120.929 \text{ г}$$

Ответ: 120.929 г.

Отборочный тур, 5-9 классы

1. Напишите по одному уравнению реакций с участием кислорода, в результате которых:

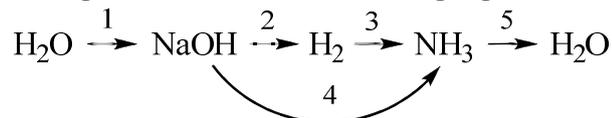
- общий объем газов не изменяется;
- объем газов уменьшается в 1,5 раза;
- объем газов уменьшается в 3 раза;
- объем газов увеличивается.

Объемы реагентов и продуктов измерены при нормальных условиях (0 °С, 1 атм).

2. Приведите 6 химических элементов, названия которых связаны с Россией. Кратко объясните происхождение названия каждого элемента. Какие из этих элементов существуют в природе?

3. В атоме некоторого элемента число электронов на внешнем уровне в 5 раз меньше общего числа внутренних электронов. Определите атомный номер элемента.

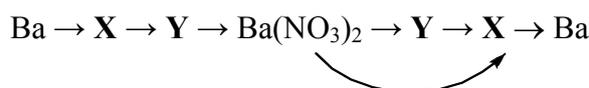
4. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



5. Соединения **A** и **B** содержат по два элемента, один из которых – водород. **A** – газ, **B** – твердое вещество. Массовая доля водорода в этих соединениях – одна и та же. Установите формулы **A** и **B**. Чему равна массовая доля водорода? Как получить водород из этих соединений?

6. Расположите молекулы O_2 , O_3 , H_2O_2 в ряд по увеличению длины связи между атомами кислорода. Объясните ваш выбор.
7. Найдите коэффициенты в уравнении окислительно-восстановительной реакции:

$$K_4[Fe(C_2O_4)_3] + KMnO_4 + H_2SO_4 \rightarrow CO_2 + \dots$$
8. Для получения водорода конверсией метана равные объемы метана и паров воды смешали в замкнутом сосуде и нагрели до $900^\circ C$ в присутствии катализатора. Реакция конверсии прошла с выходом 50%. Найдите объемную долю водорода в полученной смеси.
9. Дана схема превращений, характеризующая генетическую связь соединений бария:

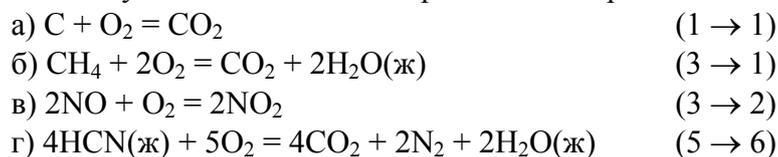


Вещества **X** и **Y** содержат, кроме бария, еще один общий элемент. Определите вещества **X** и **Y** и напишите уравнения реакций. (Электролиз не используйте)

10. При сжигании металла **A** в кислороде был получен чёрный порошок **B**, который при растворении в разбавленной серной кислоте образует смесь двух солей **B** и **Г**, а при растворении в концентрированной серной кислоте – только одну соль **Г**. Соль **Г** может быть превращена в соль **B** действием иодоводородной или сероводородной кислоты. Определите неизвестные вещества и напишите уравнения всех реакций.

Ответы и указания

1. В каждом случае есть несколько правильных вариантов. Возможные ответы:



2. Рутений, самарий, менделевий, дубний, флеровий, московий (оганесон). В природе есть первые два элемента.

3. Число внутренних электронов делится на 5. Это возможно, если заполнены два первых энергетических уровня: $2 + 8 = 10$ электронов. И еще $10/5 = 2$ электрона на внешнем уровне. Всего – 12 электронов. Атомный номер равен 12.

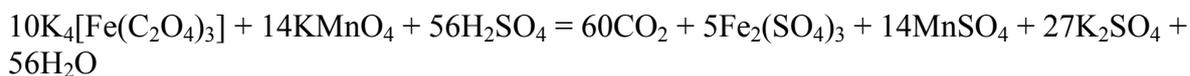
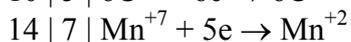
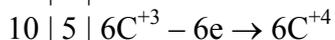
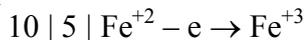
- 4.
- 1) $H_2O + NaH = NaOH + H_2\uparrow$
 - 2) $2NaOH + Si + H_2O = Na_2SiO_3 + 2H_2\uparrow$
 - 3) $3H_2 + N_2 = 2NH_3$
 - 4) $NaOH + NH_4Cl \rightarrow NH_3\uparrow + NaCl + H_2O$
 - 5) $4NH_3 + 3O_2 = 2N_2 + 6H_2O$

5. **A** – SiH_4 , **B** – LiH . Массовая доля водорода: $\omega(H) = 4 / 32 = 1 / 8 = 0,125 = 12,5\%$.
 $SiH_4 = Si + 2H_2\uparrow$ (нагревание)
 $LiH + H_2O = LiOH + H_2\uparrow$.

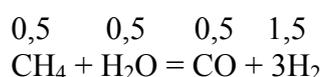
6. В молекуле O_2 связь – двойная, в O_3 – промежуточная между одинарной и двойной, в H_2O_2 – одинарная. Чем больше кратность связи, тем связь короче. Таким образом, длина связи увеличивается в ряду: O_2 (0,121 нм) < O_3 (0,128 нм) < H_2O_2 (0,148 нм).

7. Степени окисления элементов-восстановителей в комплексной соли: Fe^{+2} , C^{+3} .

Электронный баланс:

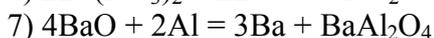
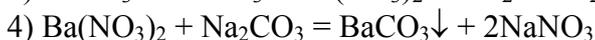


8. Возьмем по одному молю CH_4 и H_2O . В реакцию конверсии метана вступит по 0,5 моль:



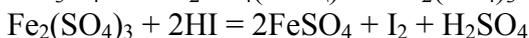
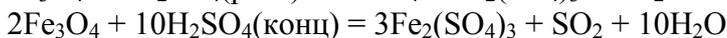
В конечной смеси содержится: по 0,5 моль CH_4 , H_2O , CO и 1,5 моля H_2 . Объемная доля водорода: $\varphi(H_2) = 1,5 / 3 = 0,5 = 50\%$.

9. **X** – BaO , **Y** – $BaCO_3$. Уравнения реакций:



(принимается и упрощенный вариант реакции: $3BaO + 2Al = 3Ba + Al_2O_3$)

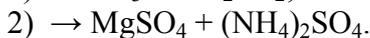
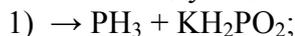
10. **A** – Fe , **Б** – Fe_3O_4 , **В** – $FeSO_4$, **Г** – $Fe_2(SO_4)_3$. Уравнения реакций:



ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЙ ТУР, 10-11 КЛАССЫ

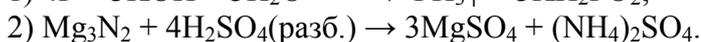
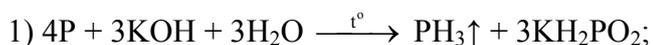
Вариант 1

1. Какие вещества вступили в реакцию и при каких условиях, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без коэффициентов):



Напишите уравнения реакций. (4 балла)

Решение:



2. Какую массу квасцов $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ необходимо добавить к 300 г 5%-ного раствора сульфата аммония, чтобы массовая доля $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ увеличилась в полтора раза? (6 баллов)

Решение. Масса сульфата аммония в исходном растворе равна

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega = 300 \cdot 0.05 = 15 \text{ (г)}.$$

Добавим к этому раствору x моль $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Масса квасцов составляет

$$m(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = M \cdot \nu = 453x,$$

и в этой порции содержится $0.5x$ моль сульфата аммония. Тогда масса сульфата аммония в растворе увеличится и станет равной

$$m((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 15 + 0.5x \cdot 132 = 15 + 66x,$$

а масса раствора станет равна

$$m(\text{р-ра}) = 300 + 453x.$$

По условию, массовая доля $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ в конечном растворе должна составить 7.5%:

$$\omega((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = \frac{15 + 66x}{300 + 453x} = 0.075,$$

отсюда $x = 0.234$ моль. Масса квасцов равна

$$m(\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = M \cdot \nu = 453 \cdot 0.234 = 106 \text{ г}.$$

Ответ: 106 г.

3. При понижении температуры на 20 градусов скорость некоторой реакции уменьшилась в 16 раз. На сколько градусов надо изменить температуру, чтобы скорость реакции понизилась в 25 раз? (8 баллов)

Решение. Воспользуемся правилом Вант-Гоффа:

$$\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}},$$

$$\frac{1}{16} = \gamma^{\frac{-20}{10}} = \frac{1}{\gamma^2}, \text{ получаем } \gamma = \sqrt{16} = 4.$$

Зная температурный коэффициент скорости реакции, можем определить, на сколько градусов нужно понизить температуру для уменьшения скорости в 25 раз:

$$\frac{1}{25} = 4^{\frac{x}{10}}.$$

Прологарифмируем обе части уравнения:

$$\lg \frac{1}{25} = \frac{x}{10} \cdot \lg 4,$$

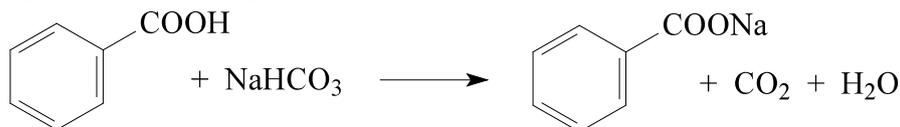
$$-1.398 = \frac{x}{10} \cdot 0.602,$$

$$x = -23.2.$$

Ответ: надо понизить температуру на 23.2 градуса.

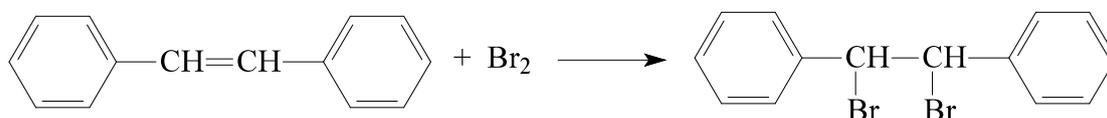
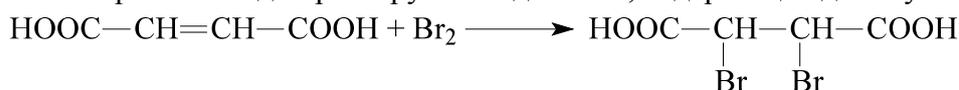
4. В трёх пробирках находятся три твёрдых белых вещества: бензойная кислота, фумаровая (бутендиовая) кислота и *транс*-1,2-дифенилэтилен. Предложите способы обнаружения данных соединений, используя только водный раствор гидрокарбоната натрия и бромную воду. Напишите уравнения протекающих реакций. (8 баллов)

Решение. Приведем уравнения протекающих реакций. В реакцию с гидрокарбонатом натрия вступают карбоновые кислоты:



Эти реакции сопровождаются выделением пузырьков бесцветного газа без запаха (CO_2).

С бромной водой реагируют соединения, содержащие двойную связь:

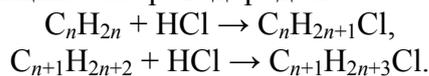


В результате протекания этих реакций бромная вода обесцвечивается.

Соединение, вступающее в реакцию и с гидрокарбонатом натрия, и с бромной водой, – это бутендиовая кислота. Бензойная кислота реагирует только с NaHCO_3 , а дифенилэтилен – только с бромной водой.

5. При взаимодействии смеси алкена и его ближайшего гомолога общей массой 1.4 г с точно рассчитанным объёмом газообразного хлороводорода объёмом 739 мл, измеренного при нормальном давлении и 27°C , образовалось два хлоралкана. Определите количественный состав исходной смеси и строение исходных алкенов, если известно, что один из них образует третичный хлорид. Напишите уравнения протекающих реакций. (10 баллов)

Решение. Уравнения реакций с хлороводородом:



Количество хлороводорода, израсходованного в двух этих реакциях:

$$v(\text{HCl}) = \frac{pV}{RT} = \frac{101.3 \cdot 0.739}{8.314 \cdot 300} = 0.03 \text{ моль.}$$

Пусть первого алкена было x моль, а второго – y моль, тогда:

$$\begin{cases} x + y = 0.03, \\ 14nx + (14n + 14) \cdot y = 1.4. \end{cases}$$

Систему из двух уравнений с тремя неизвестными решить нельзя. Однако из первого уравнения можно составить неравенство (определить область допустимых значений x):

$$0 < x < 0.03$$

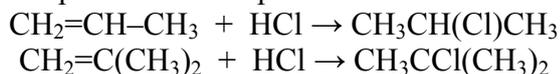
и подставить его в выражение для n из второго уравнения

$$n = (14x + 0.98) / 0.42,$$

откуда

$$2.33 < n < 3.33.$$

Поскольку n – натуральное число, единственное решение $n = 3$. Следовательно, первый алкен – пропен, а второй – 2-метилпропен.



Подставляя полученное значение n , получаем:

$$\begin{aligned}x + y &= 0.03, \\42x + 56y &= 1.4,\end{aligned}$$

откуда $x = 0.02$ а $y = 0.01$ (моль), следовательно, в исходной смеси было 0.02 моль пропена и 0.01 моль 2-метилпропена.

6. Электрический ток пропустили через два последовательно соединенных электролизера с децимолярными ($c = 0.1$ моль/л) водными растворами сульфата меди (II) и ацетата серебра (анодные и катодные пространства и сами электролизеры разделены диафрагмами, объем раствора в каждом электролизере составляет 1 л), при этом на катоде второго электролизера выделилось 2.16 г металла. Определите массы продуктов, выделившихся на каждом электроде. **(12 баллов)**

Решение:

При прохождении электрического тока в обоих электролизерах одновременно протекают следующие процессы. В первом электролизере:



Во втором электролизере:



Количества веществ, образующихся на каждом из электродов, описываются обобщенным законом Фарадея

$$m = \frac{M}{nF} \cdot I \cdot t,$$

где m – масса вещества, выделившегося на электроде (г), M – молярная (или атомарная) масса вещества (г/моль), n – количество электронов, отдаваемых на аноде (или принимаемых на катоде), I – сила тока (А), t – продолжительность электролиза (с), F – константа Фарадея, равная 96500 Кл/моль.

На катоде первого электролизера:

$$m(\text{Cu}) = \frac{64}{2F} \cdot I \cdot t, \quad \text{отсюда} \quad \frac{I \cdot t}{F} = \frac{m(\text{Cu})}{32}$$

На катоде второго электролизера:

$$m(\text{Ag}) = \frac{108}{1 \cdot F} \cdot I \cdot t = 2.16, \quad \text{отсюда} \quad \frac{I \cdot t}{F} = 0.02$$

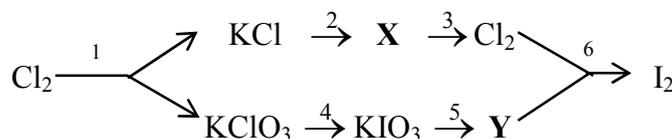
Тогда
$$\frac{I \cdot t}{F} = \frac{m(\text{Cu})}{32} = 0.02, \quad m(\text{Cu}) = 0.64 \text{ г (0.01 моль)}.$$

Следовательно, на аноде первого электролизера выделилось 0.005 моль O_2 , тогда $m(\text{O}_2) = 0.005 \cdot 32 = 0.16 \text{ г}.$

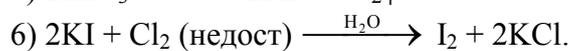
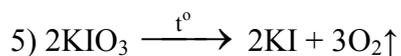
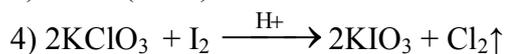
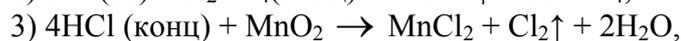
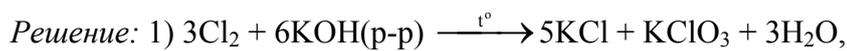
На аноде второго электролизера выделились 0.01 моль C_2H_6 ($m(\text{C}_2\text{H}_6) = 0.01 \cdot 30 = 0.3 \text{ г}$) и 0.02 моль CO_2 ($m(\text{CO}_2) = 0.02 \cdot 44 = 0.88 \text{ г}$)

Ответ: первый электролизер – на катоде 0.64 г Cu, на аноде – 0.16 г O_2 ; второй – на катоде 2.16 г Ag, на аноде – 0.3 г C_2H_6 и 0.88 г CO_2 .

7. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения.

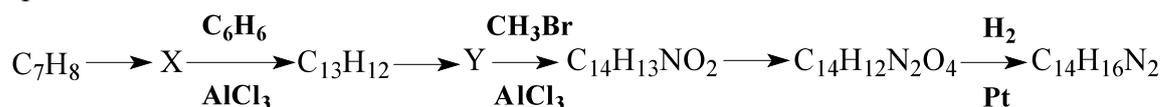


(12 баллов)



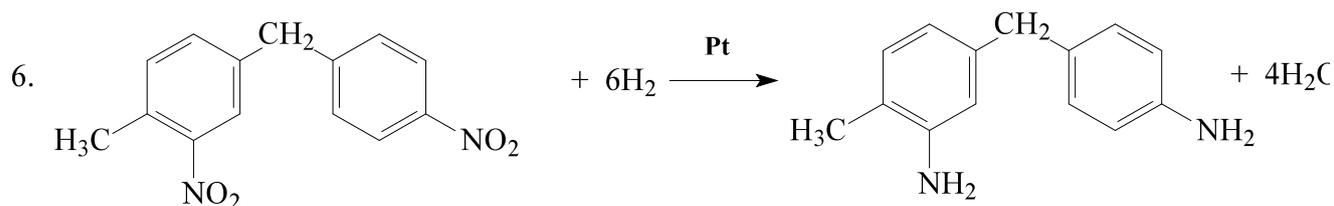
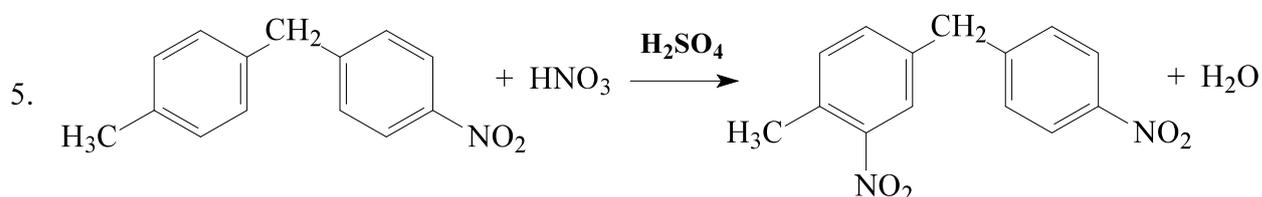
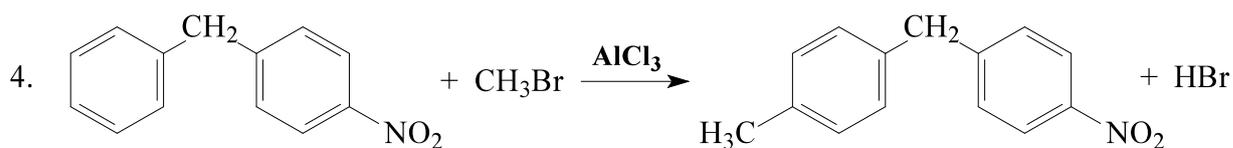
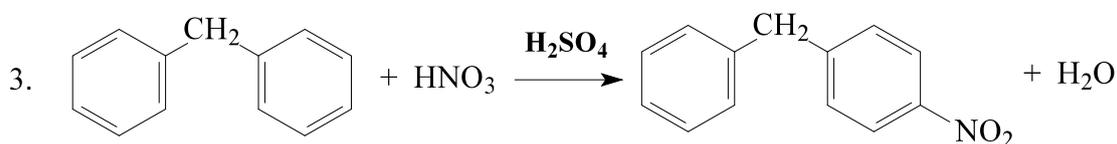
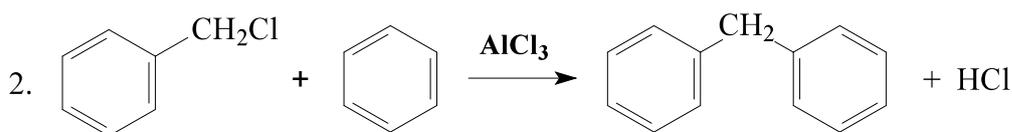
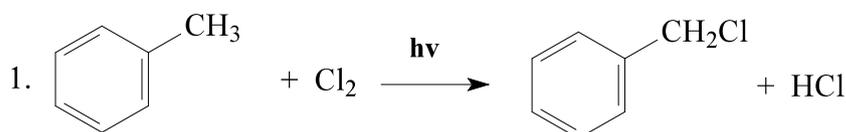
Ответ: X – HCl, Y – KI.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций. (12 баллов)

Решение:





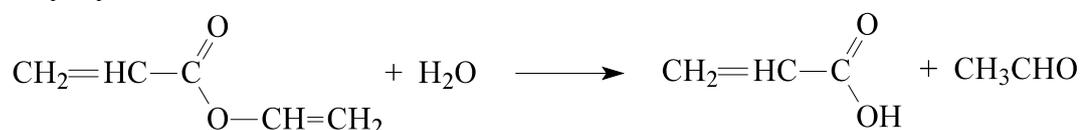
Увеличение массы смеси на $(4,64 - 3,92) = 0,72$ г произошло за счёт присоединившейся воды, т.е. $\nu(\text{H}_2\text{O}) = \nu(\text{эфира}) = \nu(\text{R}_1\text{COOH}) = \nu(\text{R}_2-\text{OH}) = 0,72/18 = 0,04$ моль.

Тогда легко находится молярная масса сложного эфира:

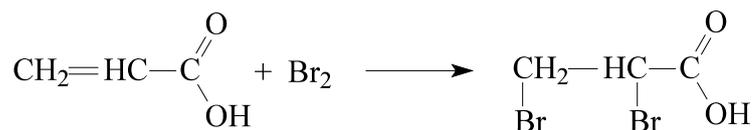
$$M = 3,92 \text{ г} / 0,04 \text{ моль} = 98 \text{ г/моль}, \text{ отсюда } (R_1+R_2) = 98-44 = 54 \text{ г/моль}.$$

Полученный результат означает, что в обоих радикалах число атомов углерода составляет 4, а число атомов водорода – 6. Следовательно, оба радикала описываются общей формулой C_4H_6 , откуда следует, что в радикалах содержится или две двойные связи или одна тройная.

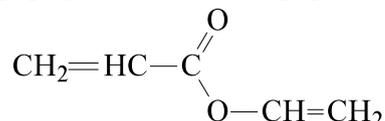
Поскольку по условию задачи при обработке полученной смеси бромной водой образуется уксусная кислота, это означает, что радикалом R_2 обязан быть винил – $\text{CH}=\text{CH}_2$. В таком случае образующийся в реакции гидролиза сложного эфира виниловый спирт мгновенно изомеризуется в уксусный альдегид, который и окисляется бромной водой до уксусной кислоты.



При обработке бромной водой обесцвечено $640 \cdot 0,02 / 160 = 0,08$ моль брома:



Итак, мы доказали, что формула сложного эфира:



Вариант 2

1. Какие вещества вступили в реакцию и при каких условиях, если в результате образовались следующие вещества (указаны все продукты реакции без коэффициентов):

- 1) $\rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + \text{H}_2$;
- 2) $\rightarrow \text{Al}(\text{OH})_3 + \text{CaSO}_4 + \text{SO}_2$.

Напишите уравнения реакций. (4 балла)

Решение.

- 1) $\text{Si} + 2\text{NaOH} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{H}_2\uparrow$;
- 2) $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Ca}(\text{HSO}_3)_2 \rightarrow 2\text{Al}(\text{OH})_3\downarrow + 3\text{CaSO}_4\downarrow + 6\text{SO}_2\uparrow$.

2. Какую массу квасцов $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ необходимо добавить к 400 г 3%-ного раствора сульфата калия, чтобы массовая доля K_2SO_4 увеличилась в два с половиной раза? (6 баллов)

Решение. Масса сульфата калия в исходном растворе равна

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = m(\text{р-ра}) \cdot \omega = 400 \cdot 0,03 = 12 \text{ (г)}.$$

Добавим к этому раствору x моль $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Масса квасцов составляет

$$m(\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = M \cdot \nu = 499x,$$

и в этой порции содержится $0.5x$ моль сульфата калия. Тогда масса сульфата калия в растворе увеличится и станет равной

$$m(\text{K}_2\text{SO}_4) = 12 + 0.5x \cdot 174 = 12 + 87x,$$

а масса раствора станет равна

$$m(\text{р-ра}) = 400 + 499x.$$

По условию, массовая доля K_2SO_4 в конечном растворе должна составить 7.5%:

$$\omega(\text{K}_2\text{SO}_4) = \frac{12 + 87x}{400 + 499x} = 0.075,$$

отсюда $x = 0.363$ моль. Масса квасцов равна

$$m(\text{KCr}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}) = M \cdot \nu = 499 \cdot 0.363 = 181.1 \text{ г.}$$

Ответ: 181.1 г.

3. При повышении температуры на 30 градусов скорость некоторой реакции возрастает в 22 раза. На сколько градусов надо изменить температуру, чтобы скорость реакции увеличилась в 50 раз? **(8 баллов)**

Решение: Воспользуемся правилом Вант-Гоффа.

$$\frac{r_2}{r_1} = \gamma^{\frac{\Delta T}{10}},$$

$$22 = \gamma^{\frac{30}{10}} = \gamma^3, \quad \text{получаем } \gamma = \sqrt[3]{22} = 2.8.$$

Зная температурный коэффициент скорости реакции, можем определить, на сколько градусов нужно повысить температуру для увеличения скорости в 50 раз:

$$50 = 2.8^{\frac{x}{10}}.$$

Прологарифмируем обе части уравнения:

$$\lg 50 = \frac{x}{10} \cdot \lg 2.8,$$

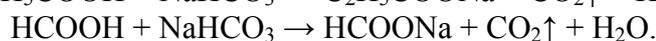
$$1.699 = \frac{x}{10} \cdot 0.447,$$

$$x = 38.$$

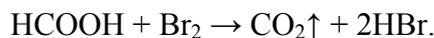
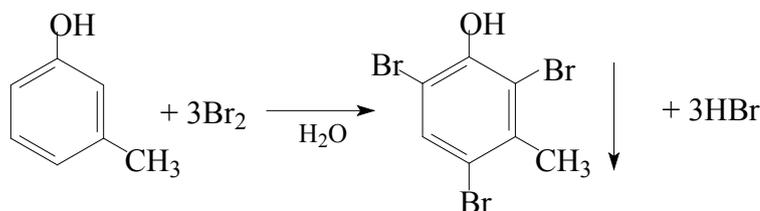
Ответ: надо повысить температуру на 38 градусов.

4. В трёх пробирках находятся водные растворы трёх соединений: *m*-крезол (*m*-метилфенол), пропионовая (пропановая) кислота и муравьиная кислота. Предложите способы обнаружения данных соединений, используя только водный раствор гидрокарбоната натрия и бромную воду. Напишите уравнения протекающих реакций. **(8 баллов)**

Решение. Запишем уравнения протекающих реакций. С гидрокарбонатом натрия вступают в реакцию карбоновые кислоты:



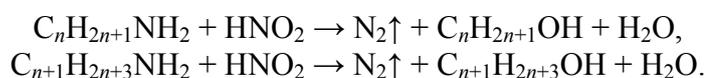
Эти реакции сопровождаются выделением пузырьков бесцветного газа без запаха. С бромной водой реагируют крезол и муравьиная кислота:



Реакция крезола сопровождается образованием белого осадка, а в ходе реакции с муравьиной кислотой бромная вода обесцвечивается и выделяются пузырьки газа.

5. При взаимодействии смеси первичного алифатического амина и его ближайшего гомолога общей массой 2.22 г с избытком азотистой кислоты выделилось 987 мл газа (при нормальном давлении и 28 °С). Определите количественный состав исходной смеси и строение исходных аминов. Напишите уравнения протекающих реакций. **(10 баллов)**

Решение. Запишем уравнения реакций первичных аминов с азотистой кислотой:



Количество азота, выделившегося в двух реакциях:

$$v(\text{N}_2) = \frac{101.3 \cdot 0.987}{8.314 \cdot 301} = 0.04 \text{ моль}.$$

Пусть первого амина было x моль, а второго y моль, тогда можно составить систему:

$$\begin{cases} x + y = 0.04, \\ (14n + 17)x + (14n + 31)y = 2.22 \end{cases}$$

Однозначно решить такую систему нельзя, однако из первого уравнения можно составить неравенство:

$$0 < x < 0.04$$

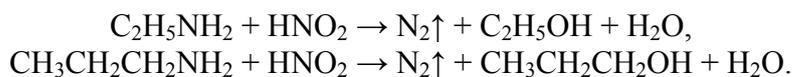
и подставить его в выражение для n , полученное из второго уравнения:

$$n = (14x + 0.98) / 0.56,$$

откуда

$$1.75 < n < 2.75.$$

Поскольку n – натуральное число, то единственный ответ $n = 2$. Следовательно, первый амин – этиламин, а второй – пропиламин.



Подставляя полученное значение n в систему уравнений, получаем:

$$\begin{aligned} x + y &= 0.04 \\ 45x + 59y &= 2.22 \end{aligned}$$

Откуда $x = 0.01$, а $y = 0.03$, следовательно, в исходной смеси было 0.01 моль этиламина и 0.03 моль пропиламина.

6. Электрический ток пропустили через два последовательно соединенных электролизера с децимолярными ($c = 0.1$ моль/л) водными растворами нитрата ртути (II) и ацетата меди (II) (анодные и катодные пространства и сами электролизеры разделены диафрагмами, объем раствора в каждом электролизере составляет 1 л), при этом на катоде первого электролизера выделилось 4.02 г металла. Определите массы продуктов, выделившихся на каждом электроде. **(12 баллов)**

Решение. При прохождении электрического тока в обоих электролизерах одновременно протекают следующие процессы.

В первом электролизере



Во втором электролизере



Количества веществ, образующихся на каждом из электродов, описываются обобщенным законом Фарадея

$$m = \frac{M}{nF} \cdot I \cdot t,$$

где m – масса выделившегося вещества на электроде (г), M – молярная (или атомарная) масса вещества (г/моль), n – количество электронов отдаваемых на аноде (или принимаемых на катоде), I – сила тока (А), t – продолжительность электролиза (с), F – Константа Фарадея, равная 96500 Кл/моль.

На катоде первого электролизера:

$$m(\text{Hg}) = \frac{201}{2F} \cdot I \cdot t = 4.02, \text{ отсюда } \frac{I \cdot t}{F} = 0.04$$

На катоде второго электролизера:

$$m(\text{Cu}) = \frac{64}{2 \cdot F} \cdot I \cdot t, \text{ отсюда } \frac{I \cdot t}{F} = \frac{m(\text{Cu})}{32}$$

Тогда $m(\text{Cu}) = 1.28$ г (0.02 моль).

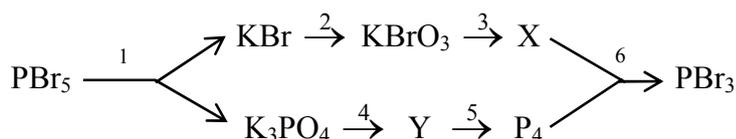
Следовательно, на аноде первого электролизера выделилось 0.01 моль O_2 , тогда

$$m(\text{O}_2) = 0.01 \cdot 32 = 0.32 \text{ г.}$$

На аноде второго электролизера выделились 0.02 моль C_2H_6 ($m(\text{C}_2\text{H}_6) = 0.02 \cdot 30 = 0.6$ г) и 0.04 моль CO_2 ($m(\text{CO}_2) = 0.04 \cdot 44 = 1.76$ г).

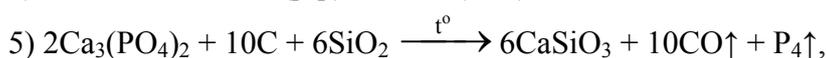
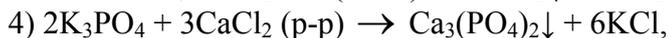
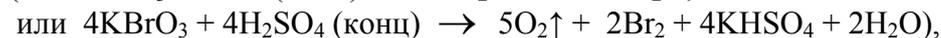
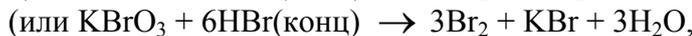
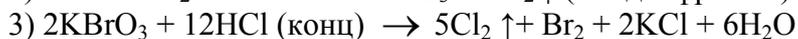
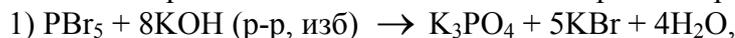
Ответ: первый электролизер – на катоде 4.02 г Hg, на аноде – 0.32 г O_2 ; второй электролизер – на катоде 1.28 г Cu, на аноде – 0.6 г C_2H_6 и 1.76 г CO_2 .

7. Напишите уравнения реакций приведенных ниже превращений и укажите условия их проведения.



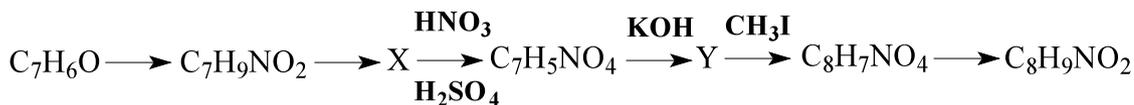
(12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения.



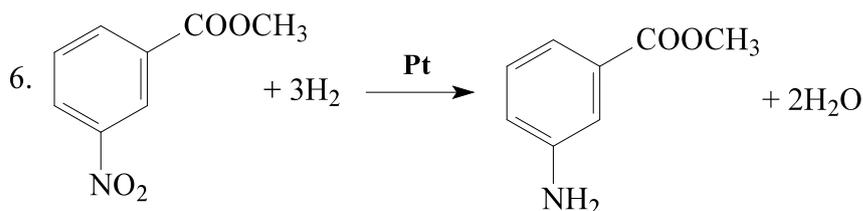
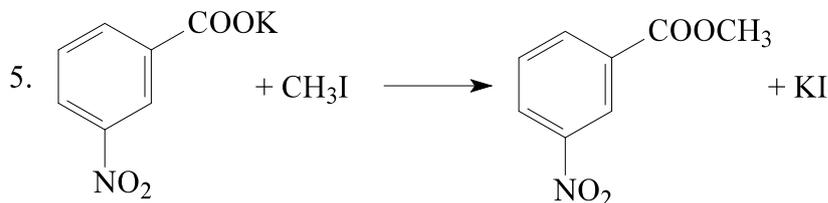
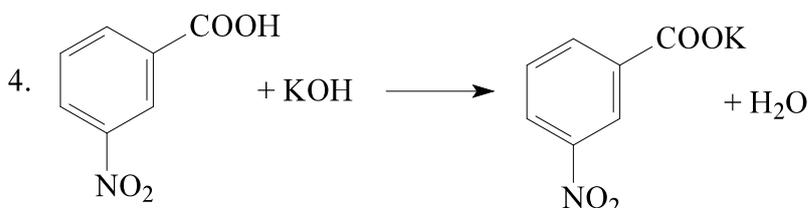
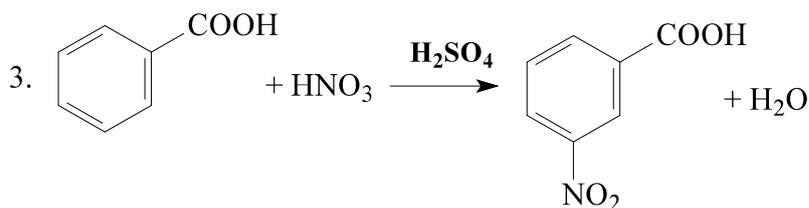
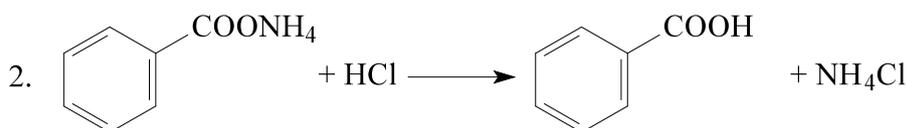
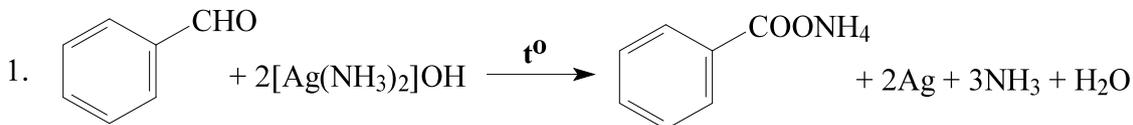
Ответ: X – Br_2 , Y – $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$.

8. Напишите уравнения реакций, соответствующих следующей последовательности превращений:



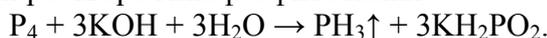
Укажите структурные формулы веществ и условия протекания реакций.
(12 баллов)

Решение. Приведем один из возможных вариантов решения.



9. В смеси находятся эквимольные количества белого фосфора (P₄) и простого вещества А, а также некоторое количество алюминия. При обработке этой смеси избытком горячего концентрированного раствора гидроксида калия выделилось 13.44 л газа (н.у.) с плотностью по воздуху 0.6207. Масса твердого остатка после реакции составила 3.6 г. Определите вещество А и массы каждого из веществ в исходной смеси. Какой минимальный объем 20%-ного раствора гидроксида натрия (плотность 1.220 г/мл) понадобится для поглощения газов, выделившихся при обработке такого же количества исходной смеси избытком горячей концентрированной азотной кислоты? (14 баллов)

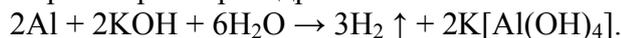
Решение. Белый фосфор реагирует с горячим концентрированным раствором щелочи с образованием фосфина и раствора гипофосфита калия:



х моль

х моль

Алюминий реагирует с горячим концентрированным раствором щелочи с образованием водорода и раствора тетрагидроксоалюмината калия:



у моль

1.5 у моль

Значит, только вещество **A** не реагирует с раствором щелочи и остается в твердом остатке в количестве $v(\text{A}) = 3.6 / M(\text{A}) = x$ моль.

По условию, $v(\text{A}) = v(\text{P}_4) = x$ моль и тогда $v(\text{PH}_3) = x$ моль.

Средняя молярная масса газовой смеси фосфина и водорода

$$M_{\text{см}} = 29 \cdot 0.6207 = 18 \text{ г/моль},$$

$$v(\text{газов}) = x + 1.5y = 13.44 / 22.4 = 0.6 \text{ моль}.$$

Тогда

$$18 = (34x + 2 \cdot 1.5y) / 0.6 = (34x + 2(0.6 - x)) / 0.6,$$

отсюда $x = 0.3$ моль, $y = 0.2$ моль, а $M_{\text{A}} = 3.6 / 0.3 = 12$ г/моль. Вещество **A** – это углерод.

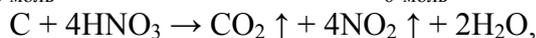
В исходной смеси содержится $0.3 \cdot 124 = 37.2$ г белого фосфора, $0.3 \cdot 12 = 3.6$ г углерода и $0.2 \cdot 27 = 5.4$ г алюминия.

При обработке такого же количества смеси концентрированной азотной кислотой происходят следующие реакции:



0.3 моль

6 моль



0.3 моль

0.3 моль

1.2 моль



0.2 моль

0.6 моль

В результате этих реакций выделяется 7.8 моль оксида азота (IV) и 0.3 моль оксида углерода (IV). При поглощении газов раствором щелочи происходят следующие реакции:



7.8 моль

7.8 моль



0.3 моль 0.3 моль

Всего потребуется 8.1 моль NaOH, объем раствора равен

$$V(\text{NaOH}) = 8.1 \cdot 40 / (0.2 \cdot 1.220) = 1327.9 \approx 1328 \text{ мл}.$$

Ответ: углерод; 37.2 г белого фосфора; 3.6 г углерода; 5.4 г алюминия; 1328 мл NaOH.

10. В результате кислотного гидролиза 22.4 г сложного эфира получено 26 г смеси органических веществ. При добавлении к этой смеси избытка водного раствора гидросульфита натрия выпало 29.6 г белого осадка. При окислении той же смеси подкисленным раствором перманганата калия образуется 24 г уксусной кислоты. Установите формулу эфира и напишите уравнения протекающих реакций (считать, что все реакции протекают с выходом 100%). **(14 баллов)**

Решение. Запишем уравнение реакции гидролиза сложного эфира в общем виде:



Увеличение массы смеси произошло за счёт присоединившейся воды:

$$m(\text{H}_2\text{O}) = 26 - 22.4 = 3.6 \text{ г},$$

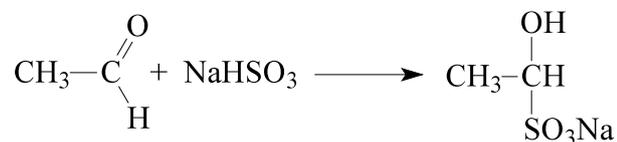
$$v(\text{H}_2\text{O}) = 3.6 / 18 = 0.2 \text{ моль}.$$

тогда $v(\text{H}_2\text{O}) = v(\text{эфира}) = v(\text{R}_1\text{COOH}) = v(\text{R}_2-\text{OH}) = 0.2$ моль. Тогда легко находится молярная масса сложного эфира:

$$M = 22.4 / 0.2 = 112 \text{ г/моль}, \text{ отсюда } M(\text{R}_1 + \text{R}_2) = 112 - 44 = 68 \text{ г/моль}.$$

Таким образом, суммарная формула, описывающая оба радикала – C₅H₈, это означает, что в радикалах содержится или две двойные связи или одна тройная.

Гидросульфит образует сульфопроизводные с альдегидами и некоторыми кетонами. Альдегид мог образоваться в единственном случае – если радикалом R₂ является винил (–CH=CH₂). Тогда образующийся неустойчивый виниловый спирт CH₂=CH–OH перегруппировывается в уксусный альдегид, который и образует сульфопроизводные в реакциях с гидросульфитом:

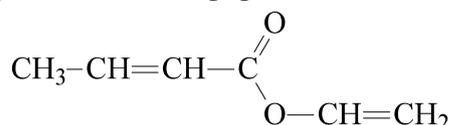


$$m(\text{CH}_3\text{CH}(\text{OH})\text{SO}_3\text{Na}) = 148 \cdot 0.2 = 29.6 \text{ г.}$$

Далее по условию задачи при окислении смеси кислым раствором перманганата калия образуется 24 г уксусной кислоты. Из двух возможных радикалов R₁: CH₂=CH–CH₂– и CH₃–CH=CH– по условию задачи подходит только второй. Тогда:



Таким образом, формула сложного эфира:



ОЧНЫЙ ТУР 5-9 КЛАССЫ

1. Напишите уравнение реакции с участием кислорода, в результате которой образуются два газообразных при обычных условиях вещества. (4 балла)

Решение. Газообразные при обычных условиях продукты горения – CO₂ и SO₂. Исходное вещество – сероуглерод:



2. Какое вещество в 3 раза тяжелее метана (при одинаковых условиях)? Во сколько раз это вещество тяжелее воздуха? (4 балла)

Решение. Рассчитаем молярную массу неизвестного вещества:

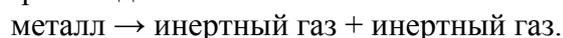
$$M(\text{X}) = 3 \cdot 16 = 48 \text{ г/моль.}$$

Неизвестное вещество – озон O₃,

$$\rho(\text{O}_3) / \rho(\text{возд}) = 48 / 29 = 1.66.$$

Ответ: O₃, 1.66.

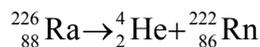
3. Ядерная реакция происходит по схеме:



Все ядра имеются в земной коре. Определите исходный изотоп и его массовое число, напишите уравнение ядерной реакции. (6 баллов)

Решение. Описано уравнение самопроизвольного α-распада (один из газов – гелий). Второй инертный газ образуется при α-распаде щелочноземельного металла, из которых радиоактивным является только радий Ra. Массовое число природного изотопа радия – 226.

Уравнение ядерной реакции:



4. В 100 г воды растворили 12.2 г белого порошка и получили 9.27%-ный раствор хлорида бария. Установите формулу порошка. Ответ подтвердите расчётом. **(6 баллов)**

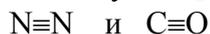
Решение. Рассчитаем массу раствора и массу хлорида бария в нем:

$$\begin{aligned} m(\text{р-ра}) &= 100 + 12.2 = 112.2 \text{ г,} \\ m(\text{BaCl}_2) &= 112.2 \cdot 0.0927 = 10.4 \text{ г.} \\ \nu(\text{BaCl}_2) &= 10.4 / 208 = 0.05 \text{ моль,} \\ M(\text{порошка}) &= 12.2 / 0.05 = 244 \text{ г/моль,} \\ 244 - 208 &= 36 = 18 \cdot 2. \end{aligned}$$

Формула порошка – $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

5. Молекулы двух веществ содержат по 14 электронов. Напишите молекулярные и структурные формулы этих веществ. Предложите, как можно отличить эти вещества друг от друга, и составьте уравнение соответствующей реакции. Напишите формулу иона, который также содержит 14 электронов. **(10 баллов)**

Решение. 14 электронов содержат молекулы N_2 и CO . Их структурные формулы:



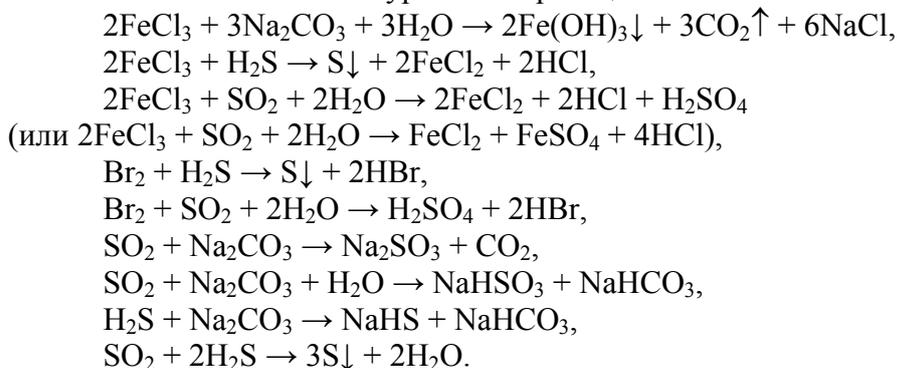
В отличие от N_2 , угарный газ CO горит синим пламенем:



Изоэлектронный ион – CN^- .

6. Даны водные растворы веществ: FeCl_3 , Br_2 , Na_2CO_3 , H_2S , SO_2 . Составьте уравнения 6-ти реакций, которые могут протекать попарно между указанными растворами. В каждой паре допускается не больше одного уравнения. **(12 баллов)**

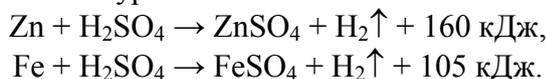
Решение. Возможные уравнения реакций:



(Принимались любые 6 разумных уравнений – по 2 балла каждое).

7. Д.И.Менделеев в учебнике «Основы химии» писал: «... реакции между цинком и слабой (много воды содержащей) серной кислотой развивают на 65 вес. ч. цинка около 38 тыс. кал. тепла, а для 56 вес. ч. железа ... отделяется около 25 тыс. кал. тепла (образуется FeSO_4).». Составьте термохимические уравнения описанных реакций (1 кал \approx 4.2 Дж) и определите, сколько теплоты выделится при полном растворении 13 г цинка в растворе FeSO_4 . **(12 баллов)**

Решение. Термохимические уравнения:



Вычитая из первого уравнения второе, находим термохимическое уравнение растворения цинка в растворе сульфата железа(II):



Составим пропорцию:

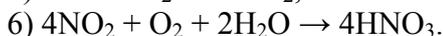
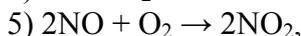
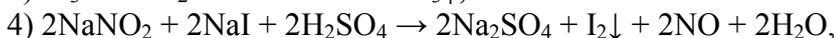
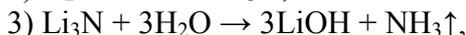
$$\begin{array}{l} 1 \text{ моль (65 г) цинка} - 55 \text{ кДж,} \\ 13 \text{ г цинка} - x \text{ кДж.} \end{array}$$

Отсюда $x = 11$ кДж.

8. Напишите уравнения реакций, с помощью которых можно реализовать следующие превращения:



Определите неизвестные вещества. (Каждая стрелка – одна реакция.) **(12 баллов)**

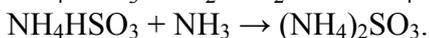
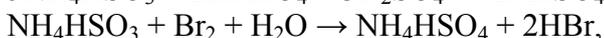
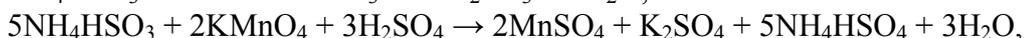


Ответ: **X** – Li_3N , **Y** – NO_2 .

9. Неизвестное вещество **X** представляет собой бесцветные кристаллы, хорошо растворимые в воде. Оно реагирует как с серной кислотой, так и с гидроксидом натрия, причем в обоих случаях выделяются равные объемы газа. Известно, что из 9.9 г **X** при действии щелочи удастся получить 2.24 л (н. у.) газа **Y** с резким запахом. Водный раствор **X** обесцвечивает подкисленный водный раствор перманганата калия и бромную воду, взаимодействует с аммиачной водой. Определите неизвестные вещества и запишите уравнения всех описанных реакций. **(16 баллов)**

Решение. Из описания свойств следует, что **X** представляет собой кислую аммонийную соль сернистой кислоты – гидросульфит аммония NH_4HSO_3 . Это предположение подтверждается расчетом. Газ **Y**, выделяющийся при действии щелочи, – аммиак NH_3 . Его объем при н. у. составляет 2.24 л, а количество – 0.1 моль. Предполагая, что в 1 моле **X** содержится 1 моль ионов аммония, получаем $M(\text{X}) = 99$ г/моль, что соответствует NH_4HSO_3 .

Уравнения реакций:



10. Для изготовления цветного стекла смешали в определённом соотношении поташ (K_2CO_3), песок и свинцовый сурик (Pb_3O_4). При варке стекла из этой смеси выделилась смесь двух газов, имеющая плотность по водороду 20.5. После пропускания этой смеси через раствор щёлочи объём газа уменьшился в 4 раза. В полученном стекле масса оксида кремния(IV) составила 4/3 от общей массы остальных оксидов. Определите качественный и количественный состав газовой смеси (в объёмн. %), образовавшейся при варке стекла. Установите состав стекла, выразив его в виде комбинации оксидов с целочисленными коэффициентами. **(18 баллов)**

Решение. Один из газов – тот, который поглощается щёлочью, – CO_2 . После поглощения CO_2 объём газа уменьшился в 4 раза, следовательно, объёмная доля CO_2

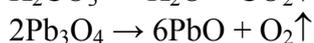
в смеси составляла $3/4$, а второго газа – $1/4$. Средняя молярная масса смеси равна $20.5 \cdot 2 = 41$ г/моль.

$$41 = 44 \cdot 0.75 + M(\text{X}) \cdot 0.25,$$

откуда $M(\text{X}) = 32$ г/моль. Второй газ – кислород, он образовался при разложении сурика:



Состав стекла можно выразить формулой $x\text{K}_2\text{O} \cdot y\text{PbO} \cdot z\text{SiO}_2$. Найдём сначала соотношение первых двух оксидов через соотношение газообразных продуктов реакций разложения, происходящих при варке стекла. Возьмем $\nu(\text{CO}_2) = 3$ моль, $\nu(\text{O}_2) = 1$ моль, тогда из уравнений реакции:



следует, что $\nu(\text{K}_2\text{O}) = 3$ моль, $\nu(\text{PbO}) = 6$ моль, а соотношение $\nu(\text{K}_2\text{O}) : \nu(\text{PbO}) = 1 : 2$.

Масса смеси 1 моль K_2O и 2 моль PbO составляет $94 + 2 \cdot 223 = 540$ г. По условию, масса SiO_2 в $4/3$ раза больше:

$$m(\text{SiO}_2) = 4/3 \cdot 540 = 720 \text{ г.}$$

$$\nu(\text{SiO}_2) = 720 / 60 = 12 \text{ моль.}$$

Следовательно, состав стекла выражается формулой $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{PbO} \cdot 12\text{SiO}_2$.

Ответ: $\text{CO}_2 : \text{O}_2 = 3 : 1$; $\text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{PbO} \cdot 12\text{SiO}_2$.