

ЗАДАНИЯ И РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ОЛИМПИАДЫ «ЛОМОНОСОВ» ПО ХИМИИ

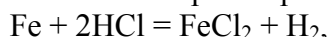
Отборочный тур НОЯБРЬ, 10-11 классы

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)

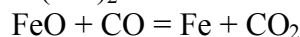
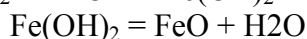
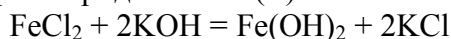
Решение:

При обработке смеси соляной кислотой растворяется только железо:



а медь остаётся в виде простого вещества.

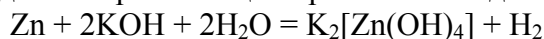
Выделение железа из раствора хлорида железа (II):



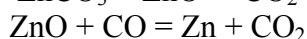
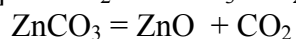
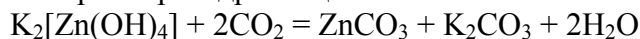
1.2. Предложите способ разделения смеси цинковых и серебряных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

Решение:

Серебро можно отделить при помощи обработки исходной смеси щёлочью:



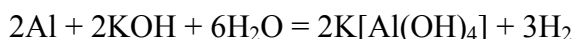
Выделение цинка из раствора тетрагидроксоцинката:



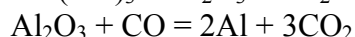
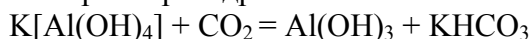
1.3. Предложите способ разделения смеси алюминиевых и железных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

Решение:

Железо можно отделить при помощи обработки исходной смеси раствором щёлочи:



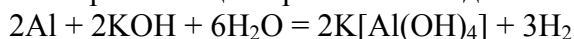
Выделение алюминия из раствора тетрагидроксоалюмината:



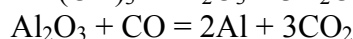
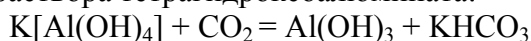
1.4. Предложите способ разделения смеси алюминиевых и медных опилок и выделения этих металлов в индивидуальном виде при помощи химических реакций. Напишите уравнения протекающих процессов. (4 балла)

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 цикlopentана 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^- .

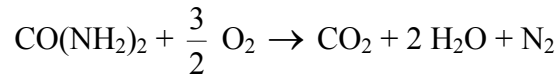
Отсюда формула соли – $AlCl_3 \cdot 6H_2O$.

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

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

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

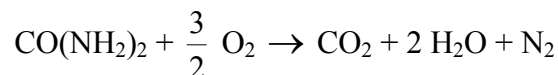
Ответ: 7.3 атм.

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

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

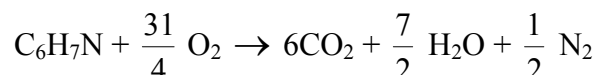
$$\nu(\text{CO}(\text{NH}_2)_2) = \frac{0.115}{4} = 0.029 \text{ моль}$$

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

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

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

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

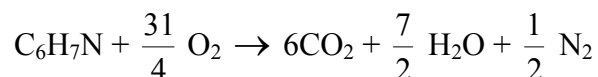
Ответ: 5.1 атм.

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 $\text{Э}_x\text{Н}_y$. На элемент Э приходится

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

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

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

Если состав соединения – ЭН, то $A(\text{Э}) = 8$ г/моль – такого нет. Если состав ЭН_2 , то $A(\text{Э}) = 16$ г/моль, это кислород, искомое соединение $\text{Н}_2\text{О}$.

Ответ: $\text{Н}_2\text{О}$.

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:

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

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 $\text{Э}_x\text{Н}_y$. На элемент Э приходится

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

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

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

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 ЭН_2 , то $A(\text{Э}) = 32$ г/моль, это сера, искомое соединение H_2S , сероводород.

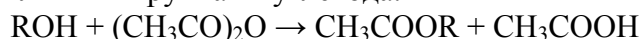
Ответ: H_2O_2 или H_2S .

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.

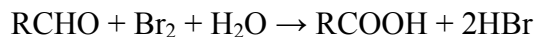
$$V_{\text{уксусного ангидрида}} = 91.8/102 = 0.9 \text{ моль.}$$

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):



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

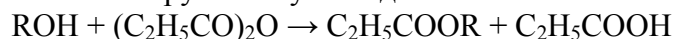
$$V_{\text{раствора}} = v \cdot M / \rho \cdot \omega = 0.05 \cdot 160 / 1.02 \cdot 0.03 = 261.4 \text{ мл.}$$

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.

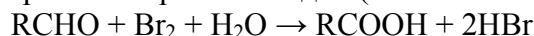
$$v_{\text{пропионового ангидрида}} = 36.4 / 130 = 0.28 \text{ моль.}$$

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.

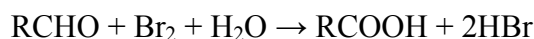
$$v_{\text{уксусного ангидрида}} = 30.6 / 102 = 0.3 \text{ моль.}$$

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.

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

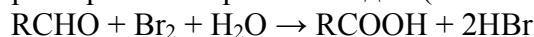
Пусть смесь содержит x моль фруктозы и y моль целлобиозы.

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):



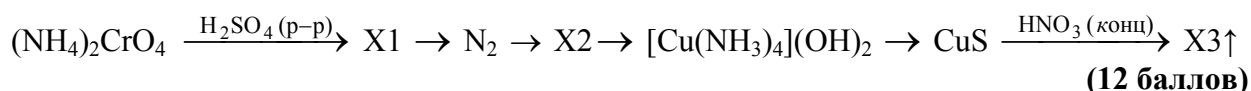
$$V_{\text{брома}} = v_{\text{целлобиозы}} = 0.04 \text{ моль.}$$

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

Ответ: 209.2 мл.

Задание №7

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

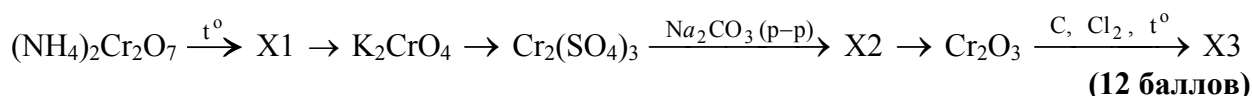


Решение:

1. $2(NH_4)_2CrO_4 + H_2SO_4 \text{ p-p} \rightarrow (NH_4)_2Cr_2O_7 + (NH_4)_2SO_4 + H_2O$
2. $(NH_4)_2Cr_2O_7 \xrightarrow{t^\circ} Cr_2O_3 + N_2 + 4H_2O$
3. $N_2 + 3H_2 \xrightarrow{t^\circ, p} 2NH_3$
4. $Cu(OH)_2 + 4NH_3 \cdot H_2O \rightarrow [Cu(NH_3)_4](OH)_2 + 4H_2O$
5. $[Cu(NH_3)_4](OH)_2 + H_2S \rightarrow CuS + 4NH_3 + 2H_2O$
6. $CuS + HNO_3 \text{ конц} \rightarrow Cu(NO_3)_2 + 8NO_2 + H_2SO_4 + 4H_2O$

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).

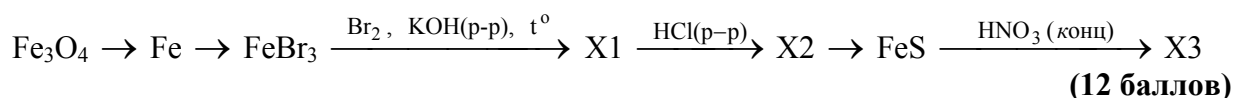


Решение:

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).

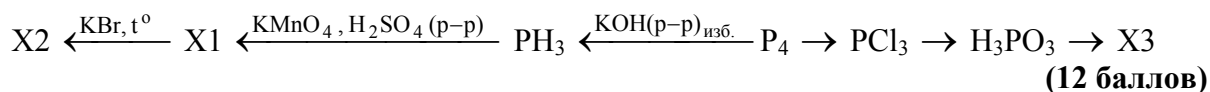


Решение:

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).



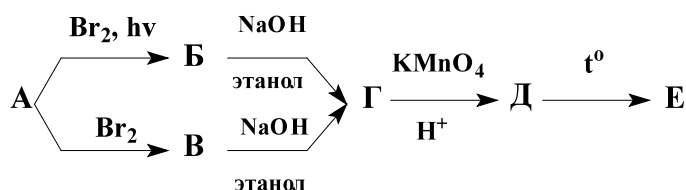
Решение:

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

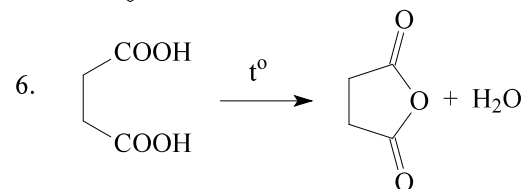
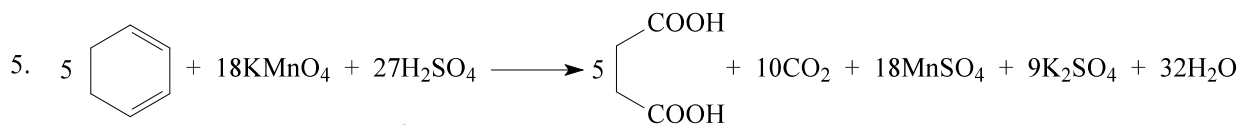
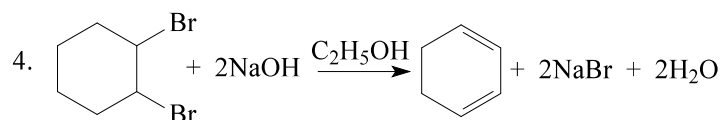
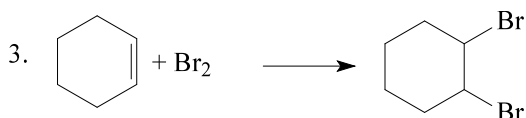
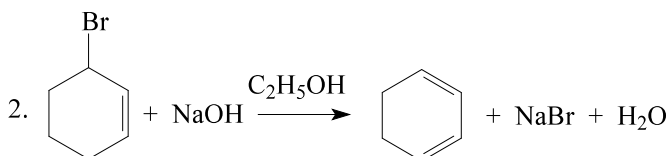
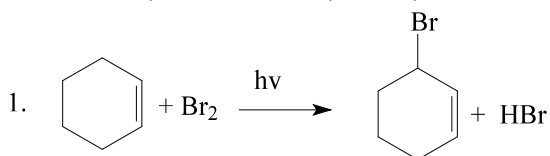
8.1. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкен, а массовая доля брома в соединении В больше массовой доли брома в соединении Б в 1.3306 раза. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.



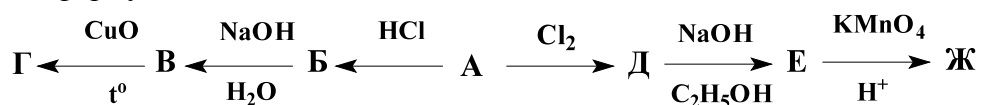
(12 баллов)

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 $160 / (C_n H_{2n-2} + 160) : 80 / (C_n H_{2n-3} + 80) = 1.3306$. 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.

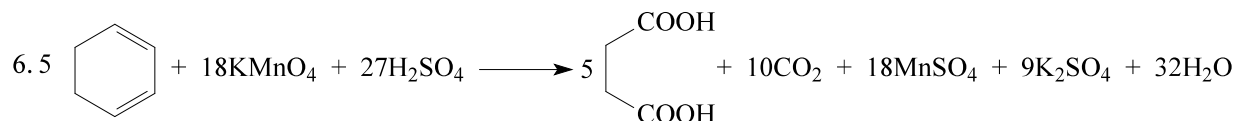
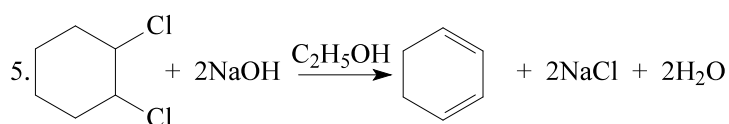
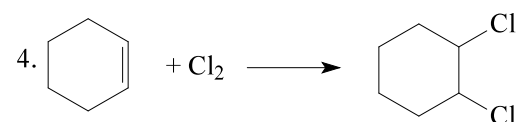
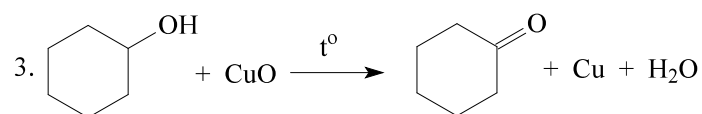
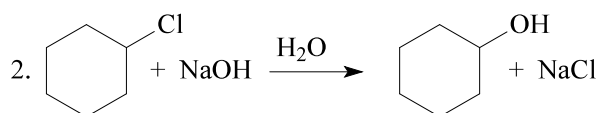
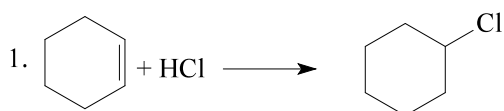


(12 баллов)

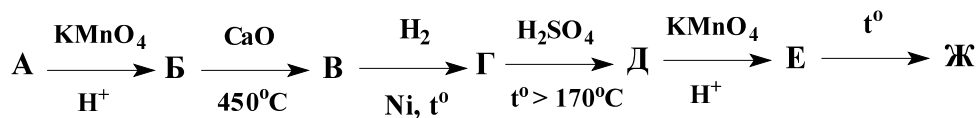
Решение:

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} .

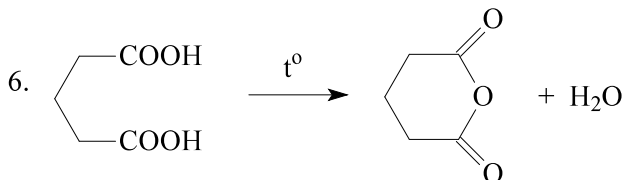
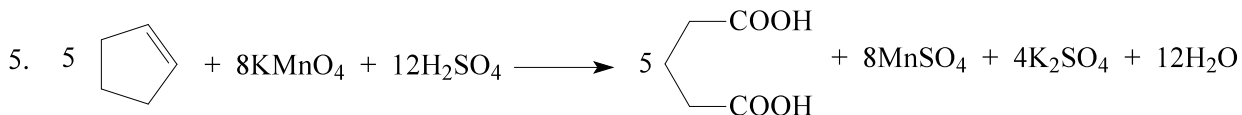
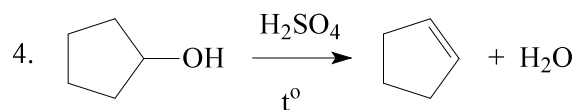
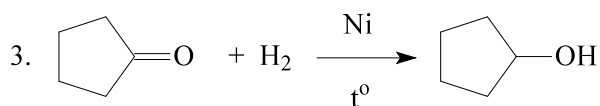
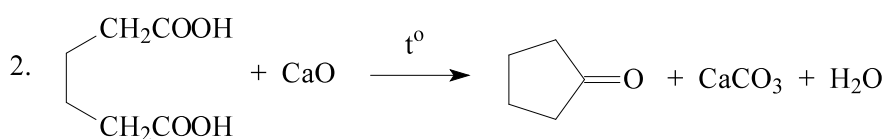
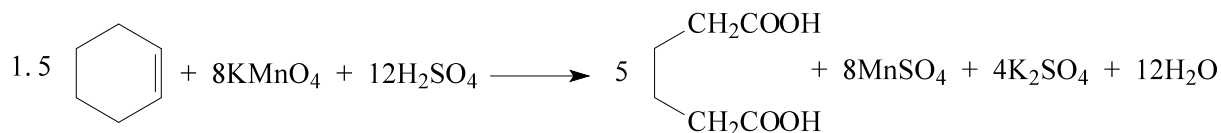


8.3. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкен, а соединения А и Д – гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.

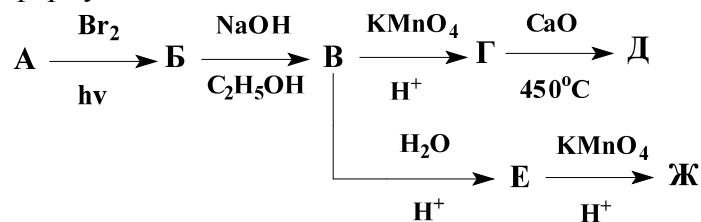


(12 баллов)

Решение:

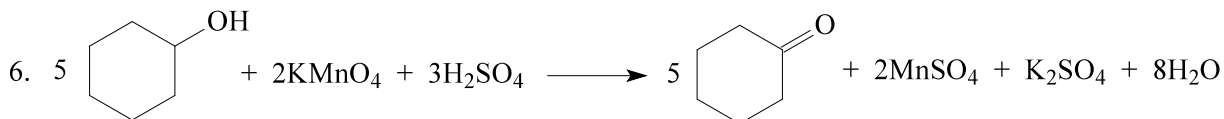
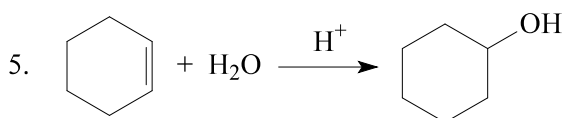
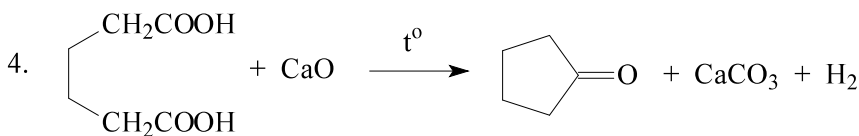
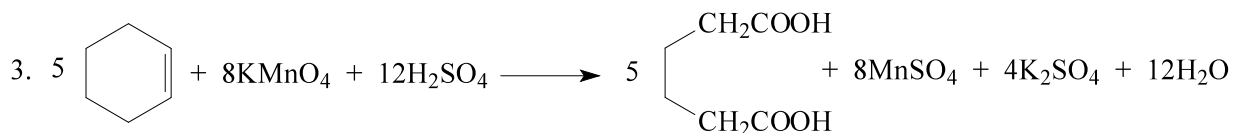
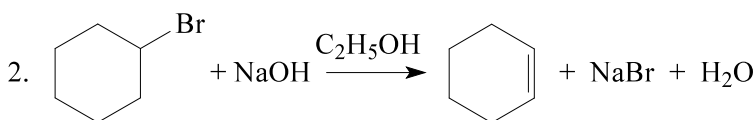
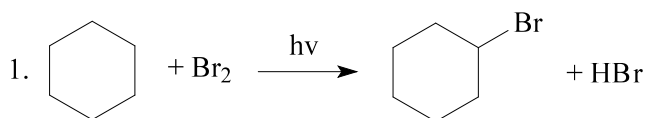


8.4. Расшифруйте следующую схему превращений, если известно, что соединение А – циклоалкан, а соединения Д и Ж - гомологи. Напишите уравнения протекающих реакций, указав структурные формулы соединений.



(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).

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)**

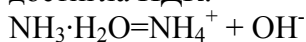
Решение:

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)

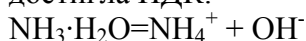
Решение:

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.