

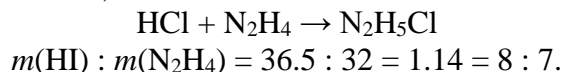
Решения задач отборочного тура олимпиады «Ломоносов» по химии

5-9 классы

Задача 1 (6 баллов)

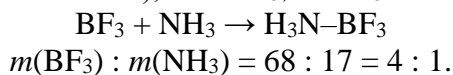
1.1. Газ **X**, проявляющий кислотные свойства, реагирует при обычных условиях с жидкостью **Y** в мольном отношении 1:1 и в массовом отношении 8:7 с образованием твердого вещества **Z**, имеющего ионное строение и растворимого в воде. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**, запишите их формулы и уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. **X** – HCl, **Y** – N₂H₄, **Z** – N₂H₅Cl.



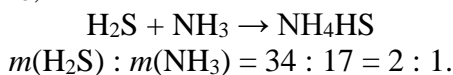
1.2. Газ **X**, проявляющий кислотные свойства, реагирует при обычных условиях с газом **Y** в мольном отношении 1:1 и в массовом отношении 4:1 с образованием твердого вещества **Z**, имеющего молекулярное строение и растворимого в воде. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**, запишите их формулы и уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. **X** – BF₃ (кислота Льюиса), **Y** – NH₃, **Z** – H₃N–BF₃.



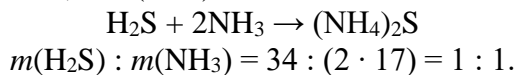
1.3. Газ **X**, проявляющий кислотные свойства, реагирует при обычных условиях с газом **Y** в мольном отношении 1:1 и в массовом отношении 2:1 с образованием твердого вещества **Z**, имеющего ионное строение и растворимого в воде. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**, запишите их формулы и уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. **X** – H₂S, **Y** – NH₃, **Z** – NH₄HS.



1.4. Газ **X**, проявляющий кислотные свойства, реагирует при обычных условиях с газом **Y** в мольном отношении 1:2 и в массовом отношении 1:1 с образованием твердого вещества **Z**, имеющего ионное строение и растворимого в воде. Определите вещества **X**, **Y** и **Z**, запишите их формулы и уравнение реакции. Ответ подтвердите расчетом.

Решение. **X** – H₂S, **Y** – NH₃, **Z** – (NH₄)₂S.



Задача 2 (12 баллов)

2.1. Прекрасную растворимость аммиака в воде демонстрирует хорошо известный опыт – «аммиачный фонтан» (https://youtu.be/qvCKfDx_UHs). Посмотрите этот опыт. Раствор аммиака в воде под действием внешнего давления заливается в колбу. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока давление оставшегося в газовой фазе аммиака не сравняется с атмосферным.

Исходные данные:

- объем колбы 500 мл
- температура 25 °C
- давление 1 атм

- массовая доля аммиака в насыщенном водном растворе 32%.

Рассчитайте, сколько процентов объема колбы будет занято насыщенным водным раствором аммиака после окончания опыта.

Решение. В условии задачи есть слова «насыщенный раствор». Если считать, что весь аммиак из газовой фазы очень быстро растворится в воде и образует насыщенный раствор, то можно найти долю объема насыщенного раствора от объема колбы. Для этого сначала найдем количество вещества и массу аммиака:

$$v(\text{NH}_3) = pV / RT = 101.3 \cdot 0.5 / (8.314 \cdot 298) = 0.0204 \text{ моль},$$

$$m(\text{NH}_3) = 0.0204 \cdot 17 = 0.348 \text{ г}.$$

Найдем массу и объем насыщенного раствора (плотность насыщенного раствора 0.886 г/мл):

$$m(\text{насыщ.р-ра}) = 0.348 / 0.32 = 1.086 \text{ г},$$

$$V(\text{насыщ.р-ра}) = 1.086 / 0.886 = 1.23 \text{ мл}.$$

Таким образом, отношение объема насыщенного раствора к объему колбы

$$V(\text{насыщ.р-ра}) / V(\text{колбы}) = 1.23 / 500 = 0.00245 \text{ (или 0.245\%)}.$$

Полный балл ставился за ответы 0% (этот ответ подразумевал, что раствор в колбе не будет насыщенным), 100%, 0.2% и любые обоснованные соображения о том, что раствор в колбе будет не насыщенным, а разбавленным.

Ответ: колба будет заполнена на 100% разбавленным раствором аммиака.

2.2. Прекрасную растворимость аммиака в воде демонстрирует хорошо известный опыт – «аммиачный фонтан» (https://youtu.be/qvCKfDx_UHs). Посмотрите этот опыт. Раствор аммиака в воде под действием внешнего давления заливается в колбу. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока давление оставшегося в газовой фазе аммиака не сравняется с атмосферным.

Исходные данные:

- объем колбы 1000 мл
- температура 22 °С
- давление 0.95 атм
- массовая доля аммиака в насыщенном водном растворе 33%.

Рассчитайте, сколько процентов объема колбы будет занято насыщенным водным раствором аммиака после окончания опыта.

Решение. В условии задачи есть слова «насыщенный раствор». Если считать, что весь аммиак из газовой фазы очень быстро растворится в воде и образует насыщенный раствор, то можно найти долю объема насыщенного раствора от объема колбы. Для этого сначала найдем количество вещества и массу аммиака:

$$v(\text{NH}_3) = pV / RT = 0.95 \cdot 101.3 \cdot 1.0 / (8.314 \cdot 295) = 0.0392 \text{ моль},$$

$$m(\text{NH}_3) = 0.0392 \cdot 17 = 0.666 \text{ г}.$$

Найдем массу и объем насыщенного раствора (плотность насыщенного раствора 0.886 г/мл):

$$m(\text{насыщ.р-ра}) = 0.666 / 0.33 = 2.018 \text{ г},$$

$$V(\text{насыщ.р-ра}) = 2.018 / 0.886 = 2.28 \text{ мл}.$$

Таким образом, отношение объема насыщенного раствора к объему колбы

$$V(\text{насыщ.р-ра}) / V(\text{колбы}) = 2.28 / 1000 = 0.00228 \text{ (или } 0.228\%).$$

Полный балл ставился за ответы 0% (этот ответ подразумевал, что раствор в колбе не будет насыщенным), 100%, 0.2% и любые обоснованные соображения о том, что раствор в колбе будет не насыщенным, а разбавленным.

Ответ: колба будет заполнена на 100% разбавленным раствором аммиака.

2.3. Прекрасную растворимость аммиака в воде демонстрирует хорошо известный опыт – «аммиачный фонтан» (https://youtu.be/qvCKfDx_UHs). Посмотрите этот опыт. Раствор аммиака в воде под действием внешнего давления заливается в колбу. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока давление оставшегося в газовой фазе аммиака не сравняется с атмосферным.

Исходные данные:

- объем колбы 2 л
- температура 24 °C
- давление 0.93 атм
- массовая доля аммиака в насыщенном водном растворе 32%.

Рассчитайте, сколько процентов объема колбы будет занято насыщенным водным раствором аммиака после окончания опыта.

Решение. В условии задачи есть слова «насыщенный раствор». Если считать, что весь аммиак из газовой фазы очень быстро растворится в воде и образует насыщенный раствор, то можно найти долю объема насыщенного раствора от объема колбы. Для этого сначала найдем количество вещества и массу аммиака:

$$v(\text{NH}_3) = pV / RT = 0.93 \cdot 101.3 \cdot 2.0 / (8.314 \cdot 297) = 0.0763 \text{ моль,}$$

$$m(\text{NH}_3) = 0.0763 \cdot 17 = 1.297 \text{ г.}$$

Найдем массу и объем насыщенного раствора (плотность насыщенного раствора 0.886 г/мл):

$$m(\text{насыщ.р-ра}) = 1.297 / 0.32 = 4.053 \text{ г,}$$

$$V(\text{насыщ.р-ра}) = 4.053 / 0.886 = 4.57 \text{ мл.}$$

Таким образом, отношение объема насыщенного раствора к объему колбы

$$V(\text{насыщ.р-ра}) / V(\text{колбы}) = 4.57 / 2000 = 0.00229 \text{ (или } 0.229\%).$$

Полный балл ставился за ответы 0% (этот ответ подразумевал, что раствор в колбе не будет насыщенным), 100%, 0.2% и любые обоснованные соображения о том, что раствор в колбе будет не насыщенным, а разбавленным.

Ответ: колба будет заполнена на 100% разбавленным раствором аммиака.

2.4. Прекрасную растворимость аммиака в воде демонстрирует хорошо известный опыт – «аммиачный фонтан» (https://youtu.be/qvCKfDx_UHs). Посмотрите этот опыт. Раствор аммиака в воде под действием внешнего давления заливается в колбу. Этот процесс будет происходить до тех пор, пока давление оставшегося в газовой фазе аммиака не сравняется с атмосферным.

Исходные данные:

- объем колбы 1000 мл
- температура 22 °C
- давление 0.95 атм
- массовая доля аммиака в насыщенном водном растворе 33%.

Рассчитайте, сколько процентов объема колбы будет занято насыщенным водным раствором аммиака после окончания опыта.

Решение. В условии задачи есть слова «насыщенный раствор». Если считать, что весь аммиак из газовой фазы очень быстро растворится в воде и образует насыщенный раствор, то можно найти долю объема насыщенного раствора от объема колбы. Для этого сначала найдем количество вещества и массу аммиака:

$$v(\text{NH}_3) = pV / RT = 0.95 \cdot 101.3 \cdot 1.0 / (8.314 \cdot 295) = 0.0392 \text{ моль},$$

$$m(\text{NH}_3) = 0.0392 \cdot 17 = 0.666 \text{ г}.$$

Найдем массу и объем насыщенного раствора:

$$m(\text{насыщ.р-ра}) = 0.666 / 0.33 = 2.018 \text{ г},$$

$$V(\text{насыщ.р-ра}) = 2.018 / 0.886 = 2.28 \text{ мл}.$$

Таким образом, отношение объема насыщенного раствора к объему колбы

$$V(\text{насыщ.р-ра}) / V(\text{колбы}) = 2.28 / 1000 = 0.00228 \text{ (или } 0.228\%).$$

Полный балл ставился за ответы 0% (этот ответ подразумевал, что раствор в колбе не будет насыщенным), 100%, 0.2% и любые обоснованные соображения о том, что раствор в колбе будет не насыщенным, а разбавленным.

Ответ: колба будет заполнена на 100% разбавленным раствором аммиака.

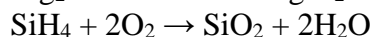
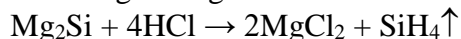
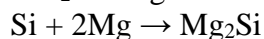
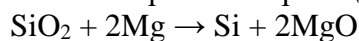
Задача 3 (12 баллов)

3.1. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного получению кремния:

https://youtu.be/T2_54yAbZl8

Запишите уравнения всех реакций, которые протекают во время выполнения опытов.

Решение. Уравнения реакций:

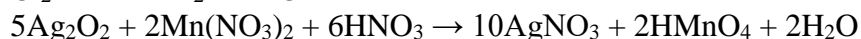
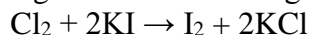
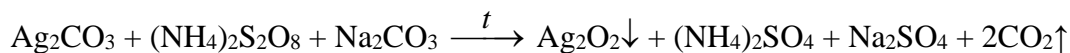
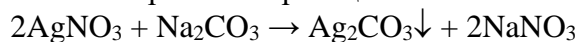


3.2. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного получению смешанного оксида серебра и изучению его свойств:

<https://youtu.be/y0P7Z5eC3K8>

Запишите уравнения всех реакций, которые протекают во время выполнения опытов.

Решение. Уравнения реакций:



3.3. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного получению высшего оксида марганца и изучению его свойств:

<https://youtu.be/gbHRh0pfCrg>

Запишите уравнения всех реакций, которые протекают во время выполнения опыта.

Решение. Уравнения реакций:



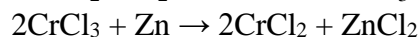
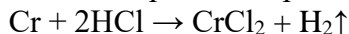
$2\text{Mn}_2\text{O}_7 + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} \rightarrow 4\text{MnO}_2 + 2\text{CO}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$
(или до MnSO_4).

3.4. Посмотрите видео демонстрационного опыта, посвященного растворению хрома в соляной кислоте:

<https://youtu.be/3VzDmBInMks>

Запишите уравнения всех реакций, которые протекают во время выполнения опыта. Как можно превратить зеленый раствор обратно в голубой?

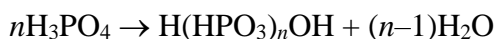
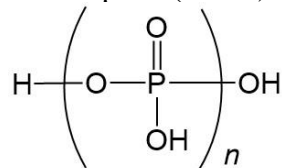
Решение. Уравнения реакций:



Задача 4 (14 баллов)

4.1. При нагревании до 400 °С навески фосфорной кислоты массой 20.485 г образовалось 16.991 г белого вещества, представляющего собой линейный олигомер (т. е. полимер с небольшим числом звеньев). Сколько атомов фосфора входит в состав одной молекулы олигомера? Определите молекулярную формулу продукта реакции и составьте его структурную формулу. Считайте, что все молекулы продукта содержат одинаковое число звеньев.

Решение. При обезвоживании фосфорной кислоты образуется метафосфорная кислота, которая имеет строение линейного олигомера: $\text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH}$:



$$\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) = n / (n - 1)$$

$$\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) = 20.485 / 98 = 0.2090,$$

$$\nu(\text{H}_2\text{O}) = (20.485 - 16.991) / 18 = 0.1941$$

$$\nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) = 0.2090 / 0.1941 = 1.077.$$

$$n / (n - 1) = 1.077,$$

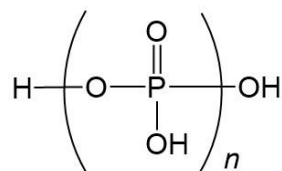
$$n = 14.$$

Молекулярная формула олигомера – $\text{H}(\text{HPO}_3)_{14}\text{OH}$, или $\text{H}_{16}\text{P}_{14}\text{O}_{43}$.

Ответ: 14.

4.2. При нагревании до 400 °С навески фосфорной кислоты массой 20.485 г образовалось 17.012 г белого вещества, представляющего собой линейный олигомер (т. е. полимер с небольшим числом звеньев). Сколько атомов фосфора входит в состав одной молекулы олигомера? Определите молекулярную формулу продукта реакции и составьте его структурную формулу. Считайте, что все молекулы продукта содержат одинаковое число звеньев.

Решение. При обезвоживании фосфорной кислоты образуется метафосфорная кислота, которая имеет строение линейного олигомера: $\text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH}$:



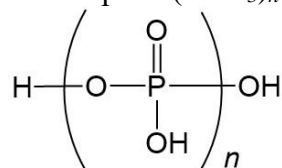
$$\begin{aligned} n\text{H}_3\text{PO}_4 &\rightarrow \text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH} + (n-1)\text{H}_2\text{O} \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= n / (n-1) \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 20.485 / 98 = 0.2090, \\ \nu(\text{H}_2\text{O}) &= (20.485 - 17.012) / 18 = 0.1929, \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= 0.2090 / 0.1929 = 1.083. \\ n / (n-1) &= 1.083, \\ n &= 13. \end{aligned}$$

Молекулярная формула олигомера – $\text{H}(\text{HPO}_3)_{13}\text{OH}$, или $\text{H}_{15}\text{P}_{13}\text{O}_{40}$.

Ответ: 13.

4.3. При нагревании до 400 °С навески фосфорной кислоты массой 25.119 г образовалось 20.860 г белого вещества, представляющего собой линейный олигомер (т. е. полимер с небольшим числом звеньев). Сколько атомов фосфора входит в состав одной молекулы олигомера? Определите молекулярную формулу продукта реакции и составьте его структурную формулу. Считайте, что все молекулы продукта содержат одинаковое число звеньев.

Решение. При обезвоживании фосфорной кислоты образуется метафосфорная кислота, которая имеет строение линейного олигомера: $\text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH}$:



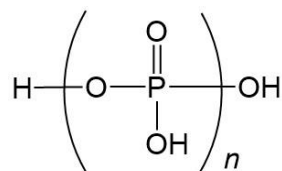
$$\begin{aligned} n\text{H}_3\text{PO}_4 &\rightarrow \text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH} + (n-1)\text{H}_2\text{O} \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= n / (n-1) \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 25.119 / 98 = 0.2563, \\ \nu(\text{H}_2\text{O}) &= (25.119 - 20.860) / 18 = 0.2366, \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= 0.2563 / 0.2366 = 1.083. \\ n / (n-1) &= 1.083, \\ n &= 13. \end{aligned}$$

Молекулярная формула олигомера – $\text{H}(\text{HPO}_3)_{13}\text{OH}$, или $\text{H}_{15}\text{P}_{13}\text{O}_{40}$.

Ответ: 13.

4.4. При нагревании до 400 °С навески фосфорной кислоты массой 25.119 г образовалось 20.813 г белого вещества, представляющего собой линейный олигомер (т. е. полимер с небольшим числом звеньев). Сколько атомов фосфора входит в состав одной молекулы олигомера? Определите молекулярную формулу продукта реакции и составьте его структурную формулу. Считайте, что все молекулы продукта содержат одинаковое число звеньев.

Решение. При обезвоживании фосфорной кислоты образуется метафосфорная кислота, которая имеет строение линейного олигомера: $\text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH}$:



$$\begin{aligned} n\text{H}_3\text{PO}_4 &\rightarrow \text{H}(\text{HPO}_3)_n\text{OH} + (n-1)\text{H}_2\text{O} \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= n / (n-1) \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) &= 25.119 / 98 = 0.2563, \\ \nu(\text{H}_2\text{O}) &= (25.119 - 20.813) / 18 = 0.2392, \\ \nu(\text{H}_3\text{PO}_4) / \nu(\text{H}_2\text{O}) &= 0.2563 / 0.2392 = 1.071. \\ n / (n-1) &= 1.071, \\ n &= 15. \end{aligned}$$

Молекулярная формула олигомера – $\text{H}(\text{HPO}_3)_{15}\text{OH}$, или $\text{H}_{17}\text{P}_{15}\text{O}_{46}$.

Ответ: 15.

Задача 5 (18 баллов)

5.1. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $\text{Cr} + 4\text{HNO}_3 \rightarrow \text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{NO} + 2\text{H}_2\text{O}$
(принимались и другие продукты восстановления азотной кислоты)
- 2) $2\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 + \text{Zn}(\text{NO}_3)_2$
- 3) $4\text{Cr}(\text{NO}_3)_2 \xrightarrow{t} 2\text{Cr}_2\text{O}_3 + 8\text{NO}_2 + \text{O}_2$
- 4) $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{C} + 3\text{Cl}_2 \xrightarrow{t} 2\text{CrCl}_3 + 3\text{CO}$
- 5) $2\text{CrCl}_3 + 3\text{H}_2\text{S} \xrightarrow{t} \text{Cr}_2\text{S}_3 + 6\text{HCl}$
- 6) $\text{Cr}_2\text{S}_3 + 9/2 \text{O}_2 \xrightarrow{t} \text{Cr}_2\text{O}_3 + 3\text{SO}_2$

5.2. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $\text{Ag} + 2\text{HNO}_3 \rightarrow \text{AgNO}_3 + \text{NO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $2\text{AgNO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Ag}_2\text{SO}_4\downarrow + 2\text{HNO}_3$
- 3) $\text{Ag}_2\text{SO}_4 + 6\text{NH}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$
- 4) $[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} + 3\text{HClO}_4 \rightarrow \text{AgClO}_4 + 2\text{NH}_4\text{ClO}_4 + \text{H}_2\text{O}$
- 5) $2\text{AgClO}_4 + (\text{NH}_4)_2\text{S} \rightarrow \text{Ag}_2\text{S} + 2\text{NH}_4\text{ClO}_4$
- 6) $\text{Ag}_2\text{S} + \text{O}_2 \xrightarrow{t} 2\text{Ag} + \text{SO}_2$

5.3. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:

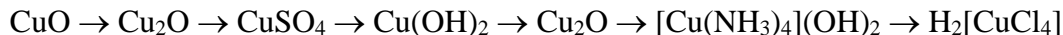


Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $2\text{AgNO}_3 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Ag}_2\text{O}\downarrow + 2\text{KNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $\text{Ag}_2\text{O} + 2\text{HF} \rightarrow 2\text{AgF} + \text{H}_2\text{O}$

- 3) $2\text{AgF} + (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Ca} \rightarrow \text{CaF}_2\downarrow + 2\text{CH}_3\text{COOAg}$
- 4) $2\text{CH}_3\text{COOAg} + \text{Cu} \rightarrow 2\text{Ag} + (\text{CH}_3\text{COO})_2\text{Cu}$
- 5) $4\text{Ag} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + 4\text{NaOH}$
- 6) $2\text{Na}[\text{Ag}(\text{CN})_2] + \text{Zn} \rightarrow 2\text{Ag} + \text{Na}_2[\text{Zn}(\text{CN})_4]$

5.4. Напишите уравнения реакций согласно схеме превращений:



Решение. Приведем один из возможных вариантов решения:

- 1) $4\text{CuO} \xrightarrow{t} 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$
- 2) $\text{Cu}_2\text{O} + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{CuSO}_4 + \text{SO}_2\uparrow + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{CuSO}_4 + 2\text{KOH} \rightarrow \text{Cu}(\text{OH})_2\downarrow + \text{K}_2\text{SO}_4$
- 4) $4\text{Cu}(\text{OH})_2 + \text{N}_2\text{H}_4 \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{N}_2 + 6\text{H}_2\text{O}$
- 5) $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2 + 16\text{NH}_3 + 4\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2$
- 6) $[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4](\text{OH})_2 + 8\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2[\text{CuCl}_4] + 4\text{NH}_4\text{Cl} + 2\text{H}_2\text{O}$

Задача 6 (18 баллов)

6.1. В растворах карбоната натрия – сильнощелочная среда. Зависимость pH раствора от молярной концентрации соли C :

$$\text{pH} = 12.16 + 0.5 \cdot \lg(C),$$

где \lg – десятичный логарифм. Сколько граммов десятиводного карбоната натрия надо добавить к 100 мл воды, чтобы получить раствор с $\text{pH} = 12.00$ (плотность раствора 1.05 г/мл)?

Решение. Найдем молярную концентрацию соли:

$$12.16 + 0.5 \cdot \lg(C) = 12.00,$$

$$\lg(C) = -0.32,$$

$$C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 10^{-0.32} = 0.479 \text{ моль/л.}$$

Обозначим массу добавленного кристаллогидрата (г) за x . Тогда

$$m(\text{p-ра}) = 100 + x$$

$$V(\text{p-ра}) = (100 + x) / 1.05 \text{ (мл).}$$

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = x / 286 \text{ (моль),}$$

$$C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.479 = (x / 286) / ((100 + x) / 1.05 \cdot 10^{-3}),$$

$$x = 15.00 \text{ г.}$$

Ответ: 15.00 г.

6.2. В растворах карбоната натрия – сильнощелочная среда. Зависимость pH раствора от молярной концентрации соли C :

$$\text{pH} = 12.16 + 0.5 \cdot \lg(C),$$

где \lg – десятичный логарифм. При комнатной температуре растворимость десятиводного карбоната натрия составляет 91 г на 100 г воды. Плотность насыщенного раствора карбоната натрия равна 1.19 г/мл. Чему равен pH насыщенного раствора?

Решение. Возьмем 100 г H_2O и 91 г $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

$$m(\text{p-ра}) = 191 \text{ г,}$$

$$V(\text{p-ра}) = 191 / 1.19 = 160.5 \text{ мл} = 0.1605 \text{ л,}$$

$$v(\text{Na}_2\text{CO}_3) = v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = 91 / 286 = 0.318 \text{ моль.}$$

$$C(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.318 / 0.1605 = 1.98 \text{ моль/л,}$$

$$\text{pH} = 12.16 + 0.5 \cdot \lg(1.98) = 12.31.$$

Ответ: 12.31.

6.3. В растворах карбоната калия – сильнощелочная среда. Зависимость рН раствора от молярной концентрации соли C :

$$\text{pH} = 12.16 + 0.5 \cdot \lg(C)$$

где \lg – десятичный логарифм. При комнатной температуре растворимость безводного карбоната калия составляет 112.8 г на 100 г воды. Плотность насыщенного раствора карбоната калия равна 1.57 г/мл. Чему равен рН насыщенного раствора?

Решение. Возьмем 100 г H_2O и 112.8 г K_2CO_3 .

$$\begin{aligned} m(\text{p-pa}) &= 212.8 \text{ г}, \\ V(\text{p-pa}) &= 212.8 / 1.57 = 135.5 \text{ мл} = 0.1355 \text{ л}, \\ v(\text{K}_2\text{CO}_3) &= 112.8 / 138 = 0.817 \text{ моль}, \\ C(\text{K}_2\text{CO}_3) &= 0.817 / 0.1355 = 6.03 \text{ моль/л}, \\ \text{pH} &= 12.16 + 0.5 \cdot \lg(6.03) = 12.55. \end{aligned}$$

Ответ: 12.55.

6.4. В растворах карбоната натрия – сильнощелочная среда. Зависимость рН раствора от молярной концентрации соли C :

$$\text{pH} = 12.16 + 0.5 \cdot \lg(C)$$

где \lg – десятичный логарифм. Сколько граммов десятиводного карбоната натрия надо добавить к 200 мл воды, чтобы получить раствор с $\text{pH} = 11.80$ (плотность раствора 1.02 г/мл)?

Решение. Найдем молярную концентрацию соли:

$$\begin{aligned} 12.16 + 0.5 \cdot \lg(C) &= 11.80, \\ \lg(C) &= -0.72, \\ C(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 10^{-0.72} = 0.191 \text{ моль/л}. \end{aligned}$$

Обозначим массу добавленного кристаллогидрата (г) за x . Тогда

$$\begin{aligned} m(\text{p-pa}) &= 200 + x, \\ V(\text{p-pa}) &= (200 + x) / 1.02 \text{ (мл)}, \\ v(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= v(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}) = x / 286 \text{ (моль)}, \\ C(\text{Na}_2\text{CO}_3) &= 0.191 = (x / 286) / ((200 + x) / 1.02 \cdot 10^{-3}), \\ x &= 11.32 \text{ г}. \end{aligned}$$

Ответ: 11.32 г.

Задача 7 (20 баллов)

7.1. Газ **A** образуется при термическом разложении (*реакция 1*) твердого вещества **X**, состоящего из трех элементов, один из которых — кислород (60.0 масс.%). Газ **A** проявляет двойственную окислительно-восстановительную природу: он медленно обесцвечивает подкисленный раствор перманганата калия (*реакция 2*), а при пропускании через раствор, содержащий Sn^{2+} , превращается в вещество **B** (9.1 масс.% водорода). Полное восстановление газа **A** происходит при взаимодействии с солянокислым раствором TiCl_3 (*реакция 3*). Вещество **B** вступает в реакцию серебряного зеркала (*реакция 4*), в которой образуется 3.00 г серебра и выделяется 311 мл (н. у.) газа **B**, который является основным компонентом воздуха. Установите формулы веществ **X**, **A** – **B** (подтвердите расчетом) и напишите уравнения реакций 1 – 4.

Решение. Очевидно, что **B** – это N_2 , следовательно, все вещества — соединения азота. Газ **A**, содержащий азот, образующийся при разложении твердого вещества и проявляющий двойственную окислительно-восстановительную природу – N_2O . Тогда **X** — это NH_4NO_3 :

$$\omega(\text{O}) = 48 / 80 = 0.60.$$

Формулу **B** можно установить по реакции серебряного зеркала:

$$v(\text{Ag}) : v(\text{N}_2) = (3.00 / 108) : (0.311 / 22.4) = 2 : 1.$$

То есть, при окислении **Б** ионами серебра до молекулярного азота каждый атом азота отдает один электрон. Этому условию удовлетворяет гидроксилламин NH_2OH :

$$\omega(\text{H}) = 3 / 33 = 0.091.$$

Уравнения реакций:

- 1) $\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{t} \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $5\text{N}_2\text{O} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 10\text{NO} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{N}_2\text{O} + 8\text{TiCl}_3 + 26\text{HCl} \rightarrow 2\text{NH}_4\text{Cl} + 8\text{H}_2\text{TiCl}_6 + \text{H}_2\text{O}$
- 4) $2\text{NH}_2\text{OH} + 2[\text{Ag}(\text{NH}_3)_2]\text{OH} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{Ag} + 4\text{NH}_3 + 4\text{H}_2\text{O}$

Ответ: **А** – N_2O , **Б** – NH_2OH , **В** – N_2 , **Х** – NH_4NO_3 .

7.2. Газ **А** образуется при термическом разложении (реакция 1) твердого вещества **Х**, состоящего из трех элементов, один из которых — водород (5.0 масс.%). Газ **А** проявляет двойственную окислительно-восстановительную природу: он медленно обесцвечивает подкисленный раствор перманганата калия (реакция 2), а при пропускании через раствор, содержащий Sn^{2+} , превращается в вещество **Б** (9.1 масс.% Н), из которого газ **А** можно получить взаимодействием с нитритом натрия в солянокислой среде (реакция 3) или с хлоридом железа(III) в той же среде (реакция 4). При пропускании газа **А** над раскаленной медью он превращается в газ **В**, который является основным компонентом воздуха. Установите формулы веществ **Х**, **А** – **В** (подтвердите расчетом) и напишите уравнения реакций 1 – 4.

Решение. Очевидно, что **В** – это N_2 , следовательно, все вещества — соединения азота. **Х** – это NH_4NO_3 :

$$\omega(\text{H}) = 4 / 80 = 0.05.$$

Газ **А** – N_2O , **Б** – гидроксилламин NH_2OH :

$$\omega(\text{H}) = 3 / 33 = 0.091.$$

Уравнения реакций:

- 1) $\text{NH}_4\text{NO}_3 \xrightarrow{t} \text{N}_2\text{O} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 2) $5\text{N}_2\text{O} + 2\text{KMnO}_4 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 10\text{NO} + \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 3\text{H}_2\text{O}$
- 3) $\text{NH}_2\text{OH} + \text{NaNO}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{N}_2\text{O} + \text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$
- 4) $2\text{NH}_2\text{OH} + 4\text{FeCl}_3 \rightarrow \text{N}_2\text{O} + 4\text{FeCl}_2 + 4\text{HCl} + \text{H}_2\text{O}$

Ответ: **А** – N_2O , **Б** – NH_2OH , **В** – N_2 , **Х** – NH_4NO_3 .

7.3. Газ **А** образуется при восстановлении (реакция 1) железом(+2) в солянокислом растворе соли **Х**, состоящей из трех элементов, один из которых — натрий (33.3 масс.%). Газ **А** проявляет двойственную окислительно-восстановительную природу с преобладанием восстановительных свойств. Он легко обесцвечивает подкисленный раствор перманганата калия (реакция 2), но окисляет газ **Б** (реакция 3) с образованием смеси ($D_{\text{возд}} = 4/3$) двух газов, входящих в состав воздуха. Вещество **А** способно выступать в роли лиганда в комплексных соединениях: при взаимодействии **А** с гексакарбониллом хрома образуется нейтральный комплекс **В** (30.2 масс.% Cr), содержащий лиганды только одного типа. Установите формулы веществ **Х**, **А** – **В** (подтвердите расчетом) и напишите уравнения реакций 1 – 4.

Решение. **Х** – это нитрит натрия NaNO_2 :

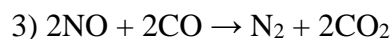
$$\omega(\text{Na}) = 23 / 69 = 0.333.$$

Газ **А** – NO , **Б** – CO , а комплекс **В** – это $\text{Cr}(\text{NO})_4$:

$$\omega(\text{Cr}) = 52 / 172 = 0.302.$$

Уравнения реакций:

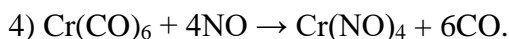
- 1) $\text{FeCl}_2 + \text{NaNO}_2 + 2\text{HCl} \rightarrow \text{NO} + \text{FeCl}_3 + \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$
- 2) $5\text{NO} + 3\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{MnSO}_4 + 3\text{KNO}_3 + \text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O}$



Средняя масса полученной смеси

$$M_{\text{ср}} = (28 + 2 \cdot 44) / 3 = 38.67 \text{ г/моль},$$

$$D_{\text{возд}} = 38.67 / 29 = 1.333 = 4/3.$$



Ответ: **X** – NaNO_2 , **A** – NO , **Б** – CO , **В** – $\text{Cr}(\text{NO})_4$.

7.4. Газы **A** и **Б** (**A** – тяжелее) образуются при термическом разложении (*реакция 1*) соли **X**, состоящей из четырех элементов, один из которых — азот (22.2 масс.%). Оба газа проявляют преимущественно восстановительные свойства: они реагируют с оксидами малоактивных металлов, а газ **A** восстанавливает металлическое серебро из аммиачных растворов его солей (*реакция 2*). Взаимодействие **A** и **Б** в присутствии катализатора при большой температуре (*реакция 3*) приводит к образованию паров очень ядовитого вещества **В** (51.9 масс.% азота), которое при охлаждении конденсируется в летучую жидкость. Установите формулы веществ **X**, **A** – **В** (подтвердите расчетом), напишите уравнения реакций 1 – 3 и предложите способ разделения смеси **A** и **Б** на индивидуальные вещества.

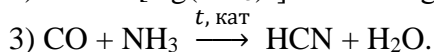
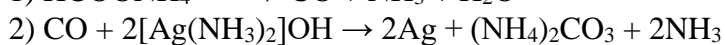
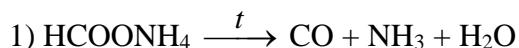
Решение. Соль **X** – это HCOONH_4 :

$$\omega(\text{N}) = 14 / 63 = 0.222.$$

Газ **A** – CO , **Б** – NH_3 , вещество **В** – HCN :

$$\omega(\text{N}) = 14 / 27 = 0.519.$$

Уравнения реакций:



Смесь CO и NH_3 можно разделить, пропустив через раствор сильной кислоты. Угарный газ не поглотится, а аммиак полностью поглотится. Выделить аммиак можно нагреванием с избытком щелочи.

Ответ: **X** – HCOONH_4 , **A** – CO , **Б** – NH_3 , **В** – HCN .