

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки» - 2024/25
Химия. Финальный тур. *Время выполнения заданий – 180 минут.*

9 класс

Задача 9-1

Соединение **М**, включающее атомы трех химических элементов, широко используется в промышленности для получения металла **Х**. Оно встречается в природе в виде минерала, однако, известно ограниченное число месторождений **М** и в России их практически нет. По этой причине для промышленных нужд **М** получают синтетически. Основной способ промышленного получения **М** заключается в обработке соединения **А** избытком водного раствора **У** с получением водного раствора кислоты **В**. Нейтрализация полученного раствора **В** гидрокарбонатом натрия приводит к выпадению осадка **М**.

1. Расшифруйте соединения, обозначенные буквами, если известно, что **А** – это гидроксид **Х** с массовой долей **Х**, равной 34.6%, **У** – бинарное соединение с массовой долей водорода 5%. При действии на 3.9 г **А** избытком водного раствора **У** образуется 200 г раствора с процентным содержанием **В** равным 3.6%.
2. Напишите уравнение реакции образования кислоты **В** из **А** и **У**, учитывая, что реагенты взаимодействуют в молярном соотношении 1 : 6, а в реакции кроме трехосновной кислоты **В** образуются молекулы воды.
3. Напишите уравнение реакции образования труднорастворимого **М** при действии гидрокарбоната натрия на раствор **В**, учитывая, что идет полная нейтрализация кислоты.
4. Напишите реакции термического разложения **А**, взаимодействия **А** с соляной кислотой, взаимодействие **А** с щелочью.

При расчетах используйте значения атомных масс элементов, округленные до целых чисел.

Решение

1. Установим формулы **А**, **Х** и **У**.

А – это гидроксид **Х**, общую формулу которого можно записать как $X(OH)_n$, где n – это степень окисления **Х**. Найдем молярную массу **Х**, учитывая, что массовая доля **Х** в **А** равна 34.6% или 0.346:

$$w(X) = M(X) / [M(X) + n \cdot M(OH)] = 0.346.$$

Отсюда получаем, что $M(X) / n = 9$.

Для $n = 1$, получаем $M(X) = 9$ – такую молярную массу имеет бериллий **Be**, но он проявляет в соединениях степень окисления +2, поэтому не подходит по условию задачи.

Для $n = 2$, получаем $M(X) = 18$ – нет химического элемента с такой молярной массой.

Для $n = 3$, получаем $M(X) = 27$ – такую молярную массу имеет алюминий **Al**, который проявляет в соединениях степень окисления +3.

Следовательно, **Х** – это **Al**, а соединение **А** – это гидроксид алюминия $Al(OH)_3$.

У – это бинарное соединение $ЭH_m$ с массовой долей водорода 5% или 0.05:

$$w(H) = M(H) / [M(Э) + m \cdot M(H)] = 0.05.$$

Отсюда получаем, что $M(\text{Э}) = 20 - m$.

Для $m = 1$ получаем $M(\text{Э}) = 19$ – это фтор F, остальные значения m не дают разумных результатов. Следовательно, **Y** – это HF, а в реакции участвует водный раствор HF, то есть плавиковая кислота.

Теперь найдем молярную массу вещества **B** и его формулу, принимая, что это кислота, включающая один атом алюминия.

$$n(\text{Al}(\text{OH})_3) = m(\text{Al}(\text{OH})_3) / M(\text{Al}(\text{OH})_3) = 3.9 \text{ г} / 78 \text{ г/моль} = 0.05 \text{ моль};$$

$$m(\text{B}) = 200 \text{ г} \cdot 0.036 = 7.2 \text{ г};$$

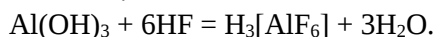
$$M(\text{B}) = 7.2 \text{ г} / 0.05 \text{ моль} = 144 \text{ г/моль}.$$

Катионы трехвалентных металлов, к которым относится Al, образуют с фторид-ионами анионы состава AlF_4^- , AlF_5^{2-} и AlF_6^{3-} , то есть минерал **B** имеет формулу $\text{H}_z[\text{AlF}_{(z+3)}]$.

$$1 \cdot z + 27 + 19 \cdot (z+3) = 144, \text{ отсюда } z = 3, \text{ то есть } \text{B} - \text{это фторалюминиевая кислота } \text{H}_3[\text{AlF}_6].$$

Вещество **B** – $\text{H}_3[\text{AlF}_6]$, **M** – $\text{Na}_3[\text{AlF}_6]$.

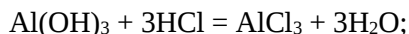
2.



3.



4.



Разбалловка:

1. За установление веществ X, Y, M, A, B по 2 б.	10 б.
2. За уравнения реакций по 3 б.	15 б.
Итого:	25 б.

Задача 9-2

Для определения карбонатов в щелочи используется кислотно-основное титрование, то есть содержание щелочи и карбонатов рассчитывают по объему раствора кислоты известной концентрации, который расходуется на реакцию с соответствующим веществом. При добавлении кислоты к анализируемому раствору, содержащему гидроксид и карбонат натрия, сначала титруется карбонат до гидрокарбоната и щелочь, этот объем кислоты V_1 фиксируется по обесцвечиванию раствора фенолфталеина. Дальнейшее добавление кислоты к раствору сопровождается титрованием гидрокарбоната до угольной кислоты, этот суммарный от начала титрования объем V_2 фиксируется по изменению окраски метилового оранжевого с желтой на красную.

Гранулы гидроксида натрия, загрязненные карбонатом, полностью растворили в воде. Полученный раствор оттитровали 0.1 моль/л раствором соляной кислоты и установили, что $V_1 = 10$ мл, $V_2 = 12$ мл.

1. Запишите уравнения реакции, которые протекают в растворе до V_1 и V_2 .

2. Установите массовую долю карбоната натрия и гидроксида натрия в образце.
3. Каким образом происходит загрязнение гидроксида натрия карбонатом? Ответ поясните и подтвердите уравнением реакции.

Решение

1. До V_1 протекают реакции: $\text{NaOH} + \text{HCl} = \text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{HCl} = \text{NaHCO}_3$.

От V_1 до V_2 протекает реакция: $\text{NaHCO}_3 + \text{HCl} = \text{H}_2\text{CO}_3 + \text{NaCl}$.

2. На титрование карбоната натрия по второй ступени расходуется объем $(V_2 - V_1) = 12 - 10 = 2$ мл или 0.002 л. Из уравнений реакций видно, что

$$n(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{NaHCO}_3) = n(\text{HCl}) = (V_2 - V_1) \cdot C(\text{HCl}) = 0.002 \text{ л} \cdot 0.1 \text{ моль/л} = 0.0002 \text{ моль}.$$

$$m(\text{Na}_2\text{CO}_3) = n(\text{Na}_2\text{CO}_3) \cdot M(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.0002 \text{ моль} \cdot 106 \text{ г/моль} = 0.0212 \text{ г}.$$

На титрование NaOH потребовался объем $[V_1 - (V_2 - V_1)] = 2V_1 - V_2 = 2 \cdot 10 - 12 = 8$ мл или 0.008 л. Аналогично:

$$n(\text{NaOH}) = n(\text{HCl}) = (2V_1 - V_2) \cdot C(\text{HCl}) = 0.008 \text{ л} \cdot 0.1 \text{ моль/л} = 0.0008 \text{ моль}.$$

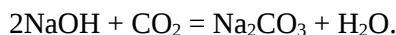
$$m(\text{NaOH}) = n(\text{NaOH}) \cdot M(\text{NaOH}) = 0.0008 \text{ моль} \cdot 40 \text{ г/моль} = 0.032 \text{ г}.$$

$$m(\text{образца}) = m(\text{Na}_2\text{CO}_3) + m(\text{NaOH}) = 0.0212 + 0.032 = 0.0532 \text{ г}.$$

$$\text{С учетом этого } w(\text{Na}_2\text{CO}_3) = 0.0212 / 0.0532 = 0.398 \text{ или } 39.8\%$$

$$w(\text{NaOH}) = 1 - 0.398 = 0.602 \text{ или } 60.2\%.$$

3. Гидроксид натрия взаимодействует с углекислым газом атмосферы:



Разбалловка:

- | | |
|---|-------|
| 1. За уравнения реакций по 3 б. | 12 б. |
| 2. За расчет массовой доли щелочи и карбоната по 6 б. | 12 б. |
| 3. За объяснение загрязнения щелочи | 1 б. |
| Итого: | 25 б. |

Задача 9-3

В колбу объемом 22.4 л на воздухе засыпали некоторое количество простого вещества **A**, привели к н.у., герметично закрыли пробкой, подожгли **A** искровым разрядом. После окончания экзотермической реакции горения колбу охладили до 0°C, давление в колбе равнялось 1 атм, плотность газовой смеси в колбе стала 1.2303 по воздуху. В колбу залили 5%-ный раствор NaOH в количестве, достаточном для полного связывания газообразного продукта **B** реакции горения, при этом образовалась соль **C**. Полученный мутный раствор нагревали при перемешивании до тех пор, пока соль **C** не превратилась в соль **D**, и после этого раствор стал прозрачным. Определите вещества **A** – **D** и количество исходного **A**. Составьте уравнения реакций образования **B**, **C**, **D**. Дайте

обоснованный ответ, выпадет ли осадок при добавлении CaI_2 к раствору соли **D**? Примите, что объемные доли известных основных трех компонентов воздуха равны 0.78, 0.21 и 0.01.

Решение

Простое твердое вещество, сгорающее до газообразного оксида, может быть углеродом или серой. Продуктом **B** могли быть CO_2 или SO_2 , продуктом **C** – Na_2CO_3 или Na_2SO_3 . Обе соли хорошо растворимы в воде, мутный раствор свидетельствует о наличии в колбе остатка несгоревшего **A**. Только сера способна растворяться в Na_2SO_3 с образованием $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Тот факт, что средняя молярная масса газовой смеси равна $1.2303 \cdot 29 = 35.679$ г/моль, позволяет вычислить молярную массу газообразного оксида **B**, заменившего израсходовавшийся полностью кислород:

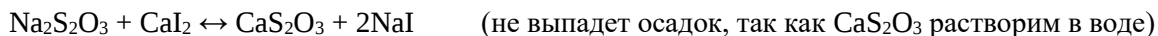
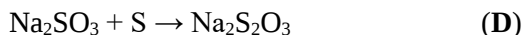
$$35.697 = 0.78 \cdot 28 (\text{N}_2) + 0.21 \cdot M + 0.01 \cdot 40 (\text{Ar}) \quad 35.697 = 21.84 + 0.21 \cdot M + 0.40M = 64 \text{ г/моль, это } \text{SO}_2.$$

Вещество **A** – это сера.

$$n(\text{S сгоревшей}) = n(\text{O}_2 \text{ в колбе объемом } 22.4 \text{ л при н.у.}) = 0.21 \text{ моль.}$$

$$\text{Отсюда } n(\text{SO}_2) = n(\text{Na}_2\text{SO}_3) = n(\text{S прореагировавшей с } \text{Na}_2\text{SO}_3) = 0.21 \text{ моль.}$$

Значит общее количество исходной серы было 0.42 моль.



Разбалловка

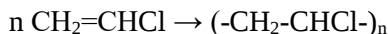
- | | |
|--|-------|
| 1. За определение веществ A, B, C, D по 3 б. | 12 б. |
| 2. За определение количества исходной серы (0.42 моль) | 3 б. |
| 3. За 3 уравнения реакций образования B, C, D по 3 б. | 9 б. |
| 4. За ответ на вопрос про результат действия CaI_2 на раствор $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ | 1 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 9-4

Трассирующие снаряды зенитных пушек предназначены для обозначения траектории полета снаряда и корректировки огня. Трассирующий состав №1 представляет собой 57.6 г смеси пероксида стронция SrO_2 и металлического магния (в соотношении, обеспечивающем полное протекание реакции), которая запрессована в нижней части снаряда, воспламеняется горячими пороховыми газами в момент выстрела, горит с ярким свечением во время полета снаряда. Аналогичный трассирующий состав №2 с пониженной светимостью представляет собой 54.9 г смеси $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ с полимером поливинилхлоридом.

Определите количества веществ окислителей, расходующихся при горении каждого трассирующего состава. Составьте уравнения реакций, протекающих при горении каждого состава.

Вычислите значения изменения энтальпии ($\Delta_r H^\circ 298$) в реакциях горения каждого состава в указанных массах, если известно, что изменение энтальпии в реакции определяется как сумма энтальпий образования продуктов минус сумма энтальпий образования исходных реагентов. Ниже приведены необходимые табличные данные необходимых для расчетов мольных энтальпий образования веществ: $\Delta_f H^\circ 298$, кДж/моль: -636.6 (SrO_2), -590.5 (SrO), -833.2 (SrCl_2), -984.08 ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$), -601.8 (MgO), -37.26 (на моль структурного звена поливинилхлорида $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$), -393.51 (CO_2), -285.83 ($\text{H}_2\text{O}_{\text{ж}}$). В продуктах реакций нет сажи, O_2 , Cl_2 . Поливинилхлорид получается полимеризацией винилхлорида по приведенному ниже уравнению, где n – степень полимеризации, которая не играет роли в расчетах:



Выход всех реакций 100% по всем участвующим веществам. Атомные массы элементов, за исключением Cl, округляйте до целых чисел.

Решение

Трассирующий состав №1



Пусть $n(\text{Mg}) = x$ моль, тогда $n(\text{SrO}_2) = x$ моль. Масса смеси ($\text{Mg} + \text{SrO}_2$) = $24x + 120x = 144x = 57.6$ г, $x = 0.4$ моль. Итак, $n(\text{Mg}) = 0.4$ моль, **$n(\text{SrO}_2) = 0.4$ моль.**

$$\Delta_r H^\circ 298 = 0.4(-590.5 - 601.8 + 636.6) = 0.4 \cdot (-555.7) = \textbf{-222.28 кДж}.$$

Трассирующий состав №2



0.2 моль 0.2 моль 0.1 0.1 0.4 0.2 0.3

Пусть $n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = x$ моль, тогда и $n(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}) = x$ моль. Масса смеси ($\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 + (\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})$) = $212x + 62.5x = 274.5x = 54.9$ г, $x = 0.2$ моль. Итак, **$n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0.2$ моль**, $n(\text{поливинилхлорида}) = 0.2$ моль звеньев $\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$.

$$\Delta_r H^\circ 298 \text{ (в расчете на 2 моль } \text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = -833.2 - 590.5 - 4 \cdot 393.51 - 3 \cdot 285.83 + 2 \cdot 984.08 + 2 \cdot 37.26 = -833.2 - 590.5 - 1574.04 - 857.49 + 1968.16 + 74.52 = -1812.55 \text{ кДж}.$$

Значит в расчете на 0.2 моль $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2$ **$\Delta_r H^\circ 298 = -181.255 \text{ кДж}$.**

Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За $n(\text{SrO}_2) = 0.4$ моль, $n(\text{Sr}(\text{NO}_3)_2) = 0.2$ моль по 4 б. | 8 б. |
| 2. За $\Delta_r H^\circ 298 = -222.28$ кДж, $\Delta_r H^\circ 298 = -181.255$ кДж по 4б. | 8 б. |
| 3. За уравнение реакции $\text{SrO}_2 + \text{Mg}$ | 4 б. |
| 4. За уравнение реакции $\text{Sr}(\text{NO}_3)_2 + 2(\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl})$ | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |