

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

Задача 8-1

Соединение **М** состоит из атомов трех химических элементов **X**, **Y** и **Z**. Массовая доля самого тяжелого элемента составляет 12.86%. Атомная масса **X** на 4 а.е.м. меньше, чем атомная масса **Y** и на 4 а.е.м. больше, чем **Z**. Известно, что 1 моль **М** содержит $6.02 \cdot 10^{23}$ атомов **Y**, что в три раза меньше, чем **X**, а число атомов **Z** в два раза больше, чем **X**.

Установите природу элементов **X**, **Y** и **Z**. Запишите химическую формулу **М**, принимая во внимание последовательность элементов и форму записи, принятую для соответствующего класса соединений.

Соединение **М** широко используется в промышленности для получения металла **Y**. 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 гидроксида **Y** избытком водного раствора бинарного соединения **Z** с водородом и дальнейшей нейтрализации полученного раствора гидрокарбонатом натрия. Для получения **М** можно использовать также способ прямого взаимодействия двух бинарных соединений **Z** (одно из них с **X**, другое – с **Y**). Напишите уравнения протекающих химических реакций. Напишите уравнение реакции термического разложения гидроксида **Y**, его взаимодействия с соляной кислотой и с щелочью.

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

Решение

Установим природу элементов **X**, **Y** и **Z**.

На основании соотношения атомов можно записать следующую общую формулу соединения **М**: X_3YZ_6 . Из условия также можно выразить молярные массы элементов и соединения X_3YZ_6 через молярную массу самого легкого элемента **Y**:

$$M(X) = M(Y) - 4 \quad M(Y) \quad M(Z) = M(Y) - 8$$

$$M(X_3YZ_6) = [M(Y) - 4] \cdot 3 + M(Y) + [M(Y) - 8] \cdot 6 = 10 \cdot M(Y) - 60.$$

Найдем молярную массу **Y** из его массовой доли:

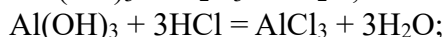
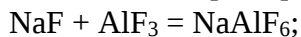
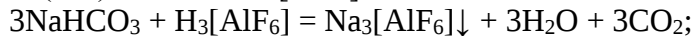
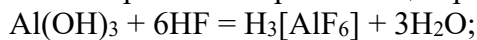
$$w(Y) = M(Y) / [10 \cdot M(Y) - 60] = 0.1286;$$

$$M(Y) = 27 \text{ г/моль, } Y \text{ – это алюминий Al; } M(X) = 27 - 4 = 23 \text{ г/моль, } X \text{ – это натрий Na;}$$

$$M(Z) = 23 - 4 = 19 \text{ г/моль, } Z \text{ – это фтор F.}$$

Формула соединения **М**: Na_3AlF_6 .

Уравнения протекающих реакций:



Разбалловка:

1. За установление элементов X, Y, Z по 1 б.	3 б.
2. За установление соединения М	4 б.
2. За уравнения реакций по 3 б.	18 б.
Итого:	25 б.

Задача 8-2

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 натрия NaOH и карбонат натрия Na₂CO₃, сначала титруется карбонат Na₂CO₃ до гидрокарбоната NaHCO₃ и щелочь NaOH, этот объем кислоты V₁ фиксируется по обесцвечиванию раствора индикатора фенолфталеина. Дальнейшее добавление кислоты к раствору сопровождается титрованием NaHCO₃ до угольной кислоты H₂CO₃, этот суммарный от начала титрования объем V₂ фиксируется по изменению окраски индикатора 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 V₁ = 10 мл, V₂ = 12 мл.

1. Запишите уравнения реакции, которые протекают в растворе до V₁ и V₂.
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 V₁ 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 V₁ до V₂ 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 (V₂-V₁) = 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 [V₁-(V₂-V₁)] = 2V₁-V₂ = 2·10-12 = 8 мл или 0.008 л.

Аналогично:

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

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

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

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

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

3. Гидроксид натрия взаимодействует с углекислым газом атмосферы:

$2\text{NaOH} + \text{CO}_2 = \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O}$.

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 8-3

В колбу объемом 22.4 л на воздухе засыпали некоторое количество серы, привели к нормальным условиям, герметично закрыли пробкой, подожгли серу искровым разрядом. После окончания экзотермической реакции горения колбу охладили до 0°C, давление в колбе стало равным 1 атм. На дне осталась частично неизрасходовавшаяся сера. В колбу залили 5%-ный раствор NaOH в количестве, достаточном для полного связывания газообразного продукта реакции горения с образованием соли А. Полученный мутный раствор нагревали при перемешивании до тех пор, пока соль А не превратилась в соль В, и после этого раствор стал прозрачным. Соль А способна обесцвечивать бром.

Составьте уравнения всех описанных реакций. Определите количество исходной серы. Примите, что объемные доли известных основных трех компонентов воздуха равны 0.78, 0.21 и 0.01.

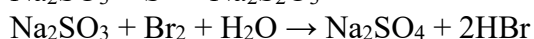
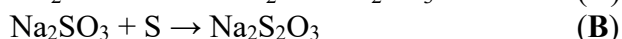
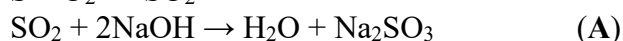
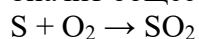
Решение

Сера сгорает не полностью, так как не хватает кислорода в закрытой колбе (при объемной доле кислорода в воздухе 21% его количество в 22.4-литровой колбе равно 0.21 моль. В результате горения серы 0.21 моль O_2 в колбе замещаются на 0.21 моль SO_2 , и давление остается без изменения.

Следовательно, количество сгоревшей серы $n(S \text{ сгоревшей}) = n(O_2) = 0.21$ моль.

Отсюда $n(SO_2) = n(Na_2SO_3) = n(S \text{ прореагировавшей с } Na_2SO_3) = 0.21$ моль.

Значит общее количество исходной серы было 0.42 моль.



Разбалловка

- | | |
|--|-------|
| 1. За определение количества исходной серы (0.42 моль) | 5 б. |
| 3. За 4 уравнения реакций образования по 5 б. | 20 б. |
| Всего: | 25 б. |

Задача 8-4

Трассирующие снаряды зенитных пушек предназначены для обозначения траектории полета снаряда и корректировки огня. Некоторый трассирующий состав включает 82.8 г смеси пероксида стронция SrO_2 и металлического алюминия (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.

Определите количества веществ SrO_2 и Al в смеси. Составьте термохимическое уравнение реакции горения смеси с указанием теплового эффекта. Известно, что тепловой эффект реакции определяется как сумма мольных теплот образования продуктов минус сумма мольных теплот образования исходных реагентов. Ниже приведены необходимые для расчета табличные данные по стандартным теплотам образования веществ, которые равны теплотам реакций образования 1 моль указанных сложных веществ из простых веществ: $Q^\circ_{обр.298}$, кДж/моль: 636.6 (SrO_2), 590.5 (SrO), 1676 (Al_2O_3). В продуктах реакций нет кислорода.

Решение



$$Q^\circ_{\text{реакции}298} = 3 \cdot 590.5 + 1676 - 3 \cdot 636.6 = 1771.5 + 1676 - 1909.8 = 1537.7 \text{ кДж.}$$

Рассчитаем количества SrO_2 и Al в исходной смеси:

Пусть $n(Al) = x$ моль, тогда $n(SrO_2) = 1.5x$ моль. Масса смеси $(Al + SrO_2) = 27x + 1.5 \cdot 120x = 207x = 82.8$ г, $x = 0.4$ моль. Итак, $n(Al) = 0.4$ моль, $n(SrO_2) = 0.6$ моль.

Разбалловка

- | | |
|---|-------|
| 1. За $n(SrO_2) = 0.6$ моль, $n(Al) = 0.4$ моль по 5 б. | 10 б. |
| 2. За расчет теплового эффекта реакции 1537.7 кДж | 10 б. |
| 3. За термохимическое уравнение реакции | 5 б. |
| Всего: | 25 б. |