

Межрегиональная олимпиада школьников
«Будущие исследователи – будущее науки» - 2023/24
Химия. Финальный тур. Время выполнения заданий – 180 минут.

9 класс

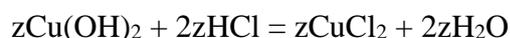
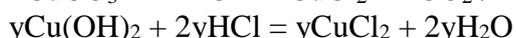
Задача 9-1

Два минерала **А** и **Б** имеют одинаковый качественный элементный состав. Синий цвет минерала **А** длительное время считался одним из самых редких и красивых. Он вдохновлял великих художников и иконописцев, его сияние на протяжении веков освещает своды Сикстинской капеллы Ватикана. Зеленый минерал **Б** используется как дорогой поделочный камень, пилястры и элементы декора из которого украшают залы московского Кремля.

На полное растворение измельченного **А** требуется в 1.5 раза больше водного раствора сильной минеральной кислоты, чем на растворение такого же количества вещества **Б**. При этом выделяется одинаковый объем бесцветного газа без запаха, не поддерживающего горение, и образуется водный раствор, содержащий только одно вещество. Если для растворения использовать соляную кислоту, то этим веществом является **В**. Установите химические формулы **А** и **Б**, если молярная масса **А** в 1.441 раза больше, чем **Б** и оба минерала можно рассматривать как смешанный гидроксид и карбонат металла в степени окисления +2. Ответ поясните соответствующими расчетами и рассуждениями. Запишите уравнения реакций растворения **А** и **Б** в соляной кислоте.

Решение

Цвет минералов указывает на соединения меди (II). Общую формулу **А** и **Б** можно представить в виде $x\text{CuCO}_3 \cdot y\text{Cu}(\text{OH})_2$ и $x\text{CuCO}_3 \cdot z\text{Cu}(\text{OH})_2$.



$$(2x+2y) / (2x + 2z) = 1.5$$

$$2x+2y = 3x+3z \quad x = 2y - 3z$$



$$M(\text{CuCO}_3) = 123.5 \text{ г/моль}, M(\text{Cu}(\text{OH})_2) = 97.5 \text{ г/моль}.$$

$$(123.5x+97.5y) / (123.5x+97.5z) = 1.441$$

$$123.5x+97.5y = 178x + 140.5z$$

$$54.5x = 97.5y - 140.5z$$

$$54.5(2y - 3z) = 97.5y - 140.5z$$

$$109y - 163.5z = 97.5y - 140.5z$$

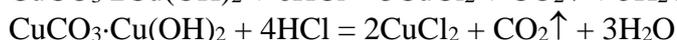
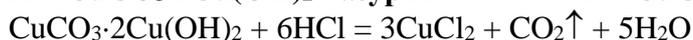
$$11.5y = 23z$$

$$y = 2z$$

$$x = 2y - 3z = 4z - 3z = z$$

$$(123.5z+97.5 \cdot 2z) / (123.5z+97.5z) = 1.441$$

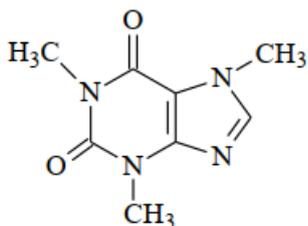
$$z = 1, x = 1, y = 2.$$



Разбалловка:

- | | |
|---|-------|
| 1. За установление веществ А , Б и В по 5 б. | 15 б. |
| 2. За реакции растворения А и Б в кислоте по 2 б. | 4 б. |
| 3. За расчеты и пояснения | 6 б. |
| Итого: | 25 б. |

Задача 9-2



Кофеин ($C_8H_{10}N_4O_2$) является основным тонизирующим компонентом чая и кофе. Он стимулирует психическую деятельность, повышает умственную и физическую работоспособность, двигательную активность. Однако большие дозы кофеина угнетающе действуют на организм человека, поэтому очень важно определять его содержание в продуктах. В классической аналитической химии для определения кофеина используют реакцию взаимодействия с хлорной кислотой $HClO_4$.

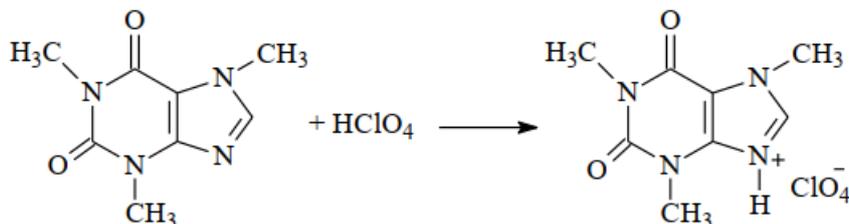
Напишите уравнение реакции между кофеином и хлорной кислотой, учитывая, что они взаимодействуют в молярном соотношении 1:1 и при этом образуется один продукт по донорно-акцепторному механизму (как хлорид аммония $NH_4^+Cl^-$ из NH_3 и HCl). При написании уравнения реакции используйте графическую формулу кофеина и продукта реакции.

Вычислите массовую долю кофеина в чае, если анализ чая проводили следующим образом. Кофеин количественно извлекли из 5 г чая в 50 мл раствора. На реакцию с 20 мл этого раствора потребовалось 15.5 мл 0.01 моль/л раствора хлорной кислоты.

Сколько чашек такого чая можно выпить в сутки, чтобы не превысить установленный в РФ максимальный уровень безопасного суточного потребления кофеина (150 мг). На одну чашку расходуется 2 г чая, кофеин в раствор извлекается полностью.

Решение

Реакция взаимодействия кофеина с раствором хлорной кислоты:



Найдем массовую долю кофеина в чае:

$$n(HClO_4) = 0.0155 \text{ л} \cdot 0.01 \text{ моль/л} = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 20 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль}$$

$$n(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.000155 \text{ моль} \cdot 2.5 = 0.0003875 \text{ моль}$$

$$m(\text{кофеина в 5 г чая}) = m(\text{кофеина в 50 мл раствора}) = 0.0003875 \text{ моль} \cdot 194 \text{ г/моль} = 0.075175 \text{ г}$$

$$\omega(\text{кофеина в чае}) = 0.075175 \text{ г} / 5 \text{ г} = 0.015 \text{ или } 1.5\%$$

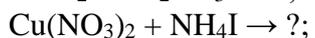
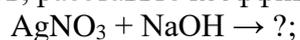
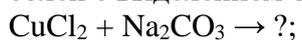
В 2 г чая содержится $0.075175 \text{ г} / 2.5 = 0.03 \text{ г}$ кофеина, то есть одна чашка чая содержит 0.03 г или 30 мг кофеина. 150 мг кофеина содержится в 5 чашках чая.

Разбалловка:

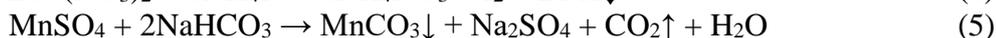
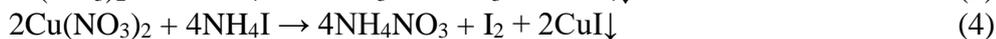
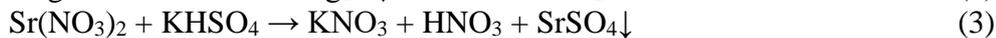
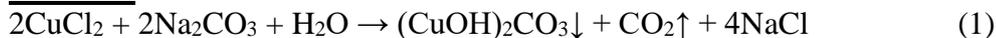
- | | |
|------------------------------------|-------|
| 1. За уравнение реакции | 10 б. |
| 2. За расчет массовой доли кофеина | 8 б. |
| 3. За расчет количества чашек чая | 7 б. |
| Итого: | 25 б. |

Задача 9-3

Допишите формулы продуктов 6 реакций, протекающих при сливании водных растворов солей с выделением осадков, расставьте коэффициенты.



Решение



Разбалловка

За уравнения 1-5 по 4 б. 20 б.

За уравнение 6 5 б.

Всего 25 б.

Задача 9-4

Современная технология выплавки силикатного стекла включает ряд реакций, в том числе взаимодействие кварцевого песка и сульфата натрия:



1. Определите тепловой эффект реакции (1), если известны значения молярных стандартных теплот образования $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 1390$ кДж/моль, $Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 911$ кДж/моль, $Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) = 1561$ кДж/моль, $Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) = 394$ кДж/моль, $Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) = 297$ кДж/моль.

Чтобы узнать, как связаны значения теплового эффекта реакции и молярных теплот образования участвующих в ней веществ, используйте известные данные для реакции:



$Q_{\text{обр.}}$ (кДж/моль) = 1131 для Na_2CO_3 , 911 для SiO_2 , 1561 для Na_2SiO_3 , 394 для CO_2 .

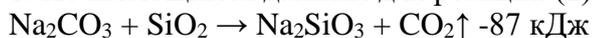
2. Определите, экзо- или эндотермической является реакция (1).

3. Определите, сколько кДж теплоты выделится (или поглотится), если для реакции (1) использовали смесь 30 г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

4. Найдите объем выделившихся газов при нагревании смеси 30г сульфата натрия, 1.2г угля и 12г песка, измеренный при давлении 405200 Па и температуре 819°C.

Решение

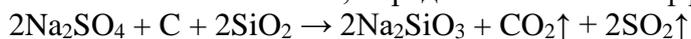
1. По имеющимся данным для реакции (2)



определим тепловой эффект реакции:

$$Q = Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) - Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{CO}_3) - Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 1561 + 394 - 1131 - 911 = -87 \text{ кДж}$$

Воспользовавшись этим, определим тепловой эффект реакции (1):



$$Q = 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SiO}_3) + Q_{\text{обр.}}(\text{CO}_2) + 2Q_{\text{обр.}}(\text{SO}_2) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{Na}_2\text{SO}_4) - Q_{\text{обр.}}(\text{C}) - 2Q_{\text{обр.}}(\text{SiO}_2) = 2 \cdot 1561 + 394 + 2 \cdot 297 - 2 \cdot 1390 - 0 - 2 \cdot 911 = 3122 + 394 + 594 - 2780 - 1822 = -492 \text{ кДж.}$$

2. Реакция **эндотермическая**.

2. Определим тепловой эффект такого процесса с участием 30г сульфата натрия, 1.2 г угля и 12 г песка.

$n(\text{Na}_2\text{SO}_4) = 30/142 = 0.211$ моль. $n(\text{C}) = 1.2/12 = 0.1$ моль. $n(\text{SiO}_2) = 12/60 = 0.2$ моль. В избытке взят сульфат натрия, в недостатке взяты SiO_2 и углерод.

3. Тепловой эффект определяем по углероду, который в недостатке. $Q = (-492) \cdot 0.1 = -49.2$ кДж.

4. Объем газов (CO_2 и SO_2) определяем по углероду, который в недостатке.

$n(\text{CO}_2) = n(\text{C}) = 0.1$ моль. $n(\text{SO}_2) = 2n(\text{C}) = 0.2$ моль. Общее количество газов $n(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 0.3$ моль. $T = 819 + 273 = 1092\text{K}$.

Объем газов определим с помощью уравнения Менделеева-Клапейрона:

$$V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = nRT/P = 0.3 \cdot 8.314 \cdot 1092/405200 = 0.00672 \text{ м}^3 = \mathbf{6.72 \text{ л.}}$$

Разбалловка

За расчет $Q = -492$ кДж реакции (1)	10 б.
За указание на эндотермичность реакции (1)	5 б.
За расчет $Q = -49.2$ кДж реакции (1) на 12г песка	5 б.
За расчет $V(\text{CO}_2 + \text{SO}_2) = 6.72$ л	5 б.
Всего	25 б.