

Всероссийская олимпиада школьников по химии 2020-2021 уч.г.

Муниципальный этап

26 ноября 2020 г.

Вологодская область

9 класс

РЕШЕНИЯ И КРИТЕРИИ

(максимум 120 баллов – по 20 баллов за задачу)

9-1 При прибавлении к раствору соляной кислоты железных опилок получился раствор с содержанием соляной кислоты и хлорида железа по 12% (массовых). Определите начальную концентрацию соляной кислоты в растворе.

Решение:

Запишем уравнение реакции: $\text{Fe} + 2\text{HCl} = \text{FeCl}_2 + \text{H}_2$ (4 балла)

Пусть a – начальная масса раствора, а $x \cdot a$ – масса содержащейся в ней HCl (x -искомая массовая доля кислоты). Обозначим как y количество вещества прореагировавших железных опилок, что соответствует $56y$ г. Тогда в ходе реакции образуется $(56+35,5+35,5)y=127y$ г хлорида железа и затратится $2 \cdot (35,5+1)y=73y$ г HCl . (4 балла)

Общая масса раствора составит сумму масс прореагировавшего железа и изначального раствора кислоты за вычетом выделившегося водорода $56y+a-2y=54y+a$ г. Таким образом, массовая доля хлорида железа будет равна $127y/(54y+a)$, а массовая доля HCl – $(xa-73y)/(54y+a)$. (4 балла)

По условию массовые доли кислоты и хлорида в продукте реакции равны. Это означает, что $127y=xa-73y$ или $200y=xa$, что эквивалентно $x=200(y/a)$. (4 балла)

$127y/(54y+a)=0,12$ по условию, отсюда $y/a=0,000996$. Таким образом, массовая доля соляной кислоты в начальном растворе составляла $x=0,1992$ или 19,92% (4 балла)

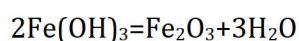
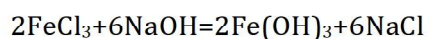
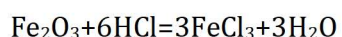
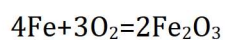
Баллы за элементы решения – ориентировочные. При решении другим путём – по 4 балла за реакцию и ответ, 12 баллов за верное решение.

9-2 При окислении металла **А** в кислороде образуется вещество **Б** красного цвета. При растворении вещества **Б** в HCl образуется раствор вещества **В** жёлтого цвета. При добавлении к раствору **В** гидроксида натрия выпадает осадок **Г** бурого цвета, при прокаливании которого образуется **Б**. Предложите расшифровку обозначений веществ и запишите уравнения описанных химических реакций. Укажите среди предложенных реакций окислительно-восстановительные.

Решение:

Вещества – $\text{А} - \text{Fe}$, $\text{Б} - \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{В} - \text{FeCl}_3$, $\text{Г} - \text{Fe}(\text{OH})_3$ (по 2 балла – всего 8 баллов)

Уравнения реакций – по 2 балла (всего 8 баллов)



Окислительно-восстановительной реакцией среди упомянутых является только реакция окисления железа (4 балла)

9-3 Молекула неизвестного вещества содержит столько же электронов, сколько и ион нитрата. Найдите самую лёгкую из таких молекул, рассчитайте молекулярную массу вещества, изобразите все возможные структурные формулы вещества.

Решение:

Ион нитрата имеет химическую формулу NO_3^- . (2 балла)

Найдём число электронов в нём: $7+3\cdot 8+1=32$ (3 балла)

Анализируя Периодическую систему приходим к выводу, что для выполнения требования о минимальной молекулярной массе, необходимо рассматривать молекулы с как можно большим содержанием атомов водорода (у него соотношение между массой и числом электронов равно 1, у других атомов около 2). Подходящей молекулой является C_4H_8 . Сумма числа электронов в ней равна $4\cdot 6+8=32$. Ближайший «конкурент» - бороводород состава B_4H_{12} не существует. (7 баллов)

Молекулярная масса равна $12\cdot 4+8=56$ (3 балла).


Изобразим возможные структурные формулы для вещества C_4H_8 : (по 1 баллу за каждую структуру - до 5 баллов)

бутен-1 $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_3$

бутен-2 $\text{CH}_3-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_3$

метилпропен (изобутилен) $\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)_2$

циклобутан  $(\text{CH}_2)_4$

метилциклопропан  $(\text{CH}_2)_2\text{CHCH}_3$

приводить названия для полного балла необязательно

9-4 Для приготовления пороха смешивают одну массовую часть серы, две части угля и шесть частей калийной селитры (нитрата калия). Рассчитайте максимальный объём газа (приведённый на нормальные условия), который может выделяться при разложении 1 г такого пороха. Напишите уравнения соответствующих реакций.

Решение:

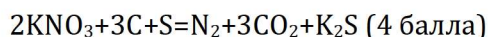
Определим массы составляющих 1 г пороха веществ и их количества: (3 балла)

$$m(\text{S})=1\text{ г}\cdot 1/(1+2+6)=1/9\text{ г} \quad n(\text{S})=1/9\text{ г}:32\text{ г/моль}=3,47\text{ ммоль}$$

$$m(\text{C})=1\text{ г}\cdot 2/(1+2+6)=2/9\text{ г} \quad n(\text{C})=2/9\text{ г}:12\text{ г/моль}=18,52\text{ ммоль}$$

$$m(\text{KNO}_3)=1\text{ г}\cdot 6/(1+2+6)=2/3\text{ г} \quad n(\text{KNO}_3)=2/3\text{ г}:101\text{ г/моль}=6,6\text{ ммоль}$$

Запишем уравнение «сгорания» пороха. Углерод в данной реакции, очевидно, является восстановителем, нитрат калия и сера – окислителями, газообразные продукты – азот и углекислый газ, в остатке твёрдый сульфид калия:



Видно, что в соответствии с этим уравнением углерод находится в большом избытке, сера – в небольшом избытке по отношению к нитрату калия. При полном расходовании нитрата калия образуется 9,9 ммоль углекислого газа и 3,3 ммоль азота. (3 балла)

Углекислый газ может реагировать с избытком углерода (избыток составляет $18,52 - 9,9 = 8,62$ ммоль). (2 балла)

В соответствии с уравнением



8,62 ммоль углерода, таким образом, даст дополнительно 8,62 ммоль газа (8,62 ммоль углекислого газа израсходуется, 17,24 ммоль угарного газа образуется). Итого в системе образуется $3,3 + 9,9 + 8,62 = 21,82$ ммоль газа. (3 балла)

При нормальных условиях молярный объём газа равен 22,4 л/моль. Соответственно, 21,82 ммоль соответствует $21,82 \cdot 22,4 = 489$ мл. (3 балла)

9-5 Определите формулу кристаллогидрата сульфата меди, если известно, что массовая доля кислорода в нём находится между 52 и 53%.

Решение:

Составим общую формулу кристаллогидрата сульфата меди, содержащего n молекул воды $\text{CuSO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (4 балла)

Массовая доля кислорода в кристаллогидрате может быть выражена как $16 \cdot (4+n) / (160 + n \cdot 18)$ (4 балла)

По условию $0,52 < 16 \cdot (4+n) / (160 + n \cdot 18) < 0,53$ (4 балла – составление уравнения)

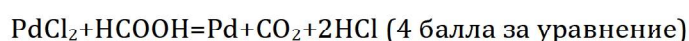
Решая систему неравенств, получим диапазон $2,9 < n < 3,2$. (решение системы неравенств 4 балла)

Полагая что n – целое число, только одно $n=3$ попадает в указанный диапазон. Таким образом, формула кристаллогидрата $\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ (4 балла)

9-6 Мысленный эксперимент Хлорид палладия (II) широко применяется в органической химии в качестве катализатора. Для определения концентрации в 100 мл раствора хлорида палладия добавили в избытке муравьиную кислоту HCOOH и прокипятили, при этом выпал осадок. Осадок отделили, промыли горячей водой, затем высушили в токе водорода. Высушенный осадок прокалили при 600°C в токе азота, затем охладили и взвесили. Масса осадка составила 1 г. Предположите, какая реакция идёт при добавлении муравьиной кислоты к раствору хлорида палладия и запишите её уравнение. Рассчитайте концентрацию (г/мл) хлорида палладия во взятом растворе. Сколько минимально (г) муравьиной кислоты нужно взять, чтобы корректно определить концентрацию хлорида палладия?

Решение:

Запишем формулу хлорида палладия (II) PdCl_2 . Предположим, какая реакция может идти при взаимодействии PdCl_2 и HCOOH в водном растворе. Определим степень окисления углерода в муравьиной кислоте: $-((-2 \cdot 2) + (+1 \cdot 2)) = +2$. Такая степень окисления для углерода не является распространённой и можно предположить, что муравьиная кислота участвует в данном случае в окислительно-восстановительной реакции (особенно с учётом того, что реакцию проводят при нагревании и последующем прокаливании). Учитывая положение палладия в Периодической системе и Электрохимическом ряду напряжений металлов, можно предположить, что палладий в ходе реакции будет восстанавливаться до простого вещества (это осадок). Соответственно, муравьиная кислота выступит в качестве восстановителя, а сама окислится. Составим соответствующее уравнение реакции. (4 балла за верное обоснование)



Из уравнения отметим, что $n(\text{Pd})=n(\text{PdCl}_2)$, то есть $m(\text{Pd})/M(\text{Pd})=m(\text{PdCl}_2)/M(\text{PdCl}_2)$. Отсюда $m(\text{PdCl}_2)=m(\text{Pd}) \cdot M(\text{PdCl}_2)/M(\text{Pd})=1 \text{ г} \cdot 177,33/106,42=1,67 \text{ г}$. Концентрация PdCl_2 таким образом составит $1,67/100=0,0167 \text{ г/мл}$ (6 баллов)

Рассчитаем минимальное количество муравьиной кислоты, её количество не должно быть меньше количества хлорида палладия в определяемом растворе $m(\text{HCOOH})=n(\text{HCOOH}) \cdot M(\text{HCOOH})=M(\text{HCOOH}) \cdot m(\text{Pd})/M(\text{Pd})=46/106,42=0,43 \text{ г}$ (6 баллов)