

Время выполнения заданий – 180 минут

Максимальное количество баллов – 100

Задание 1 (16 баллов)

Девятиклассник Ваня нашел у себя дома бокал, который привлек его своим необычным блеском. Ваня решил узнать состав стекла этого бокала. Оказалось, что стекло, из которого был сделан бокал, производилось из трех компонентов. Первый компонент, известный практически каждому как порошок желтого цвета, может медленно растворяться в щелочи (*реакция 1*) и реагирует с магнием (*реакция 2*).

Второй компонент при растворении в соляной кислоте выделяет газ (*реакция 3*), а нихромовая проволочка, смоченная в полученном растворе, при внесении в пламя горелки окрашивает его в фиолетовый цвет. Первый и второй компоненты при сильном нагревании реагируют между собой (*реакция 4*).

Третий компонент может раствориться в уксусной кислоте с образованием раствора, сладкого на вкус (*реакция 5*). Сладкий раствор может реагировать с раствором второго компонента, при этом выпадает белый осадок, содержащий в себе два элемента из одной группы периодической таблицы (*реакция 6*).

Вопросы:

1. Предложите состав всех трех компонентов и напишите реакции 1-6.
2. Несмотря на красоту бокала, его не рекомендуют часто использовать. Объясните, почему?

Задание 2 (21 балл)

Металл **X** известен человечеству с древних времён. Данный металл применяется повсеместно, в основном в сплавах, которые используются в электротехнике и других сферах жизни человека. Из интересных свойств стоит отметить достаточно высокую коррозионную стойкость металла **X** и его сплавов, что позволяет использовать металл **X** для изготовления специальных контейнеров, в которых хранят радиоактивные отходы.

Химия **X** и его соединений хорошо изучена. Например, простое вещество с легкостью может реагировать с желто-зелёным газом **Y**, давая **X₁**. В растворе **X₁** может реагировать с нитратом серебра, в результате получается **X₂**. Добавив к **X₂** водный раствор аммиака, можно получить раствор соединения **X₃**. Если к раствору **X₃** добавить жидкость **Z**, то выпадет осадок **X₄** ($\omega(\text{O}) = 11,11\%$) и образуется газовая смесь **B** с плотностью по гелию, равной 4,41. После пропускания данной смеси через большое количество воды плотность по гелию становится равной 7. При реакции со фтором **B** даёт только продукт **A**, схожий по строению с одним из компонентов смеси, и HF. Все соединения **X_i** содержат металл **X**.

Вопросы

1. Определите **X**, **X₁**-**X₄**. Для подтверждения формул соединений приведите соответствующие рассуждения или расчёты.
2. Определите **A** и рассчитайте количественный состав газовой смеси **B** в мольных долях.
3. Определите жидкость **Z**, если дополнительно известно, что при реакции **Z** со фтором образуется **A** и HF.

4. Один из компонентов смеси **В** и продукт **А** действительно схожи по строению, но углы между связями в координационном полиэдре – разные. У **А** углы получаются меньше. Объясните данное явление.

Задание 3 (21 балл)

Анализ количественного состава сплавов является одним из этапов контроля их качества в химическом производстве. В этой задаче мы с вами побудем химиками-аналитиками на заводе, который занимается сталеварением, и проверим качество выплавляемой стали.

Нам на анализ поступило 0,6000 г сплава состава 2Х13Н4Г9. Достоверно известно, что это должна быть сталь с высоким содержанием марганца (8-10%) и хрома (12-14%). Наш анализ можно разделить на следующие основные пункты:

- Растворение стали. К навеске прибавляют 20 мл воды, 2 мл разбавленной H_2SO_4 , 8 мл концентрированной HNO_3 и 5 мл концентрированной H_3PO_4 , накрывают стакан часовым стеклом и нагревают на песочной бане до полного растворения стали. Полученный раствор отфильтровывают и доводят водой до метки в мерной колбе на 100,0 мл.
- Окисление марганца и хрома. Аликвотную часть (10 мл) раствора стали пипеткой переносят в коническую колбу емкостью 150–200 мл, прибавляют 20 мл 2 М H_2SO_4 , 1,5 мл H_3PO_4 , 20 мл воды, 1–2 мл раствора $AgNO_3$ и 1–2 г персульфата аммония (*реакции 1, 2*). Колбу закрывают часовым стеклом и нагревают на песочной бане до полного окисления хрома и марганца. После чего раствор нагревают еще 5–7 мин.
- Определение суммы хрома и марганца. Раствор после окисления хрома и марганца охлаждают до комнатной температуры струей воды под краном, добавляют 4 мл концентрированной H_2SO_4 , 5 мл H_3PO_4 , из бюретки 25,00 мл 0,0500 М раствора соли Мора (*реакции 3, 4*). При этом должен исчезнуть розовый цвет раствора и появиться желтовато-зеленый. Затем вводят 2 капли раствора дифениламина и медленно титруют 0,0083 М раствором дихромата калия до устойчивой темно-синей окраски (*реакция 5*). На титрование ушло 4,55 мл раствора дихромата калия.
- Определение хрома. К горячему раствору после окисления хрома и марганца по каплям при тщательном перемешивании добавляют раствор $NaCl$ до полного восстановления MnO_4^- и изменения окраски раствора из розовой в чисто-желтую ($Cr(VI)$ не восстанавливается в этих условиях). К охлажденному раствору добавляют 4 мл конц. H_2SO_4 , 5 мл H_3PO_4 , 2 капли раствора дифениламина и титруют раствором соли Мора до изменения окраски раствора из темно-синей в зеленую. На титрование ушло 10,70 мл раствора соли Мора.

Вопросы

1. От чего фильтруют раствор на стадии растворения стали? Для чего необходима фосфорная кислота?
2. Почему навеску не растворяют в концентрированной соляной кислоте? Какую роль в окислении марганца и хрома играет $AgNO_3$? Зачем кипятить раствор ещё 5-7 минут после полного окисления хрома и марганца?
3. Запишите уравнения *реакций 1-5*.
4. Рассчитайте идеальную массу навески для анализа из предельных процентных содержаний определяемых компонентов при условии, что после добавления 25 мл соли

Мора должно остаться около 5 мл 0,05 М раствора восстановителя, чтобы было удобно титровать. На сколько идеальная масса отличается от выданной?

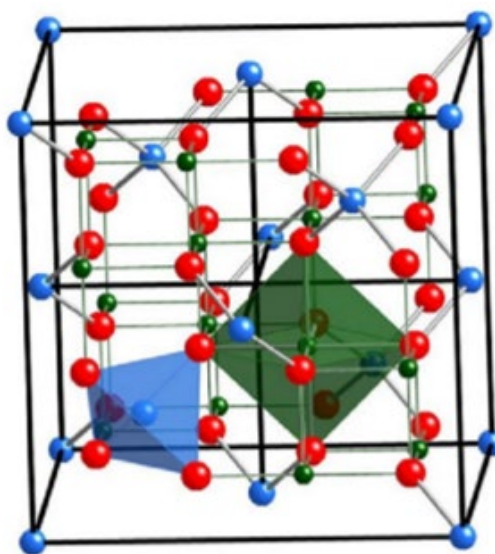
5. Определите количественное содержание Cr и Mn в выданной навеске в массовых процентах. Хорошо ли работает производство?

Задание 4 (21 балл)

Одним из двигателей прогресса являются новые материалы. Новые материалы – это новые возможности в создании различных вещей, будь то орудия труда в древности, или электронные девайсы с улучшенными характеристиками в наше время. Достижения в сфере материаловедения часто находят своё практическое применение в медицинской индустрии: таргетная доставка лекарств, магнитная гипертермия, неинвазивное измерение вязкости крови. Особый интерес привлекают магнитные материалы, а именно, магнитные наночастицы, пространственным положением которых возможно управлять при помощи внешнего магнитного поля, то есть без какого-либо механического воздействия.

Для работы в биосредах необходимо добиться стабильности коллоидных частиц в районе $\text{pH} = 7$, что достигается посредством функционализации поверхности различными покрытиями, одним из которых является SiO_2 .

X – одно из наиболее распространённых ферромагнитных оксидных соединений, способное образовывать стабильные коллоиды. Оно обладает кубической элементарной ячейкой с параметром $a = 0,845 \text{ нм}$, плотность соединения – $5,306 \text{ г/см}^3$ (см. рисунок).



1. Определите молекулярную формулу **X**, ответ подтвердите расчётом.

Для модификации поверхности берут 100 мл заранее приготовленного коллоидного раствора **X** с концентрацией 400 мг/л и добавляют к нему 300 мл воды. К полученному раствору через бюретку прикапывают раствор 800 мг Na_2SiO_3 в 100 мл воды. Во время прикапывания pH стараются держать в районе 2,7-2,8. Когда в бюретке остаётся 9-10 мл раствора Na_2SiO_3 , контроль pH прекращается.

2. Определите толщину слоя SiO_2 ($\rho = 2,28 \text{ г/см}^3$) на частицах **X** при условии, что в модели нашей задачи в ходе гидролиза силиката образуется именно SiO_2 , магнитные частицы сферические и имеют диаметр 10 нм, а слой ложится равномерно на все частицы.

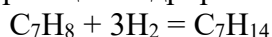
3. Зачем нужен контроль pH при модификации поверхности? Почему в конце синтеза контроль кислотности прекращается?

Задание 5 (21 балл)

В современной химии активно развивается научное направление, известное как зеленая химия. В зеленой химии применяются эффективные катализаторы, обеспечивающие глубокую конверсию исходных веществ без выбросов в окружающую среду. Характеристики таких катализаторов мы рассмотрим в данной задаче.

В проточный реактор загрузили палладиевый катализатор (в котором палладий нанесен на уголь и $\omega(\text{Pd}) = 1\%$) объемом 4 мл. Известно, что насыпная плотность катализатора равна 0.55 г/см^3 , его удельная поверхность равна $600 \text{ м}^2/\text{г}$.

В реакторе происходит следующая реакция гидрирования:



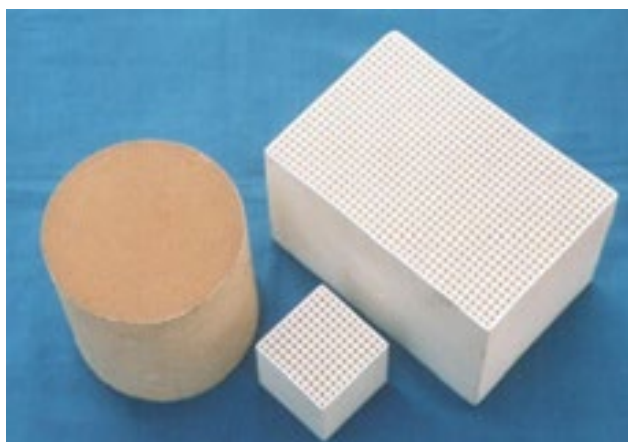
Толуол (C_7H_8) при гидрировании превращается в метилциклогексан (C_7H_{14}), при этом нам известно, что в начале реакции скорость подачи толуола в реактор – 3 моль/ч, а из реактора выходит 2.5 моль/ч толуола.

1. Определите удельную каталитическую активность на объем, массу и площадь поверхности катализатора, если известно, что активность измеряется как отношение скорости реакции к количеству катализатора (под количеством в данном случае может подразумеваться любая единица измерения для катализатора). Скорость измеряется в моль/ч.

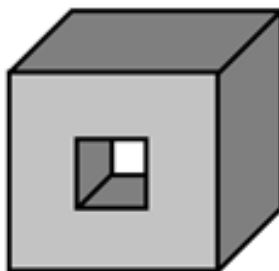
Для катализаторов вводят еще две характеристики: TOF и TON. TOF равно максимальному количеству превращающегося реагента, образовавшегося в единицу времени на одном активном центре катализатора. Активным центром мы считаем атом/группу атомов, при взаимодействии с которыми и происходит ускорение химических реакций. TON же равно количеству молей продукта, образовавшихся на одном моле активных центров до потери ими активности. TOF характеризует активность катализатора, а TON характеризует стабильность нашего катализатора, и для идеального катализатора эта величина равна бесконечности.

2. Определите TOF (в ч^{-1}) и TON для катализатора, указанного выше, если нам известны следующие условия: только 50% палладия образует активные центры (можно считать их одноатомными) и скорость реакции линейно падает со временем, становясь равной нулю через сутки после начала реакции.

Также свойства катализатора зависят от площади поверхности катализатора. Пример промышленного катализатора, использующего это свойство, представлен на фото.



Представим, что процессы в катализаторе идут только на поверхности катализатора, тогда пусть у нас есть катализатор в виде кубика с длиной ребра 5 см и другой катализатор, представляющий собой такой же кубик, только с квадратной дыркой с длиной стороны квадрата 2 см. Рисунок катализатора с дыркой представлен ниже.



3. Найдите соотношение площадей поверхностей двух описанных катализаторов и предскажите, на каком из них реакция будет идти быстрее.