

Задача 1

Девятиклассник Ваня нашел у себя дома бокал, который привлек его своим необычным блеском. После этого Ваня решил узнать, из чего сделан этот бокал. Оказалось, что стекло, из которого был сделан бокал, производилось из трех компонентов. Первый компонент, который видел практически каждый человек в виде порошка желтого цвета, может медленно растворяться в щелочи (*реакция 1*) и умеет реагировать 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. Определите все три компонента и напишите реакции 1-6.
2. Несмотря на красоту бокала, его не рекомендуют часто использовать. Объясните, почему существует такая рекомендация.

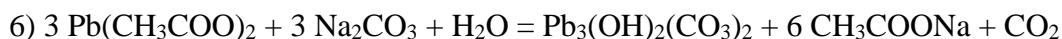
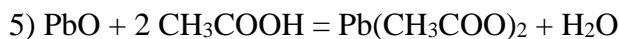
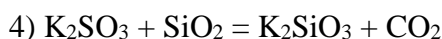
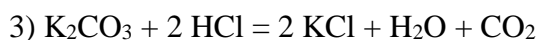
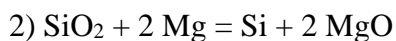
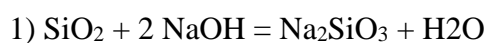
Решение

1. Если стакан сделан из стекла, то в нем почти точно будет содержаться диоксид кремния. По всей видимости, именно диоксид и будет подходить на роль первого компонента, и уравнения реакций это подтверждают.

Также в стеклах есть ионы щелочных металлов, и по всей видимости, второй компонент содержит калий, поскольку пламя окрашивается в фиолетовый цвет. Тогда по выделению газа понятно, что второй компонент – карбонат калия.

Поскольку третий компонент дает сладкий раствор, и мы знаем, что в нем есть элемент из 14 группы (как и углерод), то наверно, в нем есть свинец, а раз выпадает белый осадок, то скорее всего, у нас был оксид в степени окисления +2, и не было свинца (IV). Значит, третий компонент – PbO.

Реакции:



2. Из-за того, что в бокале есть свинец, при частом использовании он будет накапливаться в организме и отравлять пьющего из бокала.

Критерии оценивания

Пункт	Баллы
1. Каждый из трех компонентов – 2 балла, каждая реакция – 1 балл.	12 баллов
2. Ответ на вопрос – 4 балла.	4 балла
ИТОГО:	16 баллов

Задача 2

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** весьма хорошо изучена. Например, простое вещество с лёгкостью 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

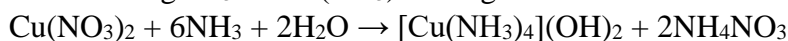
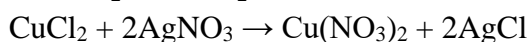
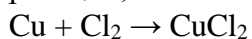
1. Определите **X**, **X₁**-**X₄**. Для подтверждения формул соединений приведите соответствующие рассуждения или расчёты.
2. Определите **A** и рассчитайте количественный состав газовой смеси **B** в мольных долях.
3. Определите жидкость **Z**, если дополнительно известно, что при реакции **Z** со фтором образуется **A** и HF.
4. Один из компонентов смеси **B** и продукт **A** действительно схожи по строению, но углы между связями в координационном полиэдре – разные. У **A** углы получаются меньше. Объясните данное явление.

Решение

- 1) Очевидно, решение нужно начать с расчёта X_4 . Из предположения, что X_4 – это оксид, можно представить его формулу в виде X_2O_n и найти молярную массу X :

$$M_X = \frac{\frac{M_O n}{\omega_O} - M_O n}{2}$$

При подстановке первого же $n = 1$ мы получаем, что молярная масса X равна 64 г/моль, что соответствует Cu . Газ Y – это, конечно же, хлор. Тогда, записав протекающие реакции, можно получить формулы оставшихся X_i :



$X - Cu$

$X_1 - CuCl_2$

$X_2 - Cu(NO_3)_2$

$X_3 - [Cu(NH_3)_4](OH)_2$

$X_4 - Cu_2O$

- 2) После пропускания смеси через большое количество воды плотность по гелию изменилась на 7, видимо, один из газов поглотился. Молярная масса оставшегося газа равна 28 г/моль, видимо это N_2 , так как он не поглощается водой. При реакции смеси со фтором образуется A и HF . Видимо водороды появились из второго компонента, $A - NF_3$. Исходя из формулы комплекса X_3 , можно предположить, что вторым компонентом смеси является аммиак. Давайте рассчитаем соотношение азота и аммиака, при условии, что молярная масса их смеси равна 17,64 г/моль, приняв x за мольную долю аммиака:

$$17,64 = 17x + 28(1 - x)$$

Откуда $x = 0,942$, а $1-x = 0,058$. Из мольных долей можно рассчитать мольное соотношение $0,942 : 0,058 = 16 : 1 = 16NH_3 : N_2$.

- 3) Жидкость Z состоит из азота и водорода, при этом является селективным восстановителем, так как восстанавливает медь из Cu^{2+} до Cu^+ , а не до простого вещества. Разумным предположением для формулы соединения Z является N_2H_4 , то есть гидразин.
- 4) Углы в соединениях общей формулой $NHal_3$ определяются электроотрицательностью галогена: чем больше электроотрицательность, тем меньше угол $Hal-N-Hal$, так как галоген перетягивает на себя электронную плотность и притягивает неподелённую электронную пару ближе к центральному атому. Фтор электроотрицательнее водорода, поэтому пара будет ближе к азоту, будет отталкивать фторы вниз и уменьшать углы между связями.

Критерии оценивания

Пункт	Баллы
1. Определение каждого из соединений – 2 балла.	10 баллов
2. Определение A – 2 балла, количественный состав – 3 балла.	5 баллов
3. Определение Z – 2 балла.	2 балла
4. Объяснение – 4 балла.	4 балла
ИТОГО:	21 балл

Задача 3

Анализ количественного состава сплавов является одним из этапов контроля химического качества на 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). 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?

Решение

- 1) Раствор фильтруют через фильтр «синяя лента» от осадка углерода и кремниевой кислоты. Осадок также промывают на фильтре горячим раствором H_2SO_4 , чтобы на нём не остались адсорбированные определяемые ионы.

Фосфорная кислота используется для связывания образующегося железа в фосфатный комплекс, чтобы при дальнейшем анализе оно не мешало.

- 2) Ионы Cl^- могут восстановить перманганат-ионы, а также мешают окислению персульфатом, так как могут окисляться и значительно снижать концентрацию ионов серебра.

Ионы Ag^+ в реакции окисления персульфат-анионами играют роль катализатора, образуя ионы Ag^{2+} в качестве интермедиата, которые являются намного более активными окислителями, чем $\text{S}_2\text{O}_8^{2-}$.

Раствор кипятят для разрушения избытка персульфата, однако не стоит забывать о том, что при нагревании могут разлагаться и перманганат-ионы, поэтому кипятят всего 5-7 минут.

- 3)
$$2\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 + 3(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + 7\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 6\text{NH}_4\text{NO}_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4$$
$$2\text{Mn}(\text{NO}_3)_2 + 5(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8 + 8\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HMnO}_4 + 10\text{NH}_4\text{HSO}_4 + 4\text{HNO}_3$$
$$\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 6(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 7\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 6(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$$
$$2\text{HMnO}_4 + 10(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 8\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 5\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{MnSO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 + 10(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 8\text{H}_2\text{O}$$
$$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 + 6(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 + 7\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{K}_2\text{SO}_4 + 6(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + 7\text{H}_2\text{O}$$

- 4) Исходя из вышенаписанных реакций, можно составить следующее уравнение:

$$\frac{m \cdot \omega_{\text{Mn}} \cdot V_{\text{ал}}}{M_{\text{Mn}} \cdot V_{\text{р-ра}}} \cdot 5 + \frac{m \cdot \omega_{\text{Cr}} \cdot V_{\text{ал}}}{M_{\text{Cr}} \cdot V_{\text{р-ра}}} : 2 \cdot 6 = c_{\text{Мора}} V_{\text{Мора}}$$

Данное уравнение получается, исходя из стехиометрических коэффициентов в реакциях. $V_{\text{ал}}$ здесь – это объём аликвоты (10 мл), $V_{\text{р-ра}}$ – это объём раствора, полученный после доведения до метки в мерной колбе на 100,0 мл растворённого исходника. Подставляя в данное уравнение предельные проценты и остальные известные, получаем $m = 0,5824$ г.

От выданной массы это отличается на 0,0176 г.

- 5) Сначала определяем суммарное количество марганца и хрома, выразим его через израсходованный объём соли Мора при добавлении избытка:

$$V_{\text{прореаг}} = 25 \text{ мл} - \frac{c_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} V_{\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7} \cdot 6}{c_{\text{Мора}}} = 20,47 \text{ мл}$$

На титрование хрома отдельно от марганца ушло 10,7 мл, значит на титрование марганца ушло:

$$20,47 \text{ мл} - 10,7 \text{ мл} = 9,77 \text{ мл}$$

Из этих объёмов можно рассчитать содержание марганца и хрома в стали:

$$m_{\text{Mn}} = \frac{c_{\text{Мора}} V_{\text{Мора}} : 5 \cdot V_{\text{р-ра}}}{V_{\text{ал}}} \cdot M_{\text{Mn}} = 0,0896 \text{ г}$$
$$m_{\text{Cr}} = \frac{c_{\text{Мора}} V_{\text{Мора}} : 6 \cdot 2 \cdot V_{\text{р-ра}}}{V_{\text{ал}}} \cdot M_{\text{Cr}} = 0,0927 \text{ г}$$

Отсюда можно рассчитать массовые доли хрома и марганца:

$$\omega_{\text{Cr}} = \frac{m_{\text{Cr}}}{m_{\text{навески}}} = 15,46\%$$

$$\omega_{Mn} = \frac{m_{Mn}}{m_{навески}} = 8,96\%$$

Массовая доля марганца находится в пределах нормы, а вот хрома содержится избыток.

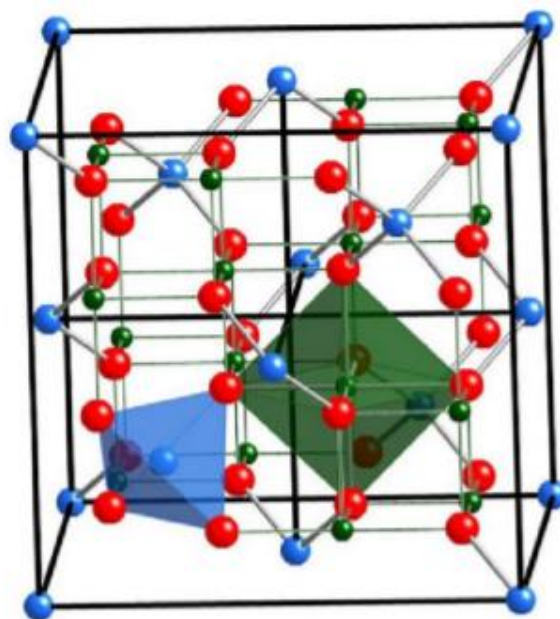
Пункт	Баллы
1. Ответ на каждый из вопросов – 1 балл.	2 балла
2. Ответ на каждый из вопросов – 2 балла.	6 баллов
3. Каждая из реакций – 1 балл.	5 баллов
4. Рассчитанная масса – 2 балла, отличие масс – 1 балл.	3 балла
5. Количественное определение каждого из элементов – 2 балла, вывод о работе производства – 1 балл.	5 баллов
ИТОГО:	21 балл

Задача 4

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. Прогресс в сфере материаловедения достаточно 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 внешнего вмешательства.

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 $a = 0,845$ нм, плотность соединения – $5,306$ г/см³ (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 ($\rho = 2,28$ г/см³) 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?

Решение

- 1) Для начала поймём, что это за соединение. Из решетки можно рассчитать брутто-формулу.

Синие шарики: 8 в вершинах, 6 на гранях и 4 в объёме, значит 8 синих шариков приходится на одну элементарную ячейку.

Зелёные шарики: 16 шариков в объёме, значит 16 зелёных шариков приходится на одну элементарную ячейку.

Красные шарики: 32 шарика в объёме, значит 32 красных шарика приходится на одну элементарную ячейку.

Получившаяся формула – $\text{C}_8\text{Z}_{16}\text{K}_{32}$. Число формульных единиц $Z = 8$, значит, брутто-формула – $\text{C}_2\text{Z}_4\text{K}_8$, оказывается, это шпинель.

Рассчитаем молярную массу данного соединения:

$$M = \frac{a^3 \rho N_A}{Z} = \frac{(0,845 \cdot 10^{-7})^3 \cdot 5,306 \cdot 6,022 \cdot 10^{23}}{8} = 241 \text{ г/моль}$$

Разумно предположить, что красные шарики – это кислород. Так как это ферромагнитная шпинель, то под зелёными шариками, видимо подразумевается железо, а вот, что скрывается под синими шариками, нам ещё предстоит определить:

$$M_c = 241 - 16 \cdot 4 - 56 \cdot 2 = 65 \text{ г/моль}$$

Значит, синие шарики – это цинк. Финальная формула – ZnFe_2O_4 .

- 2) Для того, чтобы рассчитать толщину слоя на одной частице, нам необходимо понять, сколько вообще частиц находится в растворе. Объём одной частицы можно рассчитать из формулы объёма шара:

$$V_{\text{частицы}} = \frac{4}{3} \pi r^3 = 5,236 \cdot 10^{-19} \text{ см}^3$$

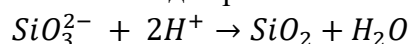
Далее необходимо найти общий объём всех частиц, это можно сделать при помощи простой формулы, которая знакома все из уроков школьной физики:

$$V_{\text{общий}} = \frac{m}{\rho} = \frac{cV}{\rho} = 0,075 \text{ см}^3$$

Поделим общий объём на объём одной частицы и найдём количество частиц:

$$N = \frac{V_{\text{частицы}}}{V_{\text{общий}}} = 1,432 \cdot 10^{17} \text{ шт}$$

Теперь необходимо понять сколько оксида кремния осело на одной частице:



$$m_{\text{SiO}_2} = \frac{m_{\text{Na}_2\text{SiO}_3}}{M_{\text{Na}_2\text{SiO}_3}} M_{\text{SiO}_2} = 0,393 \text{ г}$$

$$V_{\text{SiO}_2 \text{ на 1 частице}} = \frac{m_{\text{SiO}_2}}{\rho_{\text{SiO}_2} \cdot N} = 1,205 \cdot 10^{-18} \text{ см}^3$$

Теперь представим, что объём частицы увеличили на объём оксида кремния и представим это изменения через добавку к радиусу, что и будет толщиной слоя:

$$V_{\text{частицы}} + V_{\text{SiO}_2 \text{ на 1 частице}} = \frac{4}{3} \pi (r + x)^3$$

Откуда $x = 2,445 \cdot 10^{-7} \text{ см}^3 = 2,445 \text{ нм}$

- 3) Контроль pH необходим для того, чтобы гидролиз силиката продолжался. Как видно из уравнения реакции, для гидролиза необходима кислая среда, поэтому мы постепенно добавляем кислоту. Добавить сразу много кислоты нельзя, так как есть шанс, что наночастицы растворятся. Контроль pH в конце прекращают, чтобы среда стала нейтральной и частицы можно было использовать в биологических средах.

Критерии оценивания

Пункт	Баллы
1. Подсчет числа каждех шариков – 2 балла, формула без определения элементов – 1 балл, за каждей определенный элемент – 1 балл.	10 баллов
2. Подсчет числа частиц – 1 балл, объема кремния – 1 балл, толщины слоя – 3 балла.	5 баллов
3. Ответ на каждей вопрос – 3 балла.	6 баллов
ИТОГО:	21 балл

Задача 5

В современной химии активно развивается научное направление, известное как зеленая химия. В зеленой химии активно применяются катализаторы, характеристики которых мы сегодня 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:



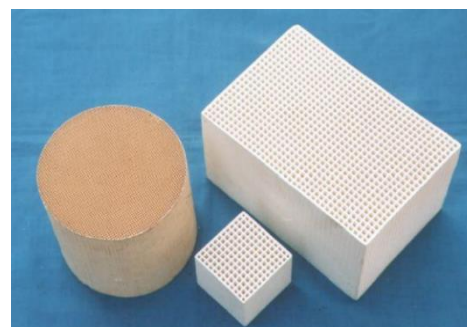
Толуол (C_7H_8) при гидрировании превращается в метилциклогексан (C_7H_{14}), при этом нам известно, что в начале реакции скорость подачи толуола в реактор – 3 моль/ч, а из реактора выходит 2.5 моль/ч толуола.

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.

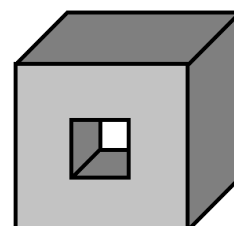
Для катализаторов вводят еще две характеристики: TOF и TON. TOF равно максимальному количеству превращающегося реагента, образовавшегося в единицу времени на одном активном центре катализатора. Активным центром мы считаем атом/группу атомов, при взаимодействии с которыми и происходит ускорение химических 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.



3. Найдите отношение площадей поверхностей двух катализаторов и предскажите, на каком из них реакция будет идти быстрее. Рисунок катализатора с дыркой представлен ниже.



Решение

1. Скорость реакции будет измеряться как разность потока толуола на входе и выходе, и она равна $r = 3 - 2.5 = 0.5$ моль/ч.

Тогда масса катализатора $m = \rho V = 0.55 \cdot 4 = 2.2$ г.

Площадь поверхности катализатора равна $S = S_{уд} \cdot m = 600 \cdot 2.2 = 1320$ м².

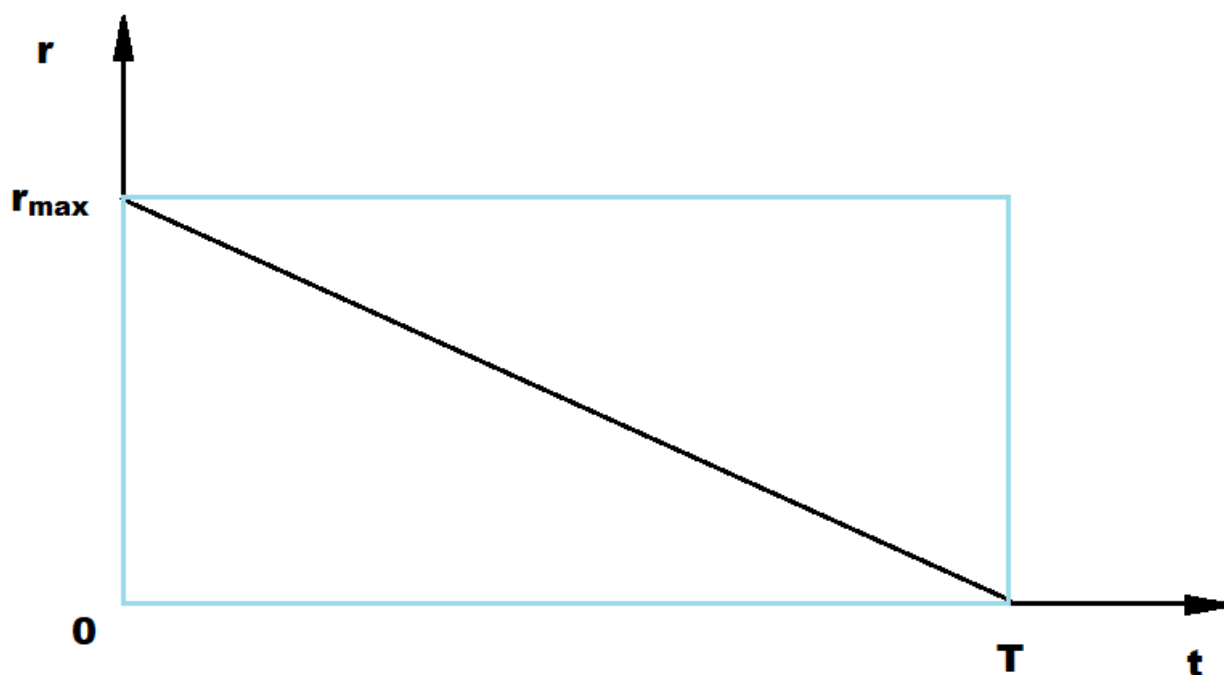
Тогда удельная каталитическая активность на массу равна $r/m = 0.5/2.2 = 0.227$ моль/г·ч; на объем – $r/V = 0.5/4 = 0.125$ моль/см³·ч; на площадь поверхности – $r/S = 0.5/1320 = 3.79 \cdot 10^{-4}$ моль/ч·м².

2. Поскольку в начале скорость реакции была наибольшей, то будем измерять TOF в начале реакции. Тогда $TOF = n(\text{толуол})/(t \cdot n(\text{Pd})) = r/n(\text{Pd})$

$n(\text{Pd}) = n_0(\text{Pd})\eta = m\omega(\text{Pd})\eta/M(\text{Pd}) = 2.2 \cdot 0.01 \cdot 0.5/106 = 1.04 \cdot 10^{-4}$ моль

$TOF = 0.5/1.04 \cdot 10^{-4} = 4.81 \cdot 10^3$ ч⁻¹

Поскольку скорость реакции линейно падает, то можно представить ее падение в виде графика:



Заметим, что произведение скорости на время даст нам количество продукта, полученное за это время. Тогда если скорость постоянна, то количество продукта равно площади голубого прямоугольника, но так как скорость падает, то количество продукта равно половине от данного прямоугольника. Тогда

$TON = r_{\max} \cdot t/2n(\text{Pd}) = 0.5 \cdot 24/2 \cdot 1.04 \cdot 10^{-4} = 5.77 \cdot 10^4$.

3. Площадь поверхности куба $S = 6S_{\text{грани}} = 6a^2 = 6 \cdot 5^2 = 150$ см²

Площадь поверхности куба с дыркой равна площади поверхности куба, из которой вычли две квадратные дырки, и к ней еще добавляется площадь 4 прямоугольных поверхностей внутри дырки:

$$S_1 = S - 2b^2 + 4ab = 150 - 2 \cdot 2^2 + 4 \cdot 2 \cdot 5 = 182 \text{ см}^2$$

$$S_1/S = 182/150 = 1.21$$

Реакция зависит от площади поверхности, так что на кубе с дыркой она будет идти точно быстрее.

Критерии оценивания

Пункт	Баллы
1. Определение скорости реакции – 1 балл, определение массы и площади поверхности – по 1 баллу за каждую. Определение удельной каталитической активности по объему, площади, массе – 2 балла за каждое. Если указана некорректная размерность – 0 баллов.	9 баллов
2. Рассчитано количество активных центров – 2 балла. Рассчитан верно TOF – 2 балла. Верно рассчитанный TON – 3 балла.	7 баллов
3. Площадь поверхности куба – 1 балл, куба с дыркой – 2 балла. Рассчитано отношение площадей – 1 балл, верное утверждение о скорости – 1 балл.	5 баллов
ИТОГО:	21 балл