

Десятый класс

Задача 10-1

Неизвестная соль X_1 металла X растворима в воде, а при электролизе её водного раствора может быть получена хлорная известь (*р-ция 1*). Неизвестная соль Y_1 металла Y растворима в воде, она окрашивает пламя в жёлтый цвет, водный раствор этой соли окрашивает метилоранж в жёлтый цвет. К раствору Y_1 добавляли по каплям азотную кислоту (*р-ция 2*) до тех пор, пока метилоранж не стал красным. К этому раствору добавили нитрат серебра, наблюдали выпадение жёлтого осадка (*р-ция 3*).

К раствору соли Y_1 по каплям при интенсивном перемешивании прибавили 12,1 мл 40,0%-ного раствора X_1 ($\rho = 1,396 \text{ г/см}^3$) до выпадения белого осадка Z (*р-ция 4*), массовая доля X в котором равна 38,03%. Осадок Z отфильтровали, к фильтрату добавили избыток азотной кислоты и нитрата серебра, масса выпавшего при этом белого творожистого осадка составила 17,45 г. Если образовавшийся осадок Z не отфильтровать быстро, он постепенно превращается в кристаллический продукт M (*р-ция 5*), играющий важную роль в организме человека. При прокаливании Z его масса уменьшается на 1,90% (*р-ция 6*).

Вопросы:

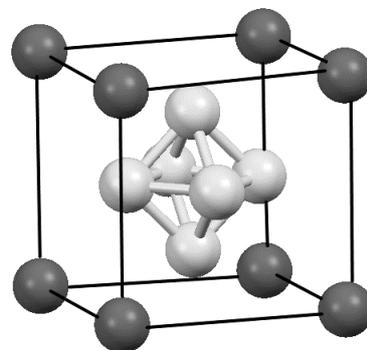
1. Определите металлы X , Y и неизвестные вещества X_1 , Y_1 , Z , M , зная, что в состав Z входит три аниона, а в состав M только два. Ответ обоснуйте, подтвердите расчетом.
2. Запишите уравнения реакций 1 – 6.
3. Найдите массовые доли всех веществ в растворе, полученном смешением 90 г 6%-ной соляной кислоты и 10 г вещества Y_1 .

Задача 10-2

Простое вещество B , образованное элементом X , может быть получено при нагревании белого аморфного порошка A с небольшим избытком магния (*р-ция 1*). При этом B загрязнен веществом B (*р-ция 2*), содержащим 47,08 % X . При нагревании B с металлическим барием высокой чистоты в танталовом сосуде образуется вещество G (см. рисунок).

Аморфное вещество **Б** растворяется при нагревании в концентрированной азотной кислоте (*р-ция 3*), при упаривании полученного раствора и охлаждении выделяются бесцветные кристаллы **Ж**. При термическом разложении **Ж** на воздухе образуется **А** (*р-ция 4*).

Нагреванием **А** с углем в токе хлора получают бесцветную жидкость **Д**, дымящую во влажном воздухе (*р-ция 5*). Реакцию взаимодействия **Д** с аммиаком при 1000 °С можно использовать для осаждения тонких плёнок вещества **Е** (*р-ция 6*). Вещество **Е** имеет слоистую структуру.



Структура Г

Вопросы:

- 1) Определите неизвестный элемент **Х** и вещества **А-Ж**, ответ обоснуйте, подтвердите расчётом, где это необходимо. В уравнение реакции **6** реагенты входят с одинаковыми коэффициентами. Вещество **Е** называют «белый ... », приведите недостающее слово.
- 2) Напишите уравнения реакций **1 – 6**.
- 3) Как можно очистить **Б** от примеси **В**? Запишите уравнение реакции.
- 4) Укажите какие из перечисленных свойств относятся к веществу **Е**: мягкое, твёрдое, легкоплавкое, тугоплавкое, реакционноспособное, инертное, диэлектрик, анизотропный проводник, изотропный проводник.

Задача 10-3

В таблице приведены составы газовых смесей бинарных соединений:

Смесь	Компоненты	Массовая доля первого компонента, %	Объёмная доля первого компонента, %	Окраска смеси
I	А + В	26,91	30,00	желтоватая
II	В + С	?	?	бесцветная
III	С + D	91,95	94,74	бесцветная

Все эти смеси при данных температуре и давлении имеют одинаковую плотность. Компоненты смеси образованы двумя элементами **Х** и **У**.

Известно, что молекулы **А-С** четырёхатомные.

Химические свойства соединений **А-D** изучены слабо. Известно, что они

термически нестабильны и достаточно легко разлагаются до простых веществ. При осторожном нагревании разложение идёт не до конца: **A** превращается в **C** (*p-ция 1*), а **D** превращается в **B** (*p-ция 2*). Между тем, **D** можно получить из **B** пропусканием **B** над раскалёнными железными стружками (*p-ция 3*). Смеси данных соединений с водородом взрывоопасны (*p-ции 4-7*). Кроме того, все они в той или иной степени гидролизуются, однако в описании продуктов гидролиза встречаются некоторые противоречия.

Вопросы:

- 1) Какова окраска соединений **A-D**?
- 2) Расположите газы **A-D** в порядке возрастания их молярных масс.
- 3) Заполните ячейки с вопросительными знаками в таблице.
- 4) Установите формулы соединений **A-D**.
- 5) Напишите уравнения реакций 1-7.

Указание: все газы в задаче считать идеальными.

Задача 10-4

В 2003 году сотрудники Института катализа им. Г. К. Борескова СО РАН в сотрудничестве со своими коллегами из Института катализа в городе Эйнховен (Нидерланды) опубликовали статью, где описан одностадийный способ получения вещества **X**, использующегося при синтезе некоторых красителей, в частности, входящих в состав гуашевых красок.

Суть разработанного процесса заключается во взаимодействии бинарных веществ **A** и **B** в присутствии железосодержащего цеолита Fe-ZSM-5. Химически инертное вещество **A**, как правило, вступает в реакции только в присутствии катализаторов. Соединение **X** же, напротив, легко взаимодействует с различными реагентами. Например, и **A**, и **X** реагируют с бромом, однако **A** – только в присутствии катализатора, а **X** – без катализатора и в водной среде. Соединение **B** (содержит 36,36% кислорода по массе) в малых концентрациях присутствует в атмосфере и способствует образованию озоновых дыр. Вещество **A** сгорает с образованием большого количества сажи.

В таблице ниже приведены некоторые характеристики указанных веществ.

Вещество	A	B	X
$T_{\text{плавления}}, ^\circ\text{C}$	5,5	-90,9	40,9
$T_{\text{кипения}}, ^\circ\text{C}$	80,1	-88,5	181,8
Дипольный момент, Д	0	0,16	1,40
Растворимость в 100 г H_2O , г	0,073	0,15	6,5

В настоящее время известно ещё несколько способов получения **X**. Среди них:

- окисление углеводорода **C** кислородом с последующей обработкой полученного промежуточного соединения серной кислотой; в ходе данного процесса образуется также ацетон в эквимольном соотношении с **X**;
- прокаливание **D** (трёхэлементное, массовая доля хлора равна 31,56%) со щелочами при повышенном давлении с последующей нейтрализацией;
- прокаливание натриевой соли одноосновной кислоты **E** (массовая доля серы в кислоте равна 20,25%) с твёрдым гидроксидом натрия при повышенном давлении.

В лаборатории **X** можно получить из **A** в три стадии. Для этого **A** вначале нагревают со смесью HNO_3 и H_2SO_4 (*стадия 1*), полученное вещество **F** выделяют и восстанавливают оловянной стружкой в среде соляной кислоты при нагревании (*стадия 2*). После окончания реакции в растворе остаётся соль **G**, которую обрабатывают нитритом натрия в среде соляной кислоты при нагревании (*стадия 3*). В результате получается вещество **X**. Если стадию **3** проводить при охлаждении, а не при нагревании, продуктом реакции будет соль **H**.

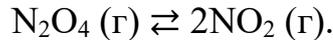
Вопросы:

1. Расшифруйте вещества **A – E** и **X** и приведите их структурные формулы.
2. Приведите структурные формулы продуктов взаимодействия **A** и **X** с бромом. Какое вещество будет образовываться при бромировании **X** большим избытком брома? Приведите пример катализатора, который можно использовать для бромирования вещества **A**.
3. Предложите одностадийные схемы получения веществ **C**, **D** и кислоты **E** из **A**.
4. Напишите уравнение процесса, разработанного в Институте катализа им. Г. К. Борескова СО РАН.
5. Изобразите структурные формулы веществ **F – H**.

Задача 10-5

Оксиды азота и равновесия

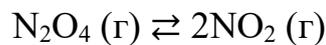
1. Оксид азота NO_2 находится в равновесии со своим димером:



Выразите степень диссоциации (α) оксида N_2O_4 через общее давление (P) в реакторе и константу равновесия этой реакции, выраженную через давления (K_p).

Как изменятся константа равновесия и степень диссоциации при увеличении давления? Как изменятся константа равновесия и степень диссоциации при увеличении температуры? Объясните свой ответ в каждом случае.

2. Константа равновесия реакции



при 25°C равна $K_p = 0,142$.

Примечание: При расчёте констант равновесия K_p давления газов следует выражать в барах ($1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$).

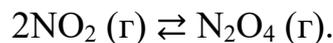
В вакуумированный сосуд объёмом 5 л поместили 4,6 г N_2O_4 и выдержали при 25°C до установления равновесия.

Рассчитайте степень диссоциации N_2O_4 , состав смеси газов в сосуде (в мольных долях), парциальные давления газов и общее давление (в бар), среднюю молярную массу и плотность смеси. Газы считайте идеальными.

3. Оксид азота N_2O_3 в газовой фазе подвергается термической диссоциации по реакции



В свою очередь, образующийся в этой реакции оксид азота NO_2 димеризуется с образованием N_2O_4 :



При температуре 33°C константа равновесия первой реакции равна $K_{p1} = 3,0$.

В вакуумированный реактор объёмом 1,25 л поместили 15,7 г чистого оксида N_2O_3 , нагрели до 33°C и дождалась установления равновесия. Равновесное давление NO оказалось равно 3,5 бар.

Рассчитайте равновесные парциальные давления всех газов (в бар) и общее равновесное давление газов в реакторе, а также константу равновесия второй реакции K_{p2} . Считайте все газы идеальными.