



## Химия для школьников 7 – 11 класса (заочный тур) Решение задачи 5. Нанокатализатор

1. Из условий задания требуется определить, о каких двух металлах в составе сложного оксида идет речь. Обратим внимание на то, какие соединения M1 и M2 подвергаются гидролизу в процессе синтеза оксида.

Состав  $(\text{NH}_4)_6(\text{M}2)_7\text{O}_{24}$  достаточно редко встречается в химической литературе. Несложно установить, что значительное число источников относится к парамолибдату аммония, который имеет состав  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$  и  $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  в водном растворе и в виде кристаллов соответственно. Парамолибдат аммония имеет белый цвет. Гидролиз протекает в кислой среде по следующему уравнению:



О металлическом молибдене известно, что из него изготавливаются крючки, фиксирующие вольфрамовую проволоку в лампах накаливания.

Для определения второго металла нужно рассчитать мольное соотношение M1 и M2 из указанных условий синтеза. Из условия известно, что металлы находятся в высших степенях окисления и имеют степени окисления +5 и +6 соответственно. Возможные варианты включают следующие металлы: V, As, Nb, Sb, Ta, Bi.

Рассмотрим случай, когда синтез производится путем сливания равных объемов растворов по 100 мл. В 100 мл раствора содержится

$$n = \frac{872,85 \frac{\text{г}}{\text{л}} \cdot 0,1 \text{ л}}{1163,8 \frac{\text{моль}}{\text{л}}} = 0,075 \text{ моль Mo}$$

Путем перебора молекулярных масс элементов находим число молей M1 в растворе после сливания.

V	As	Nb	Sb	Ta	Bi
0,912	0,062	0,05	0,03815	0,02567	0,02223
моль	моль	моль	моль	моль	моль

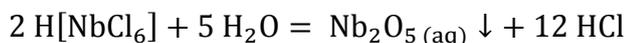
Согласно расчету, целочисленные соотношения M1 : M2 могут иметь место для трех случаев:

$$\text{Nb} : \text{Mo} = 2 : 3, \quad \text{Sb} : \text{Mo} = 1 : 2, \quad \text{Ta} : \text{Mo} = 1 : 3.$$

Рассмотрим дополнительные сведения об элементе M1. Известно, что в металлическом виде он используется в конструкции ТВЭЛ. Этому условию соответствуют ниобий и тантал. Кроме того, известно, что при гидролизе формируется белый осадок, в то время как гидролиз хлорида сурьмы привел бы к образованию осадка желтого цвета. Таким образом, сурьма не может являться M1.

О М1 также известно, что он используется в ряде стран для изготовления цветных монет. Цветные монеты получают путем анодирования поверхности ниобия. Кроме того, ниобий значительно дешевле тантала, что делает его более привлекательным для промышленного использования.

Процесс гидролиза хлоридного комплекса Nb может быть описан следующим уравнением:



Итак, запишем итоговый состав оксида:  $\text{Nb}_2\text{Mo}_3\text{O}_{14}$ .

2. Процесс каталитического дегидрирования этана можно записать следующим образом:



Запишем в общем виде уравнение для скорости этой реакции:

$$v = k \cdot p(\text{C}_2\text{H}_6)^n,$$

где  $k$  – константа скорости,  $n$  – порядок реакции. За равные промежутки времени давление этана уменьшается на разные значения, поэтому зависимость – нелинейная, порядок реакции – ненулевой. В случае первого порядка зависимость должна быть экспоненциальной:

$$p(\text{C}_2\text{H}_6) = p_0 \cdot e^{-kt}$$

или

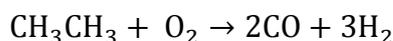
$$k = \frac{1}{t} \ln \frac{p_0}{p(\text{C}_2\text{H}_6)}$$

Проверим это соотношение, подставив в него экспериментальные данные

$t, \text{c}$	10	20	40	60
$k, \text{c}^{-1}$	0.0223	0.0215	0.0229	0.0215

Константа скорости, рассчитанная по уравнению первого порядка, практически не зависит от времени, следовательно, реакция имеет первый порядок:  $n = 1$ .

3. Помимо дегидрирования этана катализатор может оказаться эффективен в процессе каталитического дегидрирования пропана и в процессах парциального окисления алкенов.



В литературе также присутствуют примеры окислительного аммонолиза этана и пропана.

