

Всероссийская олимпиада школьников по химии

Муниципальный этап, Московская область

2025 – 2026 уч. г.

9 класс

Задача 1.

Путешествуя по миру, в одном из храмов народов майя, в тайном подземелье, юный алхимик Аль-Бируни обнаружил таинственный свиток, в котором были собраны все знания древних племен о загадочном металле **X**. В описании простого вещества **X** было сказано: «Минералы его сверкают словно звезды, и в дар приносят королям и королевам их. Самый тугоплавкий из металлов своей группы». Про растворы солей **X** писали: «Сладки на вкус растворы всех солей его и называют **X** глюцинием за это».

Перейдя к способам получения и химическим свойствам данного металла, Аль-Бируни обнаружил, что **X** в древности получали предельно просто по реакции металлического калия с солью **A** ($\omega(\text{Cl}) = 88,75\%$) (*р-ция 1*). Полученный твердый порошок **X** делили на 3 равные части. К первой добавляли концентрированную азотную кислоту (*р-ция 2*), в результате формировался раствор соли **B**, попытка кристаллизации которого приводила к образованию вещества **B**, причем молярная масса **B** в 1,54 раза больше, чем у **B**. Кристаллы **B** подвергали термическому разложению (*р-ция 3*) с образованием бинарного соединения **G**. К второй части порошка добавили раствор концентрированного гидроксида натрия (*р-ция 4*), в результате чего весь металл растворился с образованием вещества **D**. Наконец, к третьей части добавили раствор концентрированного фторида аммония (*р-ция 5*), что также привело к полному исчезновению твердого блестящего порошка, формированию раствора соединения **E** ($\omega(\text{X})=7,438\%$) и выделению двух газов, один из которых имеет резкий запах, а другой представляет собой простое вещество.

В заключении тайной рукописи, найденной Аль-Бируни, было описано еще одно превращение соли **A** под действием раствора карбоната аммония (*р-ция 6*) в твердое нерастворимое в воде соединение **J**, которое по своему составу напоминает малахит.

Вопросы:

1. Химия какого металла **X** описана в древнем свитке?
2. Определите все вещества **A-J**, описанные в условии задачи, если известно, что координационное число **X** в **D** и **E** составляет 4. Ответ подтвердите расчётом!

3. Запишите все уравнения реакций (6 реакций).

Задача 2.

Толстый и тонкий

Металл **A** обладает самым большим атомным номером среди элементов естественного происхождения. Он играет ключевую роль в ядерной энергетике, а его самой устойчивой степенью окисления является +6. В природе **A** встречается в виде смешанного оксида **B** ($\omega(O) = 15.20\%$). Данное соединение растворяют в концентрированной азотной кислоте (*реакция 1*), в результате чего образуется соль **B** ($\omega(O) = 32.49\%$), содержащая в своём составе сложный двухзарядный катион. Соль **B** подвергают воздействию аммиака, а продукт реакции восстанавливают до оксида **G**, мольная доля металла **A** в котором составляет $1/3$. Дальнейшая обработка плавиковой кислотой и фтором приводит к формированию газообразного соединения **D** (*реакция 2*). Если подвергнуть **D** центрифугированию, произойдёт разделение тяжёлых и лёгких молекул **D**. В ядерной промышленности особую роль играют именно лёгкие молекулы **D'** ($\omega(F) = 32.66\%$).

1. Определите соединения **A**, **B**, **C**, **D** и **D'**. Ответ подтвердите расчётами!
2. Напишите уравнение *реакций 1* и *2*.
3. Как используются молекулы **D'**?

Задача 3.

Аспирант Пробиркин, работая в лаборатории профессора фон Бюксова, помогал ему в написании большого учебника по неорганической химии. Изучая свойства неметаллов, аспирант обнаружил, что элементы **X** и **Y** образуют ряд бинарных соединений, которые обладают различными свойствами. Вот выдержка из текста, написанного Пробиркиным:

«...Неполярное соединение **A1** является бесцветным газом, термически крайне стабильным и химически инертным. При нормальных условиях **A1** не реагирует с водой, щелочами и даже расплавленными металлами. Лишь с кипящим натрием данный газ способен взаимодействовать (*реакция 1*), при этом образуются две соли слабых кислот: **B** и более лёгкая **C**. При температуре 370°C под большим давлением **A1** реагирует с водой с образованием кислот **D** и **E** (*реакция 2*). Сам газ **A1** можно получить прямым синтезом из элементов **X** и **Y** (*реакция 3*). Атомная доля элемента **X** в этом соединении составляет $1/7$.

Соединение **A2** также является бесцветным газом, но в отличие от **A1**, является сильнейшим окислителем, бурно и зачастую со взрывом реагирующий с водой (*реакция 4*) с

образованием газа **E** и оксида **F**. Синтезируют **A2**, пропуская **A1** над раскалённым порошком металлического кобальта (**реакция 5**), побочным продуктом реакции является соль кобальта с массовой долей металла 50.86%, а массовая доля **Y** в **A2** составляет 70.33%».

1. Определите элементы **X** и **Y** и соединения **A1**, **A2**, **B** – **F**, ответ подтвердите расчётами.
2. Напишите уравнения **реакций 1–5**.
3. Приведите примеры ещё хотя бы двух молекул, состоящих из элементов **X** и **Y**.

Задача 4.

ПП – прозрачный полупроводник

ITO (от англ. *Indium Tin Oxide*) – полупроводниковый материал, представляющий собой твердый раствор оксидов олова (IV) и индия (III). Он прозрачен для видимого света и, благодаря этому свойству, широко применяется в производстве сенсорных экранов и прозрачных электродов.

Для получения тонкой пленки ITO, нанесенной на стекло, используют различные методики. Наиболее популярным промышленным способом является соосаждение SnO_2 и In_2O_3 в необходимом массовом соотношении при помощи процесса магнетронного распыления, при этом ITO формируется в виде тонкой пленки.

Также существует следующая методика: 1.2115 г соединения **A** и 0.1478 г вещества **B** растворяют в 100 мл дистиллированной воды в аргоновом боксе (инертной атмосфере), после чего осаждают соединения **C** и **D** (**реакции 1, 2**) добавлением 2 мл 25% раствора NH_3 . Осадок промывают сначала водой, потом раствором этанола с стабилизирующими органическими добавками. После сушки, полученная смесь наносится на стеклянную подложку, которую затем обжигают (**реакции 3,4**) при 550°C для получения необходимых оксидов.

Для некоторых применений ITO необходимо получить в виде наночастиц. Для этого в качестве реагентов, содержащих олово и индий, берут соединения **E** и **F** соответственно. Их выдерживают при 40°C в водном растворе в течение двух часов, после чего полученный осадок, состоящий из всех тех же веществ **C** и **D**, отжигают при 450°C .

Дополнительная информация:

- Массовое соотношение оксидов в ITO составляет 1:9 ($\text{SnO}_2:\text{In}_2\text{O}_3$).
- Соединение **C** содержит олово.
- **B** – кристаллогидрат соединения **E**, при этом, массовая доля воды в **B** составляет 25,64%.
- Качественный состав **A** отличается от состава **B** только металлом.

- F – нитрат, при разложении которого (*реакция 5*) потеря массы составляет 56,43%.
- При расчетах все атомные массы элементов принимать целыми числами (кроме хлора).

Вопросы

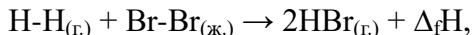
1. В каком мольном соотношении берут оксиды индия и олова для получения ИТО?
2. Установите формулы соединений A-F. Ответ подтвердите расчетами и рассуждениями!
3. Напишите уравнения *реакций 1-5*.
4. Где, помимо получения ИТО, применяется олово? Приведите два примера.

Задача 5.

Энталпию реакции можно рассчитать различными способами. К примеру, через энталпию образования веществ ($\Delta_f H$, кДж/моль). Для реакции вида: $aA + bB \rightarrow cC + \Delta_r H$, где a, b, c – коэффициенты,

$$\Delta_r H = c\Delta_f H(C) - b\Delta_f H(B) - a\Delta_f H(A)$$

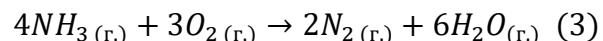
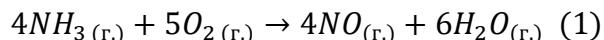
Стоит упомянуть еще один способ, позволяющий рассчитать $\Delta_r H$, используя данные по энергиям связей. Рассмотрим, например, реакцию образования бромоводорода.



$$\text{Тогда: } \Delta_f H = E_{cb}(H-H_{(r.)}) + E_{cb}(Br-Br_{(ж.)}) - 2E_{cb}(H-Br_{(r.)})$$

Резюмируя, энталпия реакции представляет собой разность суммы энергий разорвавшихся связей и суммы энергий образовавшихся связей.

Теперь применим на практике полученные знания. В реакции взаимодействия аммиака с кислородом могут образовываться различные продукты. Рассмотрим данные реакции:



Известно, что $\Delta_f H^{\circ}_{298}(NH_3_{(r.)}) = -46,2$ кДж/моль, $\Delta_f H^{\circ}_{298}(N_2O_{(r.)}) = 82,01$ кДж/моль, $\Delta_f H^{\circ}_{298}(NO_{(r.)}) = 90,31$ кДж/моль, $\Delta_f H^{\circ}_{298}(H_2O_{(r.)}) = -241,82$ кДж/моль.

Вопросы:

1. Рассчитайте энталпию каждой реакции.
2. Найдите энергии связи в молекулах O_2 и N_2 , если $E_{cb}(N=O) = 630$ кДж/моль, $E_{cb}(O-H) = 465$ кДж/моль, $E_{cb}(N-H) = 391$ кДж/моль.
3. В свою очередь, образовавшийся оксид азота (I) может также окислять аммиак до азота (*реакция 4*). Запишите уравнение *реакции 4* и определите ее энталпию.