

Заключительный этап межрегиональной межвузовской олимпиады школьников

Сибирского федерального округа «Будущее Сибири» 2023-2024 г.

Решения олимпиадных заданий по химии

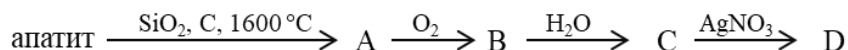
8 класс

Задание 1. «Светящийся неметалл».

Простое вещество **A** (неметалл) было впервые получено в 1669 г. немецким алхимиком из Гамбурга Х. Брандом, занимавшимся поиском философского камня. Философский камень ему найти не удалось, однако уникальное свойство полученного вещества светиться в темноте позволило Бранду заметно разбогатеть.

В свободном состоянии элемент **A** в природе не встречается, но известно около 200 его минералов, основными из которых являются апатиты. Существует более 10 аллотропных модификаций **A**, самыми распространенными из которых являются красная и белая. Белая модификация **A** – компонент дымообразующих составов и зажигательных смесей, красная входит в состав намазки на спичечном коробке. Элемент **A** часто называют «элементом жизни», поскольку он входит в состав многих биологически важных соединений, в частности, гидроксоапатита, являющегося основой костной ткани и зубной эмали. Соединения **A** широко используются в качестве минеральных удобрений, так как он является одним из макроэлементов живого мира.

Для получения **A** его основной минерал (соль кальция и трехосновной кислоты в высшей степени окисления **A**) подвергли высокотемпературному спеканию (1500–1600 °С) с песком и углем [реакция 1]. Выделившееся вещество **A**, светящееся в темноте, сожгли в избытке кислорода, в результате чего образовалось вещество **B** [2]. Соединение **B** растворили в воде, при этом образовался раствор кислоты **C** [3], при добавлении к которому раствора нитрата серебра выпал желтый осадок вещества **D** [4] с массовой долей серебра 77,3 %. Описанные превращения представлены на схеме.



1.1. Установите формулы веществ **A** – **D** и апатита. Назовите их по химической номенклатуре.

1.2. Напишите уравнения реакций [1] – [4].

Кислота **C** при взаимодействии с раствором натриевой щелочи может образовывать три различных соли, в зависимости от соотношения реагентов. Так, при соотношении $\text{C} : \text{NaOH} = 1 : 1$ образуется соль **E** [5], а при соотношении $\text{C} : \text{NaOH} = 1 : 2$ образуется соль **F** [6].

1.3. Напишите уравнения реакций [5], [6], дайте названия веществам **E** и **F**.

При нагревании до температуры 220-250 °С вещества **E** и **F** теряют химически связанную воду, образуя соединения **G** [7] и **H** [8], соответственно.

1.4. Напишите уравнения реакций [7], [8], приведите названия веществ **G** и **H**.

Взаимодействие простого вещества **A** с недостатком [9] и избытком [10] хлора приводит к образованию веществ **I** и **K**, соответственно. Реагируя с избытком воды, каждое из веществ **I** [11] и **K** [12] образует смесь двух кислот. При взаимодействии вещества **I** с избытком раствора натриевой щелочи [13] образуется смесь двух солей и вода.

1.5. Напишите уравнения реакций [9] – [13], приведите названия продуктов этих реакций. Если вещество уже было названо ранее, повторять название не нужно.

Задание 2. «Камень, высекающий огонь».

Природные месторождения минерала **A**, перевод названия которого с греческого языка означает «камень, высекающий огонь», распространены в России в районах Урала, Алтая и Кавказа. Минерал (с массовой долей металла 46,6 %) состоит из двух элементов, образует кубические кристаллы золотисто-желтого цвета с металлическим блеском и является старейшим сырьем для получения серной кислоты. При обжиге минерала [реакция 1] образуются два соединения: первое представляет собой твердое вещество **B** – оксид трехвалентного металла с массовой долей металла 69,9 %, а второй – газообразное вещество **C**, обесцвечивающее растворы брома [2] и перманганата калия [3].

2.1. Установите формулы веществ **A-C**. Приведите по одному примеру из множества известных минералогических и тривиальных названий минерала **A**, а также назовите это вещество по химической номенклатуре.

2.2. Напишите уравнения реакций [1]-[3]. Известно, что одним из продуктов реакции [3] является соль марганца(II).

2.3. Вычислите объем кислорода (в м³ при н.у.), который необходим для проведения обжига 1 т минерала **A**. Какой объем воздуха при $t = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ потребуется на производстве для той же цели?

Стандартные теплоты образования веществ **A**, **B** и **C** составляют $Q_A = 174\text{ кДж/моль}$, $Q_B = 824\text{ кДж/моль}$ и $Q_C = 297\text{ кДж/моль}$. По следствию из закона Гесса тепловой эффект реакции равен разности между суммой теплот образования продуктов реакции и суммой теплот образования исходных веществ с учетом стехиометрических коэффициентов. Теплотой образования называется тепловой эффект реакции образования 1 моль вещества из простых веществ. Соответственно, теплота образования простого вещества в стандартном состоянии равна нулю. При записи термохимических уравнений реакций принято считать тепло одним из продуктов реакции, а агрегатные состояния веществ указывать в подстрочных индексах, например:

$\text{H}_{2(\text{газ})} + 0,5\text{O}_{2(\text{газ})} = \text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})} + 286\text{ кДж/моль}$. Следовательно, теплота образования $\text{H}_2\text{O}_{(\text{ж})}$ 286 кДж/моль.

2.4. Рассчитайте тепловой эффект реакции [1] ($Q_{[1]}$), напишите термохимическое уравнение этой реакции. Вычислите массу вещества **B**, образовавшегося в ходе процесса, если известно, что в результате реакции выделилось 6656 кДж тепла.

На сегодняшний день основным промышленным способом получения серной кислоты является т. н. контактный способ, который предполагает стадию каталитического окисления вещества **C** воздухом до серного ангидрида в присутствии катализатора V_2O_5 (реакция обратимая) при $T = 400\text{--}450\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $P = 1\text{--}2\text{ атм}$ [4]. Для поддержания необходимой температуры используют специальную систему теплоотвода.

2.5. Вычислите тепловой эффект реакции получения жидкого серного ангидрида ($Q_{[4]}$), если его стандартная теплота образования равна 468 кДж/моль. Напишите термохимическое уравнение реакции [4] и рассчитайте количество тепла, выделившегося на производстве в результате получения 250 л этого продукта (его плотность 1,92 г/см³).

Задание 3. «Металлы для проводов».

Металл **A** – серебристо-белый легкий пластичный металл, по распространенности в земной коре занимает четвертое место среди всех элементов и первое среди металлов. Из-за своей высокой активности этот металл в природе находится исключительно в виде соединений, а в чистом виде впервые был получен лишь в 1825 г. Тем не менее, на воздухе металл **A** покрывается прочной оксидной пленкой, которая препятствует его коррозии и позволяет использовать этот металл в самых различных сферах человеческой деятельности. В середине XIX века этот красивый и легкий металл был настолько дорогим, что изготовленные из него женские украшения были более ценными, чем украшения из золота и серебра. Новые технологии производства, малая плотность и отсутствие токсичности в сочетании с высокой тепло- и электропроводностью в настоящее время сделали этот металл чрезвычайно популярным для производства кухонной посуды, электропроводов, деталей машин, судов, самолетов и космических ракет.

Металл **B** – пластичный розовато-красный металл с характерным блеском, известен людям с древнейших времен. Поскольку химически он не очень активен, в природе встречается не только в виде различных минералов, но и в самородном состоянии. Электро- и теплопроводность металла **B** даже выше, чем у **A**, но он имеет заметно более высокую плотность, поэтому для изготовления линий электропередач все же используют металл **A**, а вот для внутренней проводки в квартирах чаще используют металл **B**.

Смесь кусочков металлических проводов **A** и **B** массой 18,0 г поместили в 15 % (масс.) раствор соляной кислоты объемом 136 мл и плотностью 1,073 г/мл. В результате химического взаимодействия выделилось 6,72 л газа (н.у.), а один из металлов полностью растворился [реакция 1] с образованием раствора соли **C**. Металл, который не растворился в соляной кислоте, полностью растворился в концентрированной азотной кислоте [2] с образованием раствора соли **D**.

3.1. Установите металлы **A** и **B**. В какие цвета оказались окрашены полученные растворы солей металлов?

3.2. Напишите формулы и названия солей **C** и **D** по химической номенклатуре, уравнения реакций [1] и [2].

3.3. Определите количественный состав смеси металлов (масс. %) а также массовую долю соли **C** (масс. %) в полученном растворе.

3.4. Вычислите минимальный объем раствора азотной кислоты ($C_{\text{кислоты}} = 10\text{ моль/л}$, плотность раствора равна 1,300 г/мл), необходимый для растворения второго металла, а также массовую долю соли **D** в полученном растворе.

Допустим, у Вас нет соляной и концентрированной азотной кислот, а есть в наличии только следующие жидкости: концентрированная серная кислота, разбавленная серная кислота, разбавленная бромоводородная кислота, разбавленная азотная кислота.

3.5. Перечислите названия жидкостей, которые помогут Вам разделить смесь кусочков металлических проводов **A** и **B** (один металл прореагирует, а другой – нет). Аргументируйте свой ответ уравнениями реакций, которые будут происходить при взаимодействии этой смеси проводов со **всеми** упомянутыми жидкостями при комнатной температуре. Приведите названия солей металла **A**, образующихся в этих реакциях.