

Задание 32 на ЕГЭ по химии: реакции, подтверждающие взаимосвязь различных классов неорганических веществ

Задание 32 на ЕГЭ по химии (бывшее задание С2 «нового типа») содержит описание эксперимента, состоящего из последовательно проводимых химических реакций и лабораторных методов разделения продуктов реакций (мысленный эксперимент).

У многих учеников это задание вызывает сложности. В немалой степени это объясняется все более академическим характером преподавания химии в школах, когда изучению особенностей работы в лаборатории и собственно проведению лабораторных экспериментов выделяется недостаточное количество внимания.

В этой статье рассматриваются примеры задания 32 в ЕГЭ 2020 по химии, с подробным разбором и анализом решения.

Для выполнения этого задания необходимо хорошее понимание некоторых тем общей химии и химии элементов, а именно: основные классы неорганических веществ, химические свойства и получение оксидов, кислот, оснований и солей, и взаимосвязь между различными классами неорганических веществ; свойства простых веществ — металлов и неметаллов; гидролиз; электролиз; окислительно-восстановительные реакции (ОВР), основные окислители и восстановители, и их превращения в разных условиях, основные типы ОВР, химия щелочных металлов и их соединений, щелочноземельных металлов и соединений, углерода, кремния, азота, фосфора, серы, галогенов.

1. Раствор, полученный при взаимодействии меди с концентрированной азотной кислотой, выпарили и осадок прокалили. Газообразные продукты реакции разложения полностью поглощены водой, а над твердым остатком пропустили водород. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

«Ключевые слова» — **концентрированная азотная кислота и медь.**

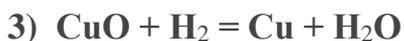
Медь — малоактивный металл, проявляет свойства восстановителя.

Окислительные свойства азотной кислоты определяет азот в степени окисления +5, поэтому при взаимодействии как с металлами, так и с другими восстановителями выделяется не водород, а вещество, содержащее азот в более низких степенях окисления; концентрированная азотная кислота растворяет малоактивные металлы и восстанавливается до NO_2 (уравнение 1).

«Ключевые слова» — ... **осадок прокалили. Нитраты металлов, находящихся в ряду активности от магния до меди, разлагаются** при нагревании на оксид металла, бурый газ и кислород (уравнение 2).

«Ключевые слова» — ... **пропустили водород.** Восстановление оксидов металлов водородом — один из способов получения металлов (уравнение 3).

«Ключевые слова» — Газообразные продукты... поглощены водой.... При **разложении нитрата меди** выделяются NO_2 и O_2 . Оксиду азота (IV) соответствуют азотистая и азотная кислоты, однако в присутствии окислителя — молекулярного кислорода в растворе образуется только азотная кислота (уравнение 4).



2. Простое вещество, полученное при нагревании фосфата кальция с коксом и оксидом кремния, сплавили с металлическим кальцием. Продукт реакции обработали водой, а выделившийся газ собрали и пропустили через раствор соляной кислоты. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение

«Ключевые слова» — ... **нагревании фосфата кальция с коксом и оксидом кремния**

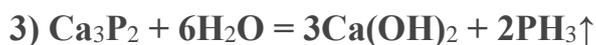
Первое из описанных превращений — промышленный способ получения фосфора (уравнение 1).

«Ключевые слова» — **Простое вещество ... сплавили с кальцием.**

Простое вещество, образовавшееся в первом превращении, — фосфор. Металлы (восстановители) взаимодействуют с неметаллами (окислителями) с образованием бинарных соединений (солей или оксидов) (уравнение 2).

«Ключевые слова» — **Продукт ... обработали водой** При взаимодействии фосфида Ca_3P_2 с водой происходит гидролиз (уравнение 3) и образуются гидроксид кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и фосфин PH_3 , газ с чесночным запахом.

«Ключевые слова» — ... **газ ... раствор соляной кислоты.** Фосфин, являясь аналогом аммиака, проявляет основные свойства и реагирует с кислотой с образованием соли фосфония PH_4Cl (уравнение 4).



3. Осадок, полученный при взаимодействии растворов хлорида железа (III) и нитрата серебра, отфильтровали. Фильтрат обработали раствором едкого кали. Выпавший осадок бурого цвета отделили и прокалили. Полученное вещество при нагревании реагирует с алюминием с выделением тепла и света. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

Ключевые слова: «... **взаимодействии растворов хлорида железа (III) и нитрата серебра...**». При взаимодействии двух растворимых солей протекает реакция ионного обмена, если в продуктах реакции есть малодиссоциирующее вещество (газ, осадок, вода и др.). При взаимодействии нитрата серебра и хлорида железа (III) выпадает белый творожистый осадок хлорида серебра (уравнение 1).

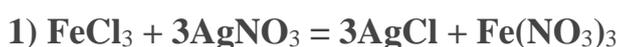
Далее осадок отфильтровали. **Фильтрование** — способ разделения смесей, при котором нерастворимые в воде вещества не проходят через тонкую пористую перегородку (**фильтр**), а растворимые в воде вещества с растворителем (**фильтрат**) переходят в отдельную емкость.

При фильтровании данного в задании раствора в осадке остается нерастворимый в воде хлорид серебра, а в фильтрат уходит растворимая в воде соль — нитрат железа (III).

Далее, ключевые слова: «... **фильтрат обработали раствором едкого кали.**». При взаимодействии нитрата железа (III) с гидроксидом калия КОН протекает обменная реакция, с образованием нерастворимого в воде осадка — гидроксида железа (III) (реакция 2).

Далее, ключевые слова: «**Выпавший осадок бурого цвета отделили и прокалили.**». Гидроксид железа (III) — нерастворимое в воде основание. Как правило, нерастворимые основания при прокаливании разлагаются на оксид металла и воду (реакция 3).

Далее «**Полученное вещество при нагревании реагирует с алюминием с выделением тепла и света.**». Данное описание соответствует окислительно-восстановительной реакции между оксидом железа (III) и алюминием. При нагревании смеси этих соединений происходит экзотермическая реакция восстановления железа до простого вещества-металла, при этом теплота выделяется также в форме света. Восстановление металлов из оксидов с помощью алюминия называют **алюмотермией**.





4. Вещество, полученное на катоде при электролизе расплава хлорида натрия, сожгли в кислороде. Полученный продукт последовательно обработали сернистым газом и раствором гидроксида бария. Напишите уравнения описанных реакций.

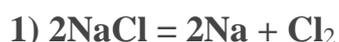
Анализ и решение.

Первая часть: «... при электролизе расплава хлорида натрия». Электролиз — это химическая реакция, протекающая под действием тока. При электролизе расплавов солей на катоде происходит восстановление металлов до простых веществ, на аноде — окисление неметаллов до простых веществ (уравнение 1).

Далее, ключевые слова: «Вещество, полученное на катоде ... сожгли в кислороде». При электролизе расплава хлорида натрия на катоде выделяется металлический натрий. При сжигании простое вещество натрий образует преимущественно пероксид (уравнение 2).

Ключевые слова: «Полученный продукт ... обработали сернистым газом». Пероксид натрия, как и пероксид водорода, проявляет двойственные свойства, и может выступать и как окислитель, и как восстановитель. Сернистый газ SO_2 — *типичный восстановитель*. При взаимодействии с сернистым газом кислород пероксида натрия выступает в качестве окислителя и восстанавливается до степени окисления -2 (уравнение 3). Подробнее про ОВР — в статье «Окислительно-восстановительные реакции».

Ключевые слова: » ... Полученный продукт последовательно обработали сернистым газом и раствором гидроксида бария». Сульфат натрия, полученный в предыдущей стадии, вступает в реакцию ионного обмена с гидроксидом бария с выпадением осадка сульфата бария (уравнение 4).



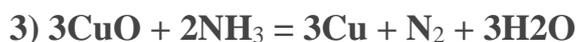
5. Продукты разложения хлорида аммония последовательно пропустили через нагретую трубку, содержащую оксид меди (II), а затем через склянку с оксидом фосфора (V). Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

Ключевые слова: «**Продукты разложения хлорида аммония...**». Хлорид аммония — соль, которая разлагается при нагревании твердой соли на газообразный аммиак и газ хлороводород (уравнение 1)

Далее, продукты разложения последовательно пропускают через нагретую трубку, содержащую оксид меди (II). Последовательно, значит, они реагируют по очереди. Оксид меди (II) — **основный**, при взаимодействии с кислотой HCl образует соль и воду (уравнение 2). Оксид меди (II) также проявляет **окислительные** свойства, при взаимодействии с аммиаком восстанавливается до простого вещества — меди, а аммиак окисляется также до простого вещества (уравнение 3). Подробнее про ОВР — в [статье «Окислительно-восстановительные реакции»](#).

Далее, продукты реакций 2 и 3 пропускают через емкость с оксидом фосфора (V). Анализируем возможность протекания химической реакции между веществами. Простое вещество медь химически малоактивно и не реагирует с **кислотным оксидом** фосфора. Простое вещество азот также химически малоактивно, с оксидом фосфора (V) не реагирует. Зато с кислотным оксидом фосфора (V) отлично реагируют пары воды с образованием орто-фосфорной кислоты (уравнение 4).



6. К нерастворимой в воде соли белого цвета, которая встречается в природе в виде широко используемого в строительстве и архитектуре минерала, прилили раствор соляной кислоты, в результате соль растворилась и выделился газ, при пропускании которого через известковую воду выпал осадок белого цвета; осадок растворился при дальнейшем пропускании газа. При кипячении полученного раствора выпадает осадок. Напишите уравнения описанных реакций.

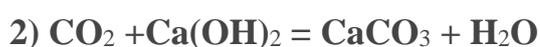
Анализ и решение.

Из школьного курса химии хорошо известно, что **нерастворимой в воде солью белого цвета, которая встречается в природе в виде широко используемого в строительстве и архитектуре минерала** является карбонат кальция CaCO_3 . **Нерастворимые соли растворяются под действием более сильных кислот**, в данном случае, соляной кислоты (уравнение 1).

Образующийся газ **пропускают через известковую воду** $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Углекислый газ — типичный кислотный оксид, который при взаимодействии с щелочью образует соль — карбонат кальция (уравнение 2). Далее **осадок растворился при дальнейшем пропускании газа**. Здесь рассматривается очень важное свойство: **средние соли многоосновных кислот под действием избытка кислоты образуют более кислые соли**.

Карбонат кальция в избытке углекислого газа образует более кислую соль — гидрокарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, который хорошо растворим в воде (уравнение 3).

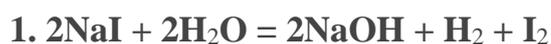
Свойства кислых солей в значительной степени складываются из свойств образующих кислые соли соединений. Свойства гидрокарбоната кальция определяются свойствами образующих его соединений — угольной кислоты H_2CO_3 и карбоната кальция. Несложно вывести, что при кипячении гидрокарбонат будет разлагаться на карбонат кальция (разлагается при более высоких температурах, порядка 1200 градусов Цельсия), углекислый газ и воду (уравнение 4).



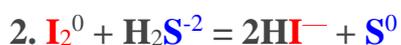
7. Вещество, полученное на аноде при электролизе раствора йодида натрия с инертными электродами, прореагировало с сероводородом. Образовавшееся твёрдое вещество сплавляли с алюминием и продукт растворили в воде. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

Электролиз раствора йодида натрия с инертными электродами описывается уравнением:



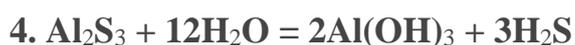
Более подробно про электролиз можно прочитать в соответствующей статье. При этом на аноде выделяется йод. Йод реагирует с сероводородом. При этом йод **окислитель**, а сера — **восстановитель**:



При этом образовалась твердая сера. Сера реагирует с алюминием при сплавлении, образуя сульфид алюминия. Большинство неметаллов реагируют с металлами с образованием бинарных соединений:



Продукт реакции алюминия с серой — сульфид алюминия — при растворении в воде необратимо распадается на гидроксид алюминия и сероводород:

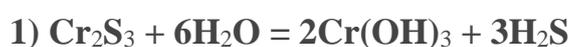


Такие реакции называют также реакциями **необратимого гидролиза**.

8. Сульфид хрома (III) обработали водой, при этом выделился газ и осталось нерастворимое вещество. К этому веществу прибавили раствор едкого натра и пропустили газообразный хлор, при этом раствор приобрёл жёлтое окрашивание. Раствор подкислили серной кислотой, в результате окраска изменилась на оранжевую; через полученный раствор пропустили газ, выделившийся при обработке сульфида водой, и цвет раствора изменился на зелёный. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

Ключевые слова: «Сульфид хрома (III) обработали водой, при этом выделился газ и осталось нерастворимое вещество». **Сульфид хрома (III) под действием воды разлагается на гидроксид и сероводород.** Подробно реакции гидролиза таких соединений рассмотрены в [статье «Гидролиз»](#). (реакция 1)



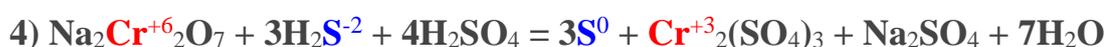
Ключевые слова: «... прибавили раствор едкого натра и пропустили газообразный хлор, при этом раствор приобрёл жёлтое окрашивание». **Под действием хлора в щелочной среде хром +3 окисляется до хрома +6.** Хром +6 образует кислотный оксид и гидроксид, в растворе едкого натрия образует устойчивую соль желтого цвета — хромат натрия (реакция 2).



Далее, ключевые слова: «Раствор подкислили серной кислотой, в результате окраска изменилась на оранжевую». **Соли-хроматы в кислой среде переходят в дихроматы.** Желтый хромат натрия в кислой среде превращается в оранжевый дихромат натрия (реакция 3). **Это не ОВР!**



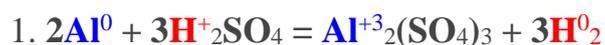
Далее: «... через полученный раствор пропустили газ, выделившийся при обработке сульфида водой, и цвет раствора изменился на зелёный». Дихромат натрия — сильный окислитель, при взаимодействии с сероводородом восстанавливается до трехвалентной соли хрома. Соединения хрома (III) — амфотерные, в кислой среде образуют соли. Соли хрома (III) окрашивают раствор в зеленый цвет (реакция 4).



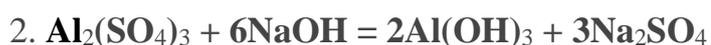
9. В раствор, полученный при взаимодействии алюминия с разбавленной серной кислотой, по каплям добавляли раствор гидроксида натрия до образования осадка. Выпавший осадок белого цвета отфильтровали и прокалили. Полученное вещество сплавляли с карбонатом натрия. Напишите уравнения описанных реакций.

Анализ и решение.

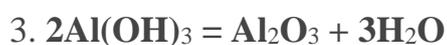
Разбавленная серная кислота при взаимодействии с металлами ведет себя, как обычная минеральная кислота. **Металлы, находящиеся в ряду электрохимической активности левее водорода, при взаимодействии с минеральными кислотами вытесняют водород:**



Далее, с гидроксидом натрия взаимодействует сульфат алюминия. В условии указано, что гидроксид натрия добавляли по каплям. Это значит, что гидроксид натрия был в недостатке, а сульфат алюминия - в значительном избытке. При таких условиях образуется осадок гидроксида алюминия:



Осадок белого цвета — гидроксид алюминия, нерастворимый в воде. **При прокаливании нерастворимые гидроксиды разлагаются на воду и соответствующий оксид:**



Полученное вещество — оксид алюминия — сплавляли с карбонатом натрия. **В расплаве менее летучие оксиды вытесняют более летучие из солей.** Карбонат — это соль, которой соответствует летучий оксид, углекислый газ. Соответственно, при сплавлении карбонатов щелочных металлов с твердыми оксидами (кислотными и амфотерными) образуется соль, соответствующая этому оксиду, и углекислый газ:

